



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

1(169)  
2015

**Редакционный совет:**

БАЛЫХИН Г. А., д.э.н., проф.  
ГРАЧЕВ В. А., чл.-корр. РАН,  
д.т.н., проф.  
ГРИГОРЬЕВ С. Н., д.т.н., проф.  
ДУРНЕВ Р. А., д.т.н., доц.  
ЗАЛИХАНОВ М. Ч., акад. РАН,  
д.т.н., проф. (председатель)  
КЛИМКИН В. И., к.т.н.  
КОТЕЛЬНИКОВ В. С., д.т.н.,  
проф.  
РОДИН В. Е., д.т.н., проф.  
СОКОЛОВ Э. М., д.т.н., проф.  
ТЕТЕРИН И. М., д.т.н.  
УШАКОВ И. Б., акад. РАН,  
д.м.н., проф.  
ФЕДОРОВ М. П., акад. РАН,  
д.т.н., проф.  
ЧЕРЕШНЕВ В. А., акад. РАН,  
д.м.н., проф.  
АНТОНОВ Б. И.  
(директор издательства)

**Главный редактор**

РУСАК О. Н., д.т.н., проф.

**Зам. главного редактора**  
ПОЧТАРЕВА А. В.

**Ответственный секретарь**

ПРОНИН И. С., д.ф.-м.н., проф.

**Редакционная коллегия:**

БЕЛИНСКИЙ С. О., к.т.н., доц.  
ВАСИЛЬЕВ А. В., д.т.н., проф.  
ИВАНОВ Н. И., д.т.н., проф.  
КАЧУРИН Н. М., д.т.н., проф.  
КОСОРУКОВ О. А., д.т.н., проф.  
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н., д.т.н.,  
проф.  
КСЕНОФОНТОВ Б. С., д.т.н.,  
проф.  
КУКУШКИН Ю. А., д.т.н., проф.  
ЛУЦЦИ С., проф. (Италия)  
МАЛАЯН К. Р., к.т.н., проф.  
МАРТЫНЮК В. Ф., д.т.н., проф.  
МАТЮШИН А. В., д.т.н.  
МИНЬКО В. М., д.т.н., проф.  
МИРМОВИЧ Э. Г., к.ф.-м.н., доц.  
ПАЛЯ Я. А., д.с.-х.н., проф.  
(Польша)  
ПЕТРОВ С. В., к.ю.н., с.н.с.  
СИМАНКИН А. Ф., к.т.н., доц.  
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г., д.т.н., проф.  
ФИЛИН А. Э., д.т.н., доц.  
ФРИДЛАНД С. В., д.х.н., проф.  
ЦЯН МИНЦЗЮНЬ, д.т.н., проф.  
(Китай)  
ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

- Долинская Ю. В., Князюк Н. Ф.** Концептуальные вопросы управления изменениями в области профессиональной безопасности и охраны здоровья . . . . . 3
- Обвинцева Л. А., Беликов И. Б., Цыркина Т. Б., Сухарева И. П., Дмитриева М. П., Шепелев А. Д., Аветисов А. К., Юрманов В. А., Юрманов Е. В.** Разработка средств химического контроля и защиты при проведении дезактивации оборудования и переработке отходов концентрированным озоном . . . . . 10
- Тушин А. М.** Опыт разработки правил по охране труда при производстве, монтаже и эксплуатации машин, оборудования и технологических установок . . . . . 18

### ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Антонов А. В., Морозова О. И., Ершов Г. А.** Основные критерии приемлемости риска от эксплуатации энергоблоков атомных станций . . . . . 25

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Голик В. И., Русак О. Н., Заалишвили В. Б.** Оценка опасности хранения хвостов переработки руд и технологии их утилизации . . . . . 30
- Кирсанов В. В.** Результаты исследований процесса биодеструкции в аэротенке основных загрязняющих веществ в зависимости от коэффициента рециркуляции активного ила и времени аэрации . . . . . 38
- Савельев С. Н., Савельева А. В., Фридланд С. В.** Интенсификация очистки сточной воды от углеводородов окислительными методами применением в качестве катализатора стоков гальванопроизводства . . . . . 40
- Шейнкман Л. Э., Дергунов Д. В.** Обеспечение экологической безопасности водных объектов от загрязнения фенолами, содержащимися в шахтных стоках . . . . . 44

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Ивахнюк С. Г., Митюхина А. Д., Бегак О. Ю.** Апробация новой методики определения содержания коррозионно-активных элементов в нефти и нефтепродуктах . . . . . 51

### ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Подобед В. А., Подобед Н. Е., Панкратов А. А.** Риски пожаров на рыболовных судах Северного бассейна . . . . . 57

### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- Богданов В. Д., Мельниченко И. П.** Влияние разработки россыпных месторождений золота на воспроизводство сиговых рыб на Приполярном Урале . . . . . 62

### ОБРАЗОВАНИЕ

- Нелюбов В. Н., Погодаева М. В., Божидомова Е. А.** Дополнительное образование в области безопасности жизнедеятельности в регионах с высоким природным и техногенным риском. . . . . 67

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



# LIFE SAFETY

## BEZOPASNOST' ŽIZNEDATEL'NOSTI

The journal published since  
January 2001

### Editorial board

BALYKHIN G. A., Dr. Sci. (Econ.)  
GRACHEV V. A., Cor.-Mem. RAS,  
Dr. Sci. (Tech.)  
GRIGORYEV S. N., Dr. Sci. (Tech.)  
DURNEV R.A., Dr. Sci. (Tech.)  
ZALIKHANOV M. Ch.,  
Acad. RAS, Dr. Sci. (Tech.)  
KLIMKIN V. I., Cand. Sci. (Tech.)  
KOTELNIKOV V. S., Dr. Sci. (Tech.)  
RODIN V. E., Dr. Sci. (Tech.)  
SOKOLOV E. M., Dr. Sci. (Tech.)  
TETERIN I. M., Dr. Sci. (Tech.)  
USHAKOV I. B., Acad. RAS,  
Dr. Sci. (Med.)  
FEDOROV M. P., Acad. RAS,  
Dr. Sci. (Tech.)  
CHERESHNEV V. A., Acad. RAS,  
Dr. Sci. (Med.)  
ANTONOV B. I.

### Editor-in-chief

RUSAK O. N., Dr. Sci. (Tech.)

### Deputy editor-in-chief

POCHTAREVA A. V.

### Responsible secretary

PRONIN I. S.,  
Dr. Sci. (Phys.-Math.)

### Editorial staff

BELINSKIY S. O.,  
Cand. Sci. (Tech.)  
VASILYEV A. V., Dr. Sci. (Tech.)  
IVANOV N. I., Dr. Sci. (Tech.)  
KACHURIN N. M., Dr. Sci. (Tech.)  
KOSORUKOV O. A., Dr. Sci. (Tech.)  
KRASNOGORSKAYA N. N.,  
Dr. Sci. (Tech.)  
KSENOFONTOV B. S.,  
Dr. Sci. (Tech.)  
KUKUSHKIN Yu. A.,  
Dr. Sci. (Tech.)  
LUZZI S. (Italy), Prof.  
MALAYAN K. R., Cand. Sci. (Tech.)  
MARTYNYUK V. Ph.,  
Dr. Sci. (Tech.)  
MATYUSHIN A. V., Dr. Sci. (Tech.)  
MINKO V. M., Dr. Sci. (Tech.)  
MIRMOVICH E. G.,  
Cand. Sci. (Phys.-Math.)  
PALJA Ja. A. (Poland), Dr. Sci.  
(Agri.-Cult.)  
PETROV S. V., Cand. Sci. (Yurid.)  
SIMANKIN A. F., Cand. Sci. (Tech.)  
TOPOLSKIY N. G., Dr. Sci. (Tech.)  
FILIN A. E., Dr. Sci. (Tech.)  
FRIDLAND S. V., Dr. Sci. (Chem.)  
JIANG MINGJUN (China), Prof.  
SHVARTSBURG L. E.,  
Dr. Sci. (Tech.)

1(169)  
2015

## CONTENTS

### LABOUR PROTECTION AND POPULATION HEALTH

- Dolinskaya Ju. V., Kniazuk N. F.** Conceptual Issues of the Change Management within the Occupational Safety and Health Management System . . . . . 3
- Obvintseva L. A., Belikov I. B., Tsyrkina T. B., Sukhareva I. P., Dmitrieva M. P., Shepelev A. D., Avetisov A. K., Yurmanov V. A., Yurmanov E. V.** Development of Tools for Chemical Control and Protection in the Process of Equipment Decontamination and Waste Remaking by Ozone High Concentration. . . . . 10
- Tushin A. M.** Experience in the Development of Regulations for Occupational Health and Safety in Production, Montage and Operation of Machinery, Equipment and Process Units . . . . . 18

### INDUSTRIAL SAFETY

- Antonov A. V., Morozova O. I., Ershov G. A.** The General Criteria of Risk Acceptability in NPP Units Operation . . . . . 25

### ECOLOGICAL SAFETY

- Golik V. I., Rusak O. N., Zaalishvili V. B.** Risk Assessment Tailings Processing of Ores and Technology Utilization . . . . . 30
- Kirsanov V. V.** The Results of Studies of the Process of Biodegradation in the Aeration Tank of the Primary Pollutants Depending on the Coefficient of Recirculation of Activated Sludge and Aeration Time . . . . . 38
- Savelyev S. N., Savelyeva A. V., Friedland S. V.** Intensification of Wastewater Treatment Methods of Hydrocarbon Oxidation by Applying Electroplating Wastewater as a Catalyst . . . . . 40
- Sheinkman L. E., Dergunov D. V.** Ensuring Environmental Safety of Water Bodies from Pollution Phenols Contained in the Mine Waste Water . . . . . 44

### SITUATION OF EMERGENCY

- Ivakhnyuk S. G., Mityukhina A. D., Begak O. U.** Approbation of a New Technique Determining the Content of Corrosion-Active Elements in Oil and Oil Products . . . . . 51

### FIRE SAFETY

- Podobed V. A., Podobed N. E., Pankratov A. A.** The Risks of Fires at the Fishing Vessels of the Northern Fleet . . . . . 57

### REGIONAL PROBLEMS OF SAFETY

- Bogdanov V. D., Melnichenko I. P.** Influence of the Workings of Placer Gold Deposits on Reproduction of the Whitefishes in the Subpolar Urals . . . . . 62

### EDUCATION

- Nelyubov V. N., Pogodaeva M. V., Bozhidomova E. A.** Additional Education in the Field of Life Safety in the Regions with High Natural and Anthropogenic Risk . . . . . 67

Information about the journal is available online at: <http://novtex.ru/bjd>, e-mail: [bjd@novtex.ru](mailto:bjd@novtex.ru)

УДК 658.5:65.011.8:331.45

**Ю. В. Долинская**, менеджер по качеству<sup>1</sup>, преподаватель<sup>2</sup>, e-mail: dollynskay@mail.ru,  
**Н. Ф. Князюк**, д-р мед. наук, проф., зав. кафедрой<sup>2</sup>, Представитель руководства  
по качеству<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский областной клинический консультативно-диагностический центр

<sup>2</sup> Байкальская международная бизнес-школа Иркутского государственного университета

## Концептуальные вопросы управления изменениями в области профессиональной безопасности и охраны здоровья

*Обоснована необходимость управления организационными изменениями, прямо или косвенно влияющими на состояние охраны труда, безопасность и здоровье персонала организации. Представлены некоторые современные подходы к управлению изменениями, рассмотрены различные виды изменений, проведен анализ возможных источников изменений в рамках системы управления охраной труда. Особо подчеркнута важность проведения анализа и управления изменениями, происходящими в регулярных процессах и операциях, оборудовании и методах, применяемых в организации. Предложены алгоритм управления изменениями, основанный на цикле непрерывного улучшения, который может быть применен в рамках как эволюционной, так и революционной модели изменений, а также модель системы регламентации процессов управления изменениями.*

**Ключевые слова:** источники изменений, система управления охраной труда, управление изменениями, цикл непрерывного улучшения

### Введение

Решение практических вопросов обеспечения безопасности деятельности современных организаций для всех заинтересованных сторон так или иначе находится в области разработки и применения комплексных систем управления организацией. Наиболее успешными в этом направлении можно считать системы управления, которые способны гарантировать необходимое качество и безопасность не только конечных товаров и услуг, но также процессов и иных результатов деятельности организации как для ее внешних заинтересованных сторон, так и для ее сотрудников и руководства.

Успех современной организации в достижении целей в области качества и безопасности в значительной степени зависит от ее готовности к постоянным преобразованиям и способности управлять такими изменениями наиболее эффективным образом. Незапланированные, неожиданные изменения во внешней или внутренней среде ежедневно бросают вызов организациям и становятся причиной того, что между отдельными элементами организации и средой возникают несоответствия, которые должны быть устранены. Поэтому любая организация, независимо от размера, структуры, формы управления и сферы деятельности, должна быть гибкой, чтобы быстро адаптироваться к по-

стоянно меняющимся условиям, в которых она осуществляет свою деятельность.

По мнению авторов, управление изменениями должно охватывать всю систему управления организацией в целом и все ее подсистемы в отдельности, будь то система менеджмента качества, система управления охраной труда, система менеджмента информационной безопасности или любая другая. Здесь рассмотрены возможности и особенности управления изменениями в организации на примере одного из важных направлений деятельности — управления охраной труда.

### Система управления охраной труда в организации

Ускорение темпа и усиление напряженности производственного процесса, рост числа рисков и угроз для здоровья и профессиональной безопасности работников для руководства организации связаны с необходимостью внедрения и обеспечения системы управления охраной труда (СУОТ), способной не только отвечать требованиям законодательства, но и гарантировать достижение ее стратегических и оперативных целей, в том числе путем эффективного управления рисками и изменениями [1].

Одним из путей решения этой задачи является разработка и внедрение самостоятельной системы



менеджмента профессиональной безопасности и охраны труда в организации. Другим способом является аддитивная интеграция СУОТ в общую систему менеджмента организации, основанную на применении процессного подхода и цикла непрерывного улучшения PDCA (Plan — Do — Check — Act) — планирование, действие, проверка, воздействие).

В любом случае СУОТ следует рассматривать как систему взаимосвязанных и взаимодействующих процессов, сутью которой является организация и обеспечение безопасных условий труда для работников. Еще раз подчеркнем, что важным фактором успеха является способность организации своевременно и эффективно перестраивать свои процессы с учетом внешних и внутренних изменений. В контексте управления охраной труда это приобретает особый смысл, поскольку "ценой вопроса" может стать здоровье и даже жизнь любого работника. В конечном счете любое изменение в рамках СУОТ с разной степенью вероятности может оказать влияние на состояние профессионального здоровья человека.

На сегодняшний день разработан и утвержден ряд международных и национальных стандартов по безопасности труда, среди которых OHSAS (Occupational Health and Safety Assessment Series, Система оценки безопасности труда и охраны здоровья) 18001:2007 "Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья. Требования" [2], OHSAS 18002:2008 "Руководство по применению OHSAS 18001" [3], ГОСТ Р 54934—2012/OHSAS 18001:2007 "Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования" [4], ГОСТ 12.0.230—2007 "Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования" [5], ГОСТ Р 12.0.007—2009 "Система стандартов безопасности труда. Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию" [6].

Однако перечисленные документы определяют лишь общие требования к организации и совершенствованию процессов СУОТ, вскользь затрагивая вопросы управления изменениями (например, в пункте 4.10.2. ГОСТ 12.0.230—2007 и пункте 8.5.2. ГОСТ Р 12.0.007—2009) [6] без указания конкретных инструментов, необходимых для реализации этих требований. Законодательство РФ о труде также всего лишь определяет круг обязанностей работодателя, но не предлагает конкретных стандартных процедур для их исполнения. Каждая организация вправе внедрять собственные стандарты и методы управления охраной труда для исполнения всех принятых на себя обязательств и достижения поставленных целей [7]. В связи с этим перед руководителями организаций и специалистами-практиками стоит ряд конкретных задач, связанных с поиском и внедрением эффективных управ-

ленческих решений и инструментов, в том числе в области управления изменениями.

### **Современные подходы к управлению изменениями**

Управление организационными изменениями рассматривается авторами как система планирования, реализации и последующей оценки постоянных изменений в продукции или услугах, в процессах, организационной структуре и организационной культуре с целью обеспечения устойчивого развития организации за счет максимального удовлетворения потребностей внутренних и внешних потребителей и завоевания конкурентных преимуществ. При этом руководство организации может выбрать для себя тактику реактивного или превентивного управления изменениями.

В первом случае изменения осуществляются организацией после того, как внутренние или внешние факторы окажут на нее давление. Как правило, это происходит тогда, когда организация впервые сталкивается с каким-либо новым фактором нестабильности. Во втором случае организация пытается предусмотреть появление подобного давления и провести изменения в предупредительном порядке. Применение превентивного подхода дает возможность менеджерам прогнозировать события во внутренней и внешней среде, предупреждать и опережать их, самостоятельно инициировать изменения.

Изменения в организации могут осуществляться радикально в виде крупных скачков или же постепенно в виде мелких последовательных шагов. В связи с этим выделяют революционную и эволюционную модели изменений. Концепция революционных преобразований (реинжиниринг хозяйственной деятельности), сформулированная американскими специалистами по менеджменту Майклом Хаммером и Джеймсом Чампи, предполагает фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование организации и ее важнейших процессов. Развитие в рамках эволюционной модели организационного развития представляет собой долгосрочный и всеобъемлющий процесс преобразований путем планирования и осуществления изменений в социальных системах с привлечением широкого круга участников [8].

По мнению авторов, наиболее успешным является синтез обеих моделей, а именно плановое осуществление проекта изменений с максимальным учетом человеческого фактора. В качестве примера такого объединенного подхода можно привести методику, разработанную Джеймсом Харрингтоном — признанным лидером в области практического применения современных методологий совершенствования бизнес-процессов, автором концепции делового совершенства. Методика управления изменениями Харрингтона включает в себя семь этапов [9].

1. Определение содержания проекта.
2. Подготовка плана проекта управления изменениями и доведение его до сведения заинтересованных сторон.
3. Проведение диагностирования (обследование и анализ для выявления возможных препятствий).
4. Разработка плана мероприятий проекта, необходимых для его своевременного выполнения в пределах выделенного бюджета и на приемлемом уровне качества.
5. Выполнение плана (полное и своевременное решение технических задач, связанных с человеческим фактором, за счет уменьшения сопротивления и повышения приверженности персонала).
6. Мониторинг проекта и возникающих проблем (последовательное отслеживание достигнутых результатов и их соответствия плану).
7. Оценка окончательных результатов.

Проанализировав различные современные концепции по управлению изменениями, можно сделать вывод, что многие из них сосредоточены главным образом на крупных инициативах стратегического характера и значительных трансформациях деятельности, проводимых с целью увеличения ее эффективности (реинжиниринг, смена стратегии и т. д.). При этом гораздо меньше внимания со стороны менеджеров уделяется повседневному, рутинным, не столь масштабным изменениям в процессах. Говоря об обеспечении и развитии СУОТ, важно в первую очередь анализировать именно изменения в регулярных процессах и операциях, оборудовании и применяемых методах, выявлять и оценивать опасности и риски, которые они несут с собой.

### Сущность и источники изменений в СУОТ

Успешное управление изменениями в СУОТ, как и в любой другой системе менеджмента, требует изучения и понимания самого объекта управления. Изменения в рамках СУОТ в большей степени представляют собой организационные изменения в различных ее элементах. В контексте данной статьи под термином "изменение в системе управления охраной труда" понимается результат сознательного решения

заменить, преобразовать, переделать, добавить, модифицировать или отклониться от какого-либо параметра существующего процесса при реализации СУОТ вследствие воздействия внешних или внутренних факторов, а также сам процесс движения от состояния "как есть" к состоянию "как надо".

Собственно процесс управления изменениями начинается с осознания существования какой-либо проблемы и/или необходимости перемен. При этом выработка предложений и планирование изменений не являются исключительной прерогативой руководителей верхнего уровня. Инициировать изменения в рамках СУОТ помимо руководителя организации могут уполномоченные по охране труда, инженер по охране труда, любой сотрудник, а также внешние регулирующие органы и подрядчики. Но при этом высшее руководство организации отвечает за реализацию необходимых преобразований.

Изменения в системе могут быть вызваны либо определенными событиями во внешней среде (издание новых нормативно-правовых актов, развитие знаний по охране труда и др.), либо внутренними событиями и потребностями организации (выявление проблем, ожидания работников и др.). Соответственно по своему происхождению изменения можно разделить на изменения, вызванные внешними причинами, и преобразования, вызванные внутренними факторами. Кроме того, можно объединять все организационные изменения в зависимости от характера проводимых преобразований в три вида: *корректирующие действия* (действия, направленные на устранение причин и последствий любых несоответствий в системе), *предупреждающие действия* (мероприятия, направленные на предотвращение потенциальных несоответствий и непосредственно связанные с управлением рисками) и *действия по улучшению* (включая пересмотр целей и задач, действия по оптимизации и развитию, разработку и реализацию "Программы по улучшению условий труда") (рис. 1).

Очевидно, что управление первыми двумя видами изменений в основном не представляет особых проблем для организаций, развивающих свою деятельность в соответствии с принципами и тре-



Рис. 1. Классификация изменений в рамках СУОТ



Рис. 2. Факторы, инициирующие процесс изменения в СУОТ

бованиями указанных выше стандартов по системам менеджмента профессиональной безопасности и охраны здоровья [2—4]. В то же время управление действиями по улучшению, в том числе управление организационными инновациями, вызывает большое количество практических вопросов. Стоит также заметить, что внутри организации могут происходить как запланированные, так и случайные или неявные изменения. Поэтому предлагая данную классификацию, авторы имеют в виду только осознанные и запланированные мероприятия по улучшению деятельности организации.

Отправной точкой для проведения организационных изменений должен являться тщательный анализ деятельности организации, ее проблем и потребностей, которые, как уже было сказано выше, рассматриваются в качестве факторов, инициирующих процесс изменений. Подобный анализ полезно начинать с проведения мозгового штурма среди руководителей по возможности всех структурных подразделений и процессов организации. А в последующем можно переходить к экспертной оценке и другим методам анализа.

В качестве примера анализа возможных источников изменений можно привести результаты причинно-следственного анализа, проведенного авторами и документированного с помощью одного из инструментов контроля качества — диаграммы Исикавы. В процессе анализа все причины изменений были разделены на основные категории, а именно: люди, оборудование, методы, технологии, материалы, инфраструктура и производственная среда, внешняя среда (при желании категории могут быть определены иным образом). Результаты анализа представлены на рис. 2. Безусловно, это далеко не полный перечень всех причин, вызывающих

изменения в СУОТ. В ходе дальнейшего анализа каждая из причин первого порядка может быть разбита на причины второго порядка и так далее. К тому же состав причин зависит от сферы деятельности организации, системы ее процессов, размера и др.

Необходимо всегда помнить, что изменения, произведенные для улучшения одного аспекта операции, могут создать потенциальные опасности в других областях той же операции. То же самое относится и к оборудованию. Достаточно часто с целью повышения производительности труда, устранения несоответствий или снижения рисков изменения осуществляются именно в оборудовании (включая его ремонт), материалах и процессах. При этом проблемы, созданные неконтролируемым изменением, нередко приводят к напряжению оборудования и его повреждению, а ремонт и обслуживание такого оборудования могут быть опасными для персонала.

Иногда в организации принимаются решения о перемещении работников в пределах определенного процесса. В некоторых случаях неконтролируемое изменение означает отказ от средств индивидуальной защиты или вывод из эксплуатации физических устройств безопасности, таких как регуляторы давления и системы пожаротушения. Все эти изменения потенциально могут создать новые опасности на рабочих местах, некоторые из которых нельзя быстро выявить. Поэтому каждая модификация должна быть проанализирована на предмет опасности, вытекающей из изменения.

### Цикл управления изменениями

Потребность в осуществлении изменений может возникнуть на любом этапе управленческого цикла — при планировании, организации, оценке

или совершенствовании СУОТ. Так, например, в процессе планирования может потребоваться коррекция целей и планов. При этом должен быть регламентирован порядок внесения подобных изменений. При организации процессов СУОТ может возникнуть необходимость во внедрении нового технологического процесса или нового оборудования. В этом случае непременно должны быть определены опасности и оценены риски на рабочих местах [5, 6], что, в свою очередь, может потребовать внесения изменений в существующие процедуры и документы (например, в инструкции и программы обучения персонала по охране труда).

Изменения в процессах мониторинга и оценки могут быть вызваны изменениями во внешних нормативных актах. Например, в связи с недавним вступлением в силу Федерального закона от 28.12.2013 № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда" [10] организации оказались вынуждены менять привычный процесс аттестации рабочих мест по условиям труда. Ну а рассматривая этап совершенствования деятельности, следует отметить, что любое улучшение СУОТ (например, внедрение системы управления профессиональными рисками) априори является ее изменением.

По мнению авторов, управление каждым отдельным изменением также должно проходить весь цикл непрерывного улучшения PDCA (на более низком уровне), начиная от прогнозирования и планирования изменения и заканчивая улучшением деятельности. В связи с этим предлагается возможный алгоритм реализации изменений в организации.

Как уже ранее отмечалось, процесс управления изменениями начинается с осознания потребности в преобразованиях. *На этапе планирования* необходимо провести анализ ситуации (изучить проблемы, потенциальные несоответствия или возможности для улучшения); оценить необходимость изменений (принять или отклонить потенциальное изменение); оценить наличие ресурсов, степень готовности организации, отдельного подразделения или сотрудника к изменениям и возможность появления сопротивления; установить цели изменения (желаемое состояние), а также разработать план действий по внедрению изменения и предотвращению сопротивления.

В определенных ситуациях в процессе анализа потенциальных изменений может потребоваться проведение оценки производственного риска. Прежде всего такая оценка необходима, если изменение затрагивает весь процесс производства или несколько подразделений, если последствия изменения могут привести к серьезному инциденту или предложенное изменение требует корректировки критических операционных параметров (например, реакторных температур), а также в тех случаях, когда планируется внедрение новой технологии или совершенно новой части процесса. Когда предложенное изменение считается важным

и одновременно дорогим, необходимо кроме всего прочего провести количественный анализ риска.

*На этапе после разработки плана* нужно осуществить изменения и внедрить новые правила поведения, т. е. провести стабилизацию изменений. Неконтролируемые изменения могут оказать разрушающее влияние на деятельность организации, поэтому важным элементом управления изменениями является контроль.

Для этого на третьем этапе необходимо оценить последствия и результативность предпринятых мер, а также потребность в последующих действиях. В случае необходимости следует предпринять дополнительные меры по улучшению.

Предложенный алгоритм управления изменениями может быть применен как для осуществления последовательных изменений в рамках концепции эволюционного развития, так и для реализации радикальных преобразований в рамках революционной модели изменений. Заметим, что данный алгоритм во многом пересекается с методикой управления организационными изменениями Харрингтона [9], описанной выше, поскольку обе представленные методики в основе содержат цикл непрерывного улучшения. В конечном итоге каждая организация может выбрать для себя наиболее подходящий вариант или разработать свой собственный метод управления изменениями.

Следует учитывать тот факт, что не на все изменения можно распространить действие стандартных процедур. Только инициированное (осознанное) изменение может быть потенциально управляемым. Соответственно реактивным или скрытым изменением управлять не представляется возможным. Кроме того, существует несколько видов изменений, которые нецелесообразно подвергать полной процедуре управления изменениями. Речь идет об идентичных и незначительных изменениях. Например, идентичным изменением является замена одного элемента оборудования другим, если он функционально одинаковый и содержит те же технические требования, что и оригинал, и если при этом не меняются материально-технические требования, условия и требования к осмотру и обслуживанию, все условия процесса. Замена является частью обычного обслуживания оборудования. Но необходимо помнить, что замена идентичного оборудования может быть неидентичной, если она выполнена разными людьми, в разное время, различными методами, в различных условиях. Замена идентичного оборудования, которое вышло из строя без известной причины, требует обязательного анализа и применения процедуры управления изменениями.

Одним из организационных решений при управлении изменениями является создание комиссии или группы по изменениям в рамках всей организации. В настоящее время такой опыт име-



ется в некоторых крупных компаниях. Состав данной комиссии или группы может быть постоянным или переменным, но в любом случае в него должен входить инженер по охране труда или представитель руководства по СУОТ (в организациях чаще имеется инженер по охране труда).

Основной задачей комиссии является анализ возможных последствий любых изменений в контексте соблюдения требований охраны труда и безопасности для персонала. Кроме специалистов по охране труда в комиссию могут входить специалисты по промышленной безопасности и гигиене, пожарной безопасности и другие сотрудники по усмотрению руководства. В некоторых компаниях даже выделена специальная должность специалиста по управлению изменениями.

В процессе осуществления изменений немаловажную роль играют опыт и навыки профессионалов, способных уловить "ветер перемен" и в нужный момент осуществить необходимые преобразования. Вместе с тем изменения реализуются быстрее и с меньшими потерями, если в организации регламентированы ключевые процессы, в том числе управленческие рисками, управление проектами, управление инновациями и др.

Порядок управления изменениями в организации может быть регламентирован в виде единого стандарта или же в системе регламентов и процедур, относящихся к отдельным типам изменений или разным этапам цикла управления. В первом случае все требования объединяются в едином документе, что при необходимости значительно упрощает поиск информации. Но на практике разработать такой документ достаточно сложно именно по причине неоднородности объекта управления. Второй случай более легко реализуем, но требует перекрестных ссылок на документы. Пример модели такой системы регламентации представлен на рис. 3.

Отдельно следует сказать несколько слов о возможных препятствиях на пути к успешному управлению организационными изменениями. Среди них

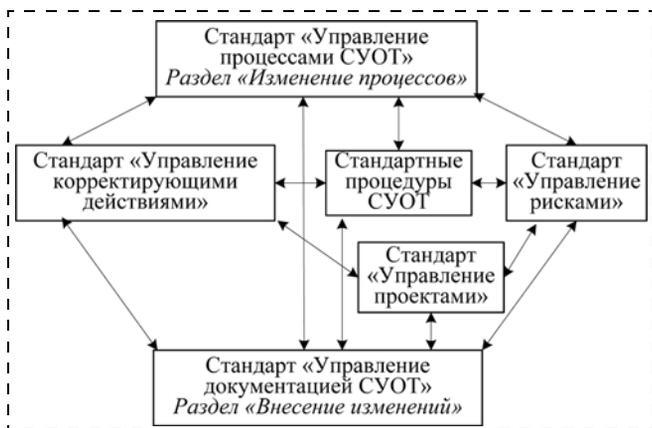


Рис. 3. Система регламентации управления изменениями в СУОТ

можно выделить следующие: непонимание необходимости изменений; отсутствие поддержки со стороны ключевых участников; непонимание необходимости учитывать временные рамки; неспособность изменить статус-кво; отсутствие способа измерения результата; копирование других; сосредоточенность только на части процесса; стремление совершить невозможное и др. [9]. Все эти проблемы стоит учитывать и анализировать в процессе планирования и проведения преобразований.

## Заключение

Особо следует подчеркнуть, что крайне необходимым является понимание важности преобразований одновременно и руководством, и всеми сотрудниками организации. Поэтому нужно стремиться к созданию в организации корпоративной культуры "обучающейся" организации при одновременном поддержании процедур и структур, обеспечивающих ее оптимальную эффективность. В стратегическом плане управление изменениями предполагает внедрение постоянных улучшений в процессы регулярного менеджмента настолько, чтобы они стали ожидаемыми и привычными для всех сотрудников организации. При этом организация сама выбирает подходящую для себя модель управления изменениями с учетом своих целей, возможностей, внутренней и внешней среды. Проектируя такую модель, важно, чтобы система отражала существующую корпоративную культуру, способы, которые сотрудники организации фактически используют в работе, и методы, которые они применяют при взаимодействии друг с другом.

По мнению авторов, безопасность — самая важная причина осуществления программы управления изменениями. Но не стоит забывать и об экономических выгодах от эффективного управления изменениями. Прежде всего речь идет об увеличении производственных показателей из-за минимизации материального и нематериального ущерба, а также о снижении затрат на решение фактических проблем, вызванных неконтролируемыми изменениями. Снижение времени, необходимого для ремонта оборудования, и сокращение числа травм и инцидентов ведут к увеличению прибыли.

В целом создание эффективно функционирующей системы менеджмента изменений в рамках всей организации позволяет ей проактивно реагировать на изменения во внешней и внутренней среде, помогает добиться эффективной реализации намеченных изменений, значительно сократить время и затраты на их осуществление, наладить эффективные механизмы самоорганизации и адаптации, завоевать и удержать конкурентные преимущества и, что имеет особую важность в рамках системы управления охраной труда, помо-

гает обеспечить профессиональную безопасность работников и сохранение их здоровья.

Все перечисленное выше обеспечивает возможности для устойчивого развития организации в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

#### Список литературы

1. Долинская Ю. В., Князюк Н. Ф. Разработка архитектуры процессов системы управления охраной труда // Бизнес-образование как инструмент инновационного развития экономики: матер. науч.-практ. конф. Иркутский государственный университет (ИГУ). — Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. — С. 64—67.
2. OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems. Specification. — OHSAS Project Group, 2007. — 22 p.
3. OHSAS 18002:2008 Occupational health and safety management systems. Guidelines for the implementation of OHSAS 18001. — OHSAS Project Group, 2008. — 78 p.

4. ГОСТ Р 54934—2012 / OHSAS 18001:2007 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования. — М.: Стандартинформ, 2012. — 20 с.
5. ГОСТ 12.0.230—2007 ССБТ Системы управления охраной труда. Общие требования. — М.: Стандартинформ, 2007. — 15 с.
6. ГОСТ Р 12.0.007—2009 ССБТ Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию. — М.: Стандартинформ, 2009. — 34 с.
7. Князюк Н. Ф., Долинская Ю. В. Разработка процесса мониторинга охраны труда // Охрана и экономика труда / ВНИИ охраны и экономики труда Минтруда России. — 2013. — № 3 (12). — С. 79—86.
8. Норберт Т. Управление изменениями // Проблемы теории и практики управления. — 1998. — № 1. — С. 68—74.
9. Харрингтон Дж. Совершенство управления изменениями. Пер. с англ. В. Н. Загребельного; под науч. ред. В. В. Брагина. — М.: РИА "Стандарты и качество", 2008. — 192 с.
10. Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".

Ju. V. Dolinskaya, Quality Assurance Manager<sup>1</sup>, Lecturer<sup>2</sup>, e-mail: dollynskay@mail.ru,  
N. F. Kniazuk, Professor, Head of Chair<sup>2</sup>, Quality Management Representative<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk Regional Diagnostic Centre

<sup>2</sup> Baikal International Business School of the Irkutsk State University

## Conceptual Issues of the Change Management within the Occupational Safety and Health Management System

*The article substantiates the necessity of managing organizational changes that directly or indirectly affect the state of the occupational safety and health within the organization. The article studies some of the contemporary approaches to change management, consider various types of changes and analyses the potential sources of changes within the framework of the occupational safety and health management system. The authors particularly emphasize the importance of analyzing and managing changes occurring in the regular processes and operations, equipment and methods used in the organization. The authors offer the change management algorithm based on the continual improvement cycle that can be applied within both evolutionary and revolutionary change models. They also offer the regulatory system model of the change management processes within the framework of the occupational safety and health management system.*

**Keywords:** sources of change, occupational safety and health management system, change management, continual improvement cycle

#### References

1. Dolinskaja Ju. V., Knjazjuk N. F. Razrabotka arhitektury processov sistemy upravlenija ohranoj truda. *Biznes-obrazovanie kak instrument innovacionnogo razvitija jekonomiki: mater. nauch.-prakt. konf. Irkutsk State University (IGU)*. Irkutsk: Izd-vo IGU, 2013. P. 64—67.
2. OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems. Specification. OHSAS Project Group, 2007. 22 p.
3. OHSAS 18002:2008 Occupational health and safety management systems. Guidelines for the implementation of OHSAS 18001. OHSAS Project Group, 2008. 78 p.
4. ГОСТ R 54934—2012/OHSAS 18001:2007 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования. М.: Стандартинформ, 2012. 20 p.
5. ГОСТ 12.0.230—2007 ССБТ Системы управления охраной труда. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2007. 15 p.

6. ГОСТ R 12.0.007—2009 ССБТ Система управления охраной труда в организации. Общие требования по разработке, применению, оценке и совершенствованию. М.: Стандартинформ, 2009. 34 p.
7. Knjazjuk N. F., Dolinskaja Ju. V. Razrabotka processa monitoringa ohrany truda. *Ohrana i jekonomika truda. VNIi ohrany i jekonomiki truda Mintruda Rossii*. 2013. N. 3 (12). P. 79—86.
8. Norbert T. Upravlenie izmenenijami. *Problemy teorii i praktiki upravlenija*. 1998. N. 1. P. 68—74.
9. Harrington Dzh. Sovershenstvo upravlenii izmenenijami / Per. s angl. V. N. Zagrebel'nogo; pod nauch. red. V. V. Bragina. М.: РИА "Стандарты и качество", 2008. 192 p.
10. Federal'nyj zakon ot 28.12.2013 N. 426-FZ "O special'noj ocenke uslovij truda".



УДК 54.058; 54.084

**Л. А. Обвинцева**<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр. лаборатории, доц., e-mail: obvint@yandex.ru, **И. Б. Беликов**<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, вед. электроник, **Т. Б. Цыркина**<sup>1</sup>, науч.-сотр. лаборатории, **И. П. Сухарева**<sup>1</sup>, науч. сотр. лаборатории, **М. П. Дмитриева**<sup>1</sup>, науч. сотр. лаборатории, **А. Д. Шепелев**<sup>1</sup>, канд. хим. наук, зав. лабораторией, **А. К. Аветисов**<sup>1</sup>, канд. хим. наук, зав. лабораторией, **В. А. Юрманов**<sup>3</sup>, канд. техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории, **Е. В. Юрманов**<sup>3</sup>, мл. науч. сотр. лаборатории

<sup>1</sup> Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, Москва

<sup>2</sup> Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН, Москва

<sup>3</sup> Научно-исследовательский и конструкторский институт энерготехники им. Н. А. Доллежала, Москва

## Разработка средств химического контроля и защиты при проведении дезактивации оборудования и переработке отходов концентрированным озоном

*Наиболее перспективное направление совершенствования дезактивации оборудования и переработки радиоактивных отходов на АЭС связано с развитием озоновых технологий. Озон относится к токсичным веществам первого класса опасности, поэтому при работе озонаторного оборудования необходим контроль за превышением предельно допустимой концентрации озона в воздухе. Представлены результаты разработки портативных газоанализаторов на основе полупроводниковых сенсоров для контроля содержания озона в воздухе производственных помещений, а также результаты разработки и испытаний перспективных фильтрующих тонковолокнистых материалов для оснащения средств индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания персонала одновременно от озона и аэрозолей. Полученные результаты демонстрируют возможности разработанных приборов для использования их в качестве анализаторов содержания озона в воздухе и сигнализаторов превышения предельно допустимой концентрации озона в воздухе рабочей зоны. Из числа исследованных материалов тонковолокнистые материалы на основе полистирола и полисульфона представляют интерес для практического применения в качестве озоносвязывающих материалов, в том числе для фильтрующих элементов респираторов.*

**Ключевые слова:** озоновые технологии, дезактивация оборудования на АЭС, дезактивация жидких радиоактивных отходов, контроль содержания озона, полупроводниковые сенсоры, фильтры для защиты органов дыхания от озона

### Введение

Актуальность внедрения озоновых технологий в атомной энергетике обусловлена современными требованиями экологической безопасности и минимизации накопления отходов [1–4]. Перспективность применения озона для переработки отходов с высоким содержанием органики подтверждена опытом многих АЭС мира. Например, на Кольской АЭС озонирование используется при переработке радиоактивных отходов. На АЭС Хамаока применение озона обеспечило высокую эффективность дезактивации первого контура при минимальном образовании отходов. Традиционные технологии дезактивации реакторного оборудования для достижения высокой эффективности предусматривают высокие концентрации реаген-

тов и большое количество циклов многостадийной обработки, что обуславливает образование большого количества отходов. Озоновые технологии дезактивации в этом отношении обладают уникальными достоинствами. Во-первых, в качестве сильнейшего окислителя озон эффективен при концентрациях, которые на 3 порядка ниже концентраций всех других применяемых с этой целью окислителей, включая перманганат калия, а также соли церия и ванадия. Во-вторых, высокая скорость процесса отмывки достигается без проведения периодической замены отработанного раствора, что преумножает количество отходов и расход дорогостоящих реагентов. В-третьих, собственно озон не только не дает вклада в образование дополнительных отходов, но и при определенном

усовершенствовании технологического процесса дезактивации на заключительном этапе используется для разложения органических компонентов дезактивирующего раствора (шавелевой кислоты и др.), тем самым значительно сокращая объем отходов.

По сравнению с традиционными способами дезактивации и переработки отходов озоновые технологии отличаются меньшими затратами, наибольшей эффективностью, экологической безопасностью. Специалистами научно-исследовательского и конструкторского института энерготехники им. Н. А. Доллежаля, Всероссийского научно-исследовательского института атомных электростанций, Лаборатории озоновых технологий (Троицк), Института физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН и Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) показана перспективность использования озоновых технологий для дезактивации реакторного оборудования отечественных АЭС на основе анализа опыта зарубежных АЭС, включая Огеста (Швеция), Дампьер (Франция), Хамаока (Япония) и др. Экспериментально показана эффективность использования озона для разрушения шавелевой кислоты и комплексонов с образованием по окончании дезактивации углекислого газа и воды. На предприятиях отрасли подтверждена перспективность озонирования для переработки ранее накопленных жидких отходов. Ожидается, что широкое внедрение озоновых технологий для переработки отходов и дезактивации отечественных АЭС обеспечит значительное сокращение количества отходов и исключит негативные последствия традиционных технологий дезактивации.

Озон относится к токсичным веществам первого класса опасности, поэтому при работе озонаторного оборудования его предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны ( $ПДК_{р.з}$ ) ограничивается величиной  $100 \text{ мкг/м}^3$  [5] и нормативно утверждена необходимость контроля этой величины [6]. Токсичность озона проявляется в первую очередь в результате его раздражающего действия на дыхательные пути человека [7, 8].

В данной статье представлены результаты разработки портативных газоанализаторов на основе полупроводниковых сенсоров для контроля содержания озона в воздухе производственных помещений и результаты разработки фильтрующих материалов для средств индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания одновременно от озона и аэрозолей.

## Полупроводниковые сенсоры и сенсорные анализаторы озона

Для контроля содержания озона в воздухе производственных помещений перспективно использование анализаторов на основе полупроводниковых сенсоров (ППС), которые широко используются в различных областях газового анализа благодаря их низкой стоимости, малым габаритам, простоте применения, высокой чувствительности и быстрой реакции [9–15].

Принцип действия ППС основан на изменении проводимости чувствительного слоя при адсорбции газов на их поверхности. Сенсоры представляют собой пленки полупроводниковых оксидов металлов  $ZnO$ ,  $In_2O_3$  и др. на нагреваемых диэлектрических подложках с размерами  $2 \times 2 \text{ мм}$  или менее. Пример распространенной конструкции приведен на рис. 1. Чувствительность ППС к озону очень высокая — менее  $1 \text{ мкг/м}^3$ , диапазон измеряемых концентраций — от  $1 \text{ мкг/м}^3$  до приблизительно  $5 \dots 10 \text{ мг/м}^3$ . Между величиной изменения сопротивления (проводимости) чувствительного слоя сенсора и концентрацией газовой примеси существует количественная зависимость, вид которой устанавливается в процессе калибровки сенсора. Обычно это степенная или полиномиальная функция.

В настоящее время полупроводниковые сенсоры и газоанализаторы на их основе выпускают серийно, преимущественно для контроля присутствия в воздухе горючих газов. Основные участники рынка газовых сенсоров: City Technology Ltd. [11], Alphasense, Membrapor AG, Dynament Ltd. и Figaro Engineering. По данным маркетинговой компании "Research and Markets Ireland" в 2013 г. общий рынок газовых сенсоров превысил 2,0 млрд долл. США. Из них, по разным оценкам, электрохимические и полупроводниковые сенсоры вместе занимают 35...40 %. К 2018—2020 гг. прогнозируется рост рынка сенсоров с совокупным среднегодовым темпом роста 4,3...6,9 %. [12]. Наиболее интересной разработкой газоанализатора для контроля озона в атмосферном воздухе на основе ППС, по мнению авторов, является прибор, описанный в работе [13]. В России также формируется рынок сенсорных газоанализаторов.

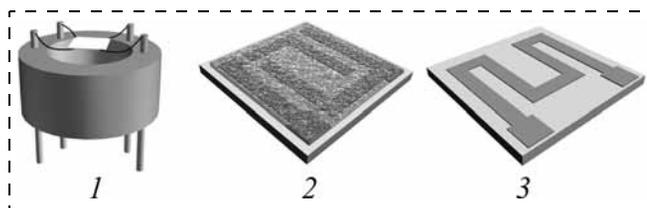


Рис. 1. Полупроводниковый сенсор:

1 — внешний вид; 2 — измерительные электроды с чувствительным слоем; 3 — нагревательный элемент

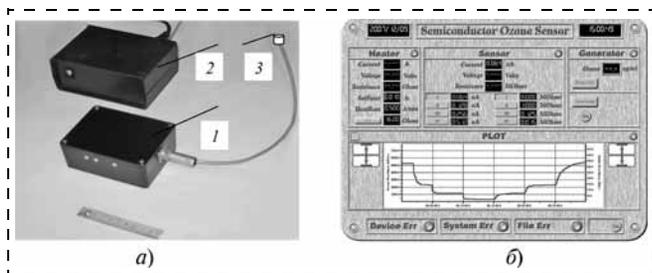


Рис. 2. Сенсорный анализатор газовых примесей: а — внешний вид: 1 — измерительный блок; 2 — блок питания; 3 — камера полупроводникового сенсора; б — рабочее окно программы персонального компьютера

В Научно-исследовательском физико-химическом институте им. Л. Я. Карпова (НИФХИ) совместно с Институтом физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН разработан автоматизированный сенсорный газоанализатор малых газовых примесей атмосферы [14] с полупроводниковым сенсором в качестве чувствительного элемента. Внешний вид прибора и рабочее окно программы персонального компьютера приведены на рис. 2. Программа обеспечивает измерения характеристик чувствительного слоя сенсора и нагревательного элемента, вывод их значений на монитор и запись в файл данных, поддержание температуры нагревателя, сообщения об отклонениях в работе прибора, сигнализацию об аварийных ситуациях, периодическую калибровку прибора. Масса прибора менее 0,5 кг.

Макетные образцы газоанализатора с 2002 г. тестировали на метеообсерватории МГУ им. М. В. Ломоносова и в ряде геофизических экспедиций Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН [10, 15]. При этом была достигнута хорошая корреляция результатов измерений содержания озона в атмосферном воздухе разработанным прибором с синхронными данными газоанализатора озона DASIBI 1008 АН, США (рис. 3, 4), широко используемого на станциях мировой озонметрической сети и в России. Образцы сенсорного газоанализатора также используются для научных исследований, проводимых в НИФХИ [15, 16]. За прошедшие годы прибор был усовершенствован, кроме того, проведены исследования, направленные на обоснование выбора оптимальных условий его эксплуатации [17].

На базе описанного газоанализатора разработан портативный сигнализатор для оперативного оповещения персонала о превышении уровня ПДК<sub>р,3</sub> озона в воздухе рабочего по-

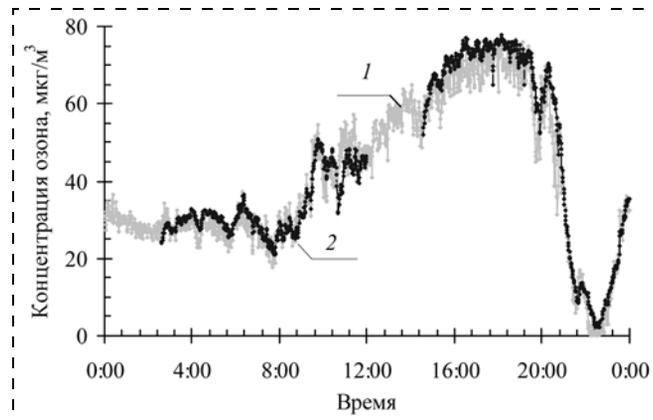


Рис. 3. Суточный тренд концентрации озона в атмосферном воздухе по результатам измерений газоанализатором DASIBI 1008 АН (кривая 1) и сенсорным анализатором озона (кривая 2) на метеообсерватории МГУ. Пропуски на темной кривой 2 — периоды калибровки сенсорного анализатора озона

мещения. Макетный образец представлен на рис. 5. Прибор оснащен световой и звуковой сигнализацией и предназначен как для автономной работы, так и для работы с помощью компьютера. Программа для ПК обеспечивает калибровку прибора по концентрации озона в воздухе, тестирование и перенастройку параметров прибора, запись результатов измерения в файлы данных.

Таким образом, разработанные приборы перспективны для использования их в качестве анализаторов содержания озона в воздухе и сигнализаторов превышения ПДК<sub>р,3</sub>. Кроме того, для эффективного использования озоновых технологий необходимы измерения концентрации озона, начиная со стадии его генерации в технологических смесях с воздухом, кислородом или водой. Стандартные оптические газоанализаторы имеют крупные габариты, требуют специального обслужива-

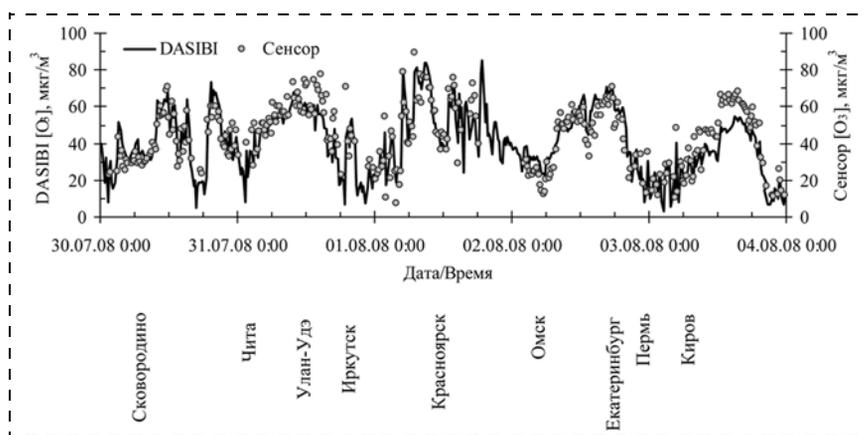


Рис. 4. Вариации концентрации озона, измеренные газоанализатором DASIBI 1008-RS и сенсорным анализатором озона вдоль Транссибирской магистрали по результатам работы Международной экспедиции на вагоне-обсерватории TROICA-12. 30.07.08—04.08.08 [15]

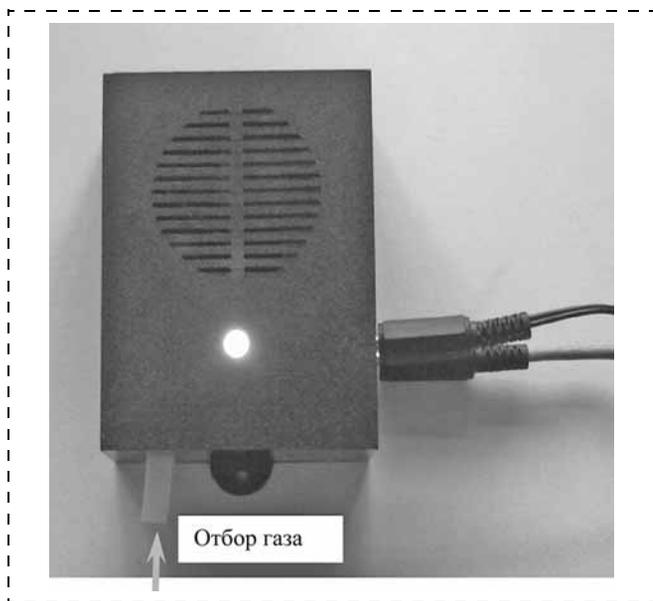


Рис. 5. Портативный сигнализатор превышения ПДК<sub>р,з</sub> по озону

ния и условий работы, кроме того, они не аттестованы для работы на ЯЭУ и достаточно дороги. Эти аналитические задачи также могут быть успешно решены с помощью приборов на основе полупроводниковых сенсоров [18].

#### Фильтрующие материалы для защиты органов дыхания от озона

Для защиты органов дыхания от радиоактивных аэрозолей на АЭС используют легкие респираторы типа "Лепесток", "Алина", фильтрующими элементами которых служат тонковолокнистые полимерные материалы — фильтры Петрянова (ФП). Большинство материалов марки ФП разработаны в лаборатории аэрозолей НИФХИ, работы начались еще в 30-е годы прошлого столетия. К настоящему времени промышленностью выпускаются такие материалы более чем из двух десятков полимеров. Количество марок материалов составляет несколько

десятков, они отличаются химическим составом, диаметром волокон (от 0,1...0,3 до 7,0...10,0 мкм), структурой [19—22].

В связи с применением озоновых технологий на АЭС необходимы респираторы, защищающие одновременно от аэрозолей и от озона. Такие материалы должны эффективно связывать озон, не разрушаясь при этом, чтобы не снизить эффективность улавливания аэрозолей, и не образуя токсичные газообразные продукты.

В настоящее время для защиты органов дыхания от озона и аэрозолей в конструкцию респиратора включают рабочие слои из активированного угля. Например, в качестве основного фильтрующего материала для улавливания аэрозолей используется полипропилен, а для защиты от озона — дополнительный фильтр из активированного угля: "Юлия" [22], 3М™ 9928 [23], moldex [24]. Фильтр из активированного угля требует установки клапана выдоха, что усложняет и удорожает конструкцию. В других респираторах: "Снежок Ф-ГП-Озон", Ф-П-К-ТУ 40 (Украина) используют углеродные волокнистые материалы [25—26]. Однако углеродные волокна недостаточно прочные.

В НИФХИ им. Л. Я. Карпова проводятся исследования взаимодействия озона с тонковолокнистыми полимерными материалами ФП, традиционно используемыми в устройствах для защиты от аэрозолей и выпускаемыми промышленностью, а также с новыми опытными образцами [16, 27—30]. Перечень основных материалов дан в таблице. Были изучены их активность в отношении поглощения озона, изменения структуры и химического состава, вызванные воздействием озона, а также химический состав образующихся газообразных продуктов. Эксперименты проводили при низких концентрациях озона в воздухе: 250 мкг/м<sup>3</sup>, которые соответствуют 2,5 ПДК<sub>р,з</sub>, и при высоких 0,5...1,5 % об. озона (10...30 г/м<sup>3</sup>). Обработка образцов высокими концентрациями озона обеспечивала изменения структуры и химического состава волокон, достаточные для анализа методами оптической спек-

#### Перечень исследуемых тонковолокнистых фильтрующих материалов

Материал*	Состав	Формула
ФПС-15-1,5	Полистирол	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-)_n$
ФПСАН-8-1,2	Сополимер полистирола с акрилонитрилом	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-)_n(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CN})-)_m$
ФПАН-10-3,0	Полиакрилонитрил	$(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CN})-)_n$
ФПСФ-15-1,5	Полисульфон	$(-\text{C}_6\text{H}_4-\text{SO}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-)_n$
ФПА-15-2,0	Диацетат целлюлозы	$(-\text{C}_6\text{H}_7\text{O}(\text{OH})(\text{OCOCH}_3)_2-)_n$
ФПП-70-0,5	Хлорированный поливинилхлорид (перхлорвинил)	$(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n(-\text{CHCl}-\text{CHCl}-)_m$
ФПФ42-10-3,0	Сополимер тетрафторэтилена с винилиденфторидом	$(-\text{CF}_2-\text{CF}_2-)_n(-\text{CH}_2-\text{CF}_2-)_m$

\* Первое число в обозначении фильтрующего материала указывает средний диаметр волокон в десятых долях мкм, второе — сопротивление потоку воздуха в мм водяного столба при скорости потока 1 см/с.



троскопии и электронной микроскопии. Из числа исследованных материалов (см. таблицу) наиболее эффективно поглощают озон полистирол и полисульфон. Продолжительное (часы) воздействие на них высокими концентрациями озона 1,5 % об., на пять порядков превышающими ПДК<sub>р.з.</sub>, сопровождается образованием твердых продуктов окисления и деструкцией материала, проявляющейся в потере ими волокнистой структуры и возникновении кристаллических (полистирол) и губчатых (полисульфон) образований [27–30].

Обсудим перспективы практического использования тонковолокнистых материалов на основе полистирола и полисульфона в качестве фильтрующих элементов для средств индивидуальной и коллективной защиты органов дыхания (СИЗОД и СКЗОД) от озона. Для этого рассмотрим примеры, характеризующие активность полистирола и полисульфона к озону и состав газовой фазы при их озонировании.

Об активности тонковолокнистого материала судили по изменению концентрации прошедшего через него озона. Слои исследуемого материала закрепляли в фторопластовом фильтродержателе, использовали от одного до шести слоев, каждый толщиной около 0,6 мм. Концентрацию озона 250 мкг/м<sup>3</sup> в потоке воздуха, поступающего на образец, задавали генератором озона (производство ЗАО "Оптек", С-П), концентрацию озона в потоке, прошедшем через образец, определяли описанным выше сенсорным анализатором. На рис. 6 приведен пример изменения во времени концентрации озона после прохождения образца из шести слоев материала ФПСАН-8-1,2. Площадь фигуры между линиями 1 и 2 от нулевого до

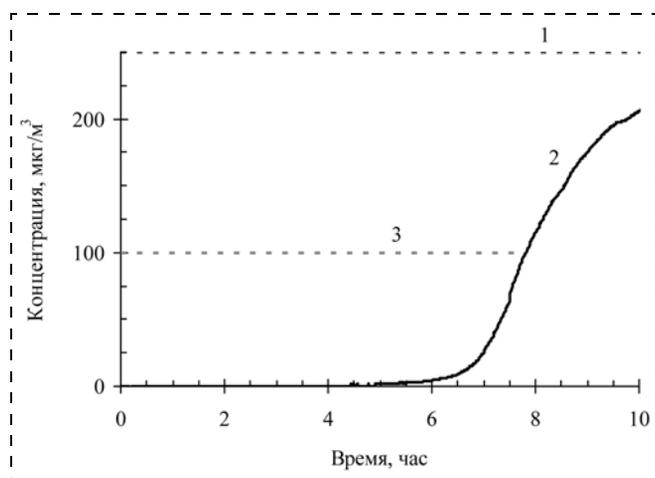


Рис. 6. Изменение во времени концентрации озона после прохождения образца материала ФПСАН-8-1,2 из шести слоев:

1 — концентрация озона 250 мкг/м<sup>3</sup>, поступающая на образец, 2 — концентрация озона после прохождения образца, 3 — уровень ПДК<sub>р.з.</sub> озона. Объемный расход газа через образец — 50 см<sup>3</sup>/мин, линейная скорость — 1 см/с

некоторого фиксированного момента времени, умноженная на объемный расход газового потока (50 см<sup>3</sup>/мин), равна количеству поглощенного к этому моменту времени озона. Линейная скорость потока воздуха, содержащего примесь озона, через исследуемый материал составляла 1 см/с, что соответствует средней скорости потока воздуха через фильтрующий элемент респиратора при дыхании человека.

В течение первых 5 ч образец полностью поглощал поступающий на него озон, после чего наблюдался рост концентрации озона на выходе образца, которая через 3 ч достигла значения ПДК<sub>р.з.</sub> Отметим, что образец из чистого полистирола ФПС-15-1,5 полностью поглощал поступающий на него озон (250 мкг/м<sup>3</sup>) в течение 17 ч, а ПДК<sub>р.з.</sub> озона стал пропускать только после 39 ч работы [16]. Для изготовления СИЗОД обычно используют не чистый полистирол, поскольку для него характерна невысокая прочность, а сополимер стирола с акрилонитрилом, который обеспечивает необходимую прочность.

Сведения об активности к озону материалов, перечисленных в таблице, сопоставлены на рис. 7. За меру активности материалов к озону принято время до пропускания ими ПДК<sub>р.з.</sub> и масса поглощенного за это время озона, отнесенная на 1 г фильтрующего материала. Микроволокнистые материалы из полистирола ФПС-15-1,5 и из полисульфона ФПСФ-15-1,5 наиболее эффективно поглощают озон, а полиакрилонитрил ФПАН-10-3,0

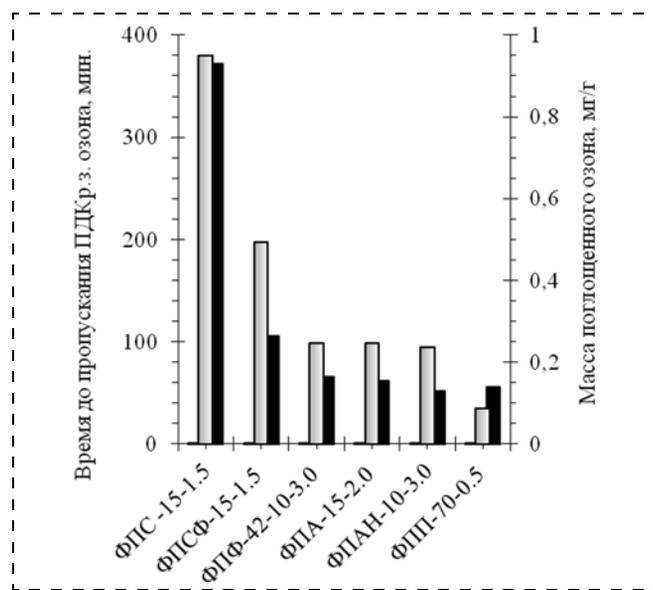


Рис. 7. Эффективность поглощения озона тонковолокнистыми материалами при обработке их потоком воздуха, содержащем 250 мкг/м<sup>3</sup> озона (2,5 ПДК<sub>р.з.</sub>). Темные фигуры — время работы образцов до пропускания ПДК<sub>р.з.</sub> озона. Светлые фигуры — масса поглощенного за это время озона (мг) в пересчете на 1 г материала. Толщина образцов 0,5...0,7 мм (один слой). Объемный расход газа через образец — 50 см<sup>3</sup>/мин, линейная скорость — 1 см/с

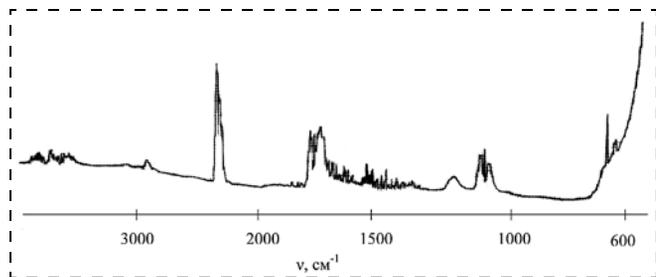


Рис. 8. ИК спектр газообразных продуктов, наблюдаемых после обработки тонковолокнистого полисульфона 1,3 % об. озонем в течение 28 ч

относится к наименее активным. Следовательно, для применения в СИЗОД от озона необходим сополимер с оптимальным выбором соотношения стирола и акрилонитрила.

Большой интерес представляет анализ газовой фазы над исследуемыми материалами при обработке их озонем. В ИК спектрах газовой фазы над образцами из полистирола и полисульфона дополнительные полосы наблюдали после того, как образцы теряли волокнистую структуру и начинали пропускать озон. В ИК спектре поглощения газовой фазы над образцами ФПС-15-1,5 [30] и ФПСФ-15-1,5 (рис. 8) появляется ряд полос, которые можно отнести к  $\text{CO}_2$  ( $2350$  и  $675 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{O}_3$  ( $1110 \text{ см}^{-1}$ ), соединениям с группами  $\text{CH}_2$  ( $2930 \text{ см}^{-1}$ ), карбоновым кислотам ( $1790$ ,  $1730 \text{ см}^{-1}$ ) и сложным эфирам ( $1210$  и  $630 \text{ см}^{-1}$ ) [31–32]. Токсичность возможных газообразных продуктов взаимодействия озона с полисульфоном и полистиролом ниже, чем токсичность озона. Согласно гигиеническим нормативам [5] озон относится к 1-му классу опасности, большинство карбоновых кислот — к 3-му, эфиры, например, метилформиат, метилацетат, этилацетат, относятся к 3-му и 4-му классам опасности. Отметим, что указанные результаты были получены при концентрациях озона, на пять порядков, превышающих концентрацию ПДК<sub>р,з</sub>, ко-



Рис. 9. Респиратор из тонковолокнистого материала ФПС-15-1,5

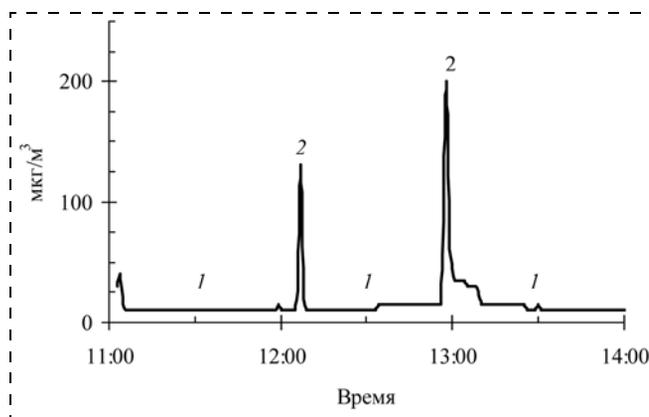


Рис. 10. Использование материала ФПС-15-1,5 в качестве фильтрующего элемента респиратора в воздухе с превышением ПДК<sub>р,з</sub> по озону. Концентрация озона в воздухе, отбираемом на сенсорный газоанализатор:

1 — из-под масочного пространства, 2 — снаружи респиратора

торая ни при каких условиях не может возникнуть в воздухе рабочей зоны.

Из опытного образца материала ФПС-15-1,5 был изготовлен легкий респиратор (рис. 9). Результаты тестирования респиратора в воздухе с превышением ПДК<sub>р,з</sub> по озону приведены на рис. 10. Человека в респираторе обдували воздухом, содержащем  $200 \text{ мкг/м}^3$  ( $2 \text{ ПДК}_{р,з}$ ) озона. Отбор воздуха на сенсорный газоанализатор чередовали: 1 — из-под респиратора и 2 — снаружи респиратора. Из рис. 10 следует, что респиратор полностью улавливает поступающий на него озон. Фильтрующей элемент респиратора дополнительно содержит контрольный элемент в виде диска диаметром  $1...3 \text{ см}$  из инертного или малоактивного к озону материала, по цвету совпадающего с цветом активного слоя фильтрующего элемента. По изменению цвета активного материала делают выводы о непригодности респиратора к эксплуатации [33].

### Заключение

Полученные результаты демонстрируют возможности разработанных приборов для использования их в качестве анализаторов содержания озона в воздухе и сигнализаторов превышения предельно допустимой концентрации озона в воздухе рабочей зоны. Из числа исследованных материалов, тонковолокнистые материалы на основе полистирола и полисульфона представляют интерес для практического применения в качестве озонсвязывающих материалов, в том числе для фильтрующих элементов респиратора.

В целом следует заключить, что разработка и внедрение отечественных приборов на базе полупроводниковых сенсоров для контроля за содержанием озона в воздухе рабочей зоны, а также



средств защиты органов дыхания от озона будут способствовать обеспечению безопасности применения озоновых технологий на АЭС и других ЯЭУ, и в прочих сферах деятельности.

*Работа частично выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Проект 12-03-01129-а.*

#### Список литературы

1. Ершов Б. Г., Селиверстов А. Ф., Басиев А. Г., Басиев А. А., Корчагин Ю. П. Применение концентрированного озона для дезактивации оборудования АЭС // Атомная энергия. — 2009. — Т. 107. — № 2. — С. 72—75.
2. Юрманов В. А., Басиев А. Г., Ершов Б. Г., Доильницын В. А. и др. Перспективы применения озона для дезактивации оборудования и переработки отходов АЭС // Шестая МНТК "Безопасность, эффективность и экономика ядерной энергетике". Москва, 21—23.05.2008. Сборник трудов конференции. — М.: Росэнергоатом, 2008. — С. 832—837.
3. Даныщиков Е. В., Изюмов С. В., Щекотов Д. Е. и др. Метод очистки водных сред энергетических и радиохимических производств с применением генератора озона и радикалов  $\text{OH}^*$  // Материалы конференции "АТОМЭКО—2008". — М., 2008. — С. 832—837.
4. Ершов Б. Г., Басиев А. Г., Басиев А. А., Корчагин Ю. П. Перспективы применения озона для дезактивации оборудования АЭС // Безопасность окружающей среды. — 2009. — № 2. — Система аварийного реагирования. — С. 86—89.
5. ГН 2.2.5.1313—03 Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
6. ГОСТ Р 51 706—2001 Оборудование озонаторное. Требования безопасности.
7. Weidong Wu, Vinod Doreswamy, David Diaz-Sanchez, James M. Samet, Matt Kesic, Lisa Dailey. GSTM1 modulation of IL-8 expression in human bronchial epithelial cells exposed to ozone // Free Radical Biology & Medicine. — 2011. — V. 51. — P. 522—529.
8. Всемирная организация здравоохранения. Качество атмосферного воздуха и здоровье // Информационный бюллетень. — 2014. — № 313.
9. Мясников И. А., Сухарев В. Я., Куприянов Л. Ю., Завьялов С. А. Полупроводниковые сенсоры в физико-химических исследованиях. — М.: Наука, 1991. — 165 с.
10. Обвинцева Л. А. Полупроводниковые металлооксидные сенсоры для определения химически активных газовых примесей в воздушной среде // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). — 2008. — Т. 52. — № 2. — С. 113—121.
11. City Technology Ltd: сайт. — URL: <http://www.citytech.com/> (дата обращения 24.05.2014).
12. <http://www.linkedin.com/today/post/article/20140513102624-310974620-global-gas-sensors-market-2013-2019> (дата обращения 24.05.2014).
13. Williams D. E., Henshaw G., Wells B. et al. Development of Low-Cost Ozone Measurement Instruments Suitable for Use in an Air Quality Monitoring Network // Chemistry in New Zealand. — 2009. — P. 27—33.
14. Беликов И. Б., Жерников К. В., Обвинцева Л. А., Шумский Р. А. Анализатор газовых примесей атмосферы на основе полупроводникового сенсора // Приборы и техника эксперимента. — 2008. — № 6. — С. 139—140.
15. Жерников К. В. Полупроводниковые сенсоры озона и их применение для детектирования озона в различных условиях: дисс. канд. физ.-мат. наук. — М., 2010. — 124 с.
16. Обвинцева Л. А., Жерников К. В., Сухарева И. П., Шепелев А. Д., Дмитриева М. П., Климух А. И., Аветисов А. К. Взаимодействие озона при низких концентрациях с микроволокнистыми полимерными фильтрами // Журнал Прикладной Химии. — 2010. — Т. 83. — Вып. 9. — С. 1545—1551.
17. Обвинцева Л. А., Цыркина Т. Б., Сухарева И. П., Беликов И. Б., Аветисов А. К. Особенности отклика резистивного газового сенсора в проточном режиме // Научное приборостроение. — 2014. — Т. 24. — № 3. — С. 32—41.
18. Обвинцева Л. А., Беликов И. Б., Аветисов А. К., Юрманов В. А., Юрманов Е. В. Разработка сенсорных анализаторов озона и перспективы развития озоновых технологий для повышения экологической безопасности ЯЭУ // Материалы 6-го Научно-технического совещания "Проблемы и перспективы развития химического и радиохимического контроля в атомной энергетике" (Атомэнергоаналитика—2011). г. Сосновый Бор Ленинградской обл.: Сборник докладов. — СПб.: ООО ВВМ, 2011. — С. 118—125.
19. Петрянов-Соколов И. В. Избранные труды. Серия: "Памятники отечественной науки. XX век". — М.: Наука, 2007. — 458 с.
20. Басманов П. И., Каминский С. Л., Коробейникова А. В., Трубицина М. Е. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Справочное руководство. — СПб.: ГИПП "Искусство России", 2002. — 400 с.
21. Басманов П. И., Кириченко В. Н., Филатов Ю. Н., Юров Ф. Л. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. — М.: Наука, 2003. — 271 с.
22. ЗАО "Севзапэнерго": сайт. — URL: <http://www.szpe.ru/> (дата обращения 24.05.2014).
23. "3М в России": сайт. — URL: [http://solutions.3mruussia.ru/wps/portal/3M/ru\\_RU/EU2/Country/?WT.mc\\_id=www.3MRussia.ru](http://solutions.3mruussia.ru/wps/portal/3M/ru_RU/EU2/Country/?WT.mc_id=www.3MRussia.ru) (дата обращения 24.05.2014).
24. <http://www.moldex.com/> (дата обращения 24.05.2014).
25. [http://eksvar.at.ua/index/prajs\\_list\\_sizod/0-4](http://eksvar.at.ua/index/prajs_list_sizod/0-4) (дата обращения 24.05.2014).
26. Ракитская Т. Л., Эннан А. А., Бандурко А. Ю. Углеродные волокнистые материалы для респиратора Снежок ГП-Е-озон // Автоматическая сварка. — 1995. — № 7. — С. 62—64.
27. Обвинцева Л. А., Дмитриева М. П., Климух А. И., Шепелев А. Д., Козлова Н. В., Садовская Н. В., Томашпольский Ю. Я., Аветисов А. К. Взаимодействие озона с микроволокнистыми фильтрами на основе полисульфона // Журнал Прикладной Химии. — 2010. — Т. 83. — В. 6. — С. 1015—1019.
28. Климух А. И., Обвинцева Л. А., Кучаев В. Л., Шепелев А. Д., Садовская Н. В., Томашпольский Ю. Я., Козлова Н. В., Аветисов А. К. Взаимодействие озона с микроволокнистыми материалами // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). — 2008. — Т. 52, № 5. — С. 102—111.
29. Садовская Н. В., Томашпольский Ю. Я., Обвинцева Л. А., Климух А. И., Кучаев В. Л., Шепелев А. Д., Аветисов А. К. Исследование структурных изменений микроволокнистых материалов под воздействием озона методами атомно-силовой и растровой электронной микроскопии // Журнал прикладной химии. — 2009. — Т. 82. — С. 156—159.
30. Климух А. И., Козлова Н. В., Обвинцева Л. А., Кучаев В. Л., Шепелев А. Д., Дмитриева М. П., Сухарева И. П., Аветисов А. К. Исследование взаимодействия озона с микроволокнистыми фильтрующими материалами методами ИК Фурье и КР спектроскопии. // Журнал прикладной химии. — 2009. — Т. 82. — С. 63—69.
31. Erley D. S., Blake V. H. Infrared spectra of gases and vapors. Vol. II. Michigan: The Dow Chemical Company, 1965.
32. Thompson V. Hazardous gases and vapors: infrared spectra and physical constants. Printed in U. S. A.: Beckman Instruments, Inc., 1974.
33. Обвинцева Л. А., Шепелев А. Д., Аветисов А. К., Сухарева И. П., Дмитриева М. П., Жерников К. В., Климух А. И. Фильтрующий элемент респиратора для защиты органов дыхания от озона и аэрозолей // Патент РФ на полезную модель № 118210. 2011.

L. A. Obvintseva<sup>1</sup>, Senior Researcher, Associate Professor, obvint@yandex.ru,  
 I. B. Belikov<sup>2</sup>, Leading Electronics, T. B. Tsyrkina<sup>1</sup>, Researcher,  
 I. P. Sukhareva<sup>1</sup>, Researcher, M. P. Dmitrieva<sup>1</sup>, Researcher,  
 A. D. Shepelev<sup>1</sup>, Head of Laboratory, A. K. Avetisov<sup>1</sup>, Head of Laboratory,  
 V. A. Yurmanov<sup>3</sup>, Leading Researcher, E. V. Yurmanov<sup>3</sup>, Junior Researcher

<sup>1</sup> Karpov Institute of Physical Chemistry, Moscow

<sup>2</sup> A. M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of Russian Academy of Sciences, Moscow

<sup>3</sup> N. A. Dollezhal Research and Development Institute of Power Engineering, Moscow

## Development of Tools for Chemical Control and Protection in the Process of Equipment Decontamination and Waste Remaking by Ozone High Concentration

*The most promising trends of rationalization of technical equipment decontamination and radioactive waste re-making at Atomic Power Stations is connected to ozone technology evolution. Ozone falls into first class of hazard; for this reason it is necessary to control the exceed of ozone maximum allowable concentration in the air.*

*Presented are results of development of portable gas analyzers on the basis of semiconductor sensors that allow to control ozone content in the workplace air. Furthermore presented are results of development and tests of promising filtering fine-fibrous materials for individual and collective respiratory organs protection equipment working both against aerosols and ozone. Obtained results demonstrate the potentialities of developed devices for usage thereof as alarm warning devices and analyzers of ozone content, alarms for ozone exceeding maximum allowable concentration. Among investigated materials, filtering materials on the basis of polystyrene and polysulfone are of great interest for practical application as ozone-binding materials generally and as filtering elements in respirators specifically.*

**Keywords:** ozone technology, decontamination of equipment at Atomic Power Stations, decontamination of liquid radioactive waste, ozone content control, semiconductor sensors, filters protecting of respiratory from ozone

### Reference

- Ershov B. G., Seliverstov A. F., Basiev A. G., Basiev A. A., Korzhagin Yu. P. Primenenie koncentrirovannogo ozona dlya dezaktivatsii oborudovaniya AJES. *Atomnaya energiya*. 2009. V. 107, N. 2. P. 72–75.
- Yurmanov V. A., Basiev A. G., Ershov B. G., Doilnicyn V. A. i dr. Perspektivy primeneniya ozona dlya dezaktivatsii oborudovaniya I pererabotki otkhodov AJES. *Shestaya MNTK "Bezopasnost', effektivnost' I ekonomika yadernoj energetiki": Sbornik trudov Konferencii (Moskva, 21–23.05.2008)*. M.: FGUP Konzern "Rosenergoatom", 2008. P. 832–837.
- Dan'shnikov E. V., Izyumov S. V., Shhekotov D. E. i dr. Metod oshchistki vodnyh sred jenergeticheskikh I radiohimicheskikh proizvodstv s primeneniem generatov ozona i radikalov OH\*. *Materialy konferencii "ATOMJEKO—2008"*. M., 2008. P. 832–837.
- Ershov B. G., Seliverstov A. F., Basiev A. G., Basiev A. A., Korzhagin Yu. P. Perspektivy primeneniya ozona dlya dezaktivatsii oborudovaniya AES. *Bezopasnost okruzhayushhej sredy*. 2009. N. 2. Sistema avariynogo reagirovaniya. P. 86–89.
- GN 2.2.5.1313-03 Gigienicheskie normativy. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) vrednyh veschestv v vozduhe rabochej zony.
- GOST R 51 706—2001 Oborudovanie ozonatornoe. Trebovaniya bezopasnosti.
- Weidong Wu, Vinod Doreswamy, David Diaz-Sanchez, James M. Samet, Matt Kesic, Lisa Dailey. GSTM1 modulation of IL-8 expression in human bronchial epithelial cells exposed to ozone. *Free Radical Biology & Medicine*. 2011. V. 51. P. 522–529.
- World Health Organization. Ambient (outdoor) air quality and health. *Fact sheet*. 2014. N. 313.
- Myasnikov I. A., Suharev V. Ya., Kupriyanov L. Yu., Zav'yalov S. A. Poluprovodnikovye sensory v fiziko-himicheskikh issledovaniyakh. M.: Nauka, 1991. 165 p.
- Obvintseva L. A. Metal oxide semiconductor sensors for determination of reactive gas impurities in air. *Russian Journal of General Chemistry*. 2008. V. 78, N. 12. P. 2545–2555.
- City Technology Ltd: sajt. — URL: <http://www.city-tech.com/> (data obrashheniya 24.05.2014).
- <http://www.linkedin.com/today/post/article/20140513102624-310974620-global-gas-sensors-market-2013-2019/> (data obrashheniya 24.05.2014).
- Williams D. E., Henshaw G., Wells B. et al. Development of Low-Cost Ozone Measurement Instruments Suitable for Use in an Air Quality Monitoring Network. *Chemistry in New Zealand*. 2009. P. 27–33.
- Belikov I. B., Zhernikov K. V., Obvintseva L. A., Shumskij R. A. Analizator gazovyh primesej atmosfery na osnove poluprovodnikovogo sensora. *Pribory I tehnika jeksperimenta*. 2008. N. 6. P. 139–140.
- Zhernikov K. V. Poluprovodnikovye sensory ozona i ih primeneniye dlya detektirovaniya ozona v razlichnyh usloviyakh: diss. kand. fiz.-mat. nauk. M., 2010. 124 p.
- Obvintseva L. A., Zhernikov K. V., Suhareva I. P., Shepelev A. D., Dmitrieva M. P., Klimuk A. I., Avetisov A. K. Interaction of ozone in low concentrations with



- microfibrous polymeric filters. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2010. V. 83, N. 9. P. 1642–1648.
17. **Obvintseva L. A., Tcirikina T. B., Suhareva I. P., Belikov I. B., Avetisov A. K.** Osobennosti otklika rezistivnogo gazovogo sensora v protochnom rezhime. *Nauchnoe priborostroenie*. 2014. V. 24, N. 3. P. 32–41.
  18. **Obvintseva L. A., Belikov I. B., Avetisov A. K., Yurmanov V. A., Yurmanov E. V.** Razrabotka sensoryh analizatorov ozona i perspektivy razvitiya ozonovyh tehnologij dlya povysheniya jekologicheskoy bezopasnosti YAIEU. *Materialy 6-go Nauchno-tehnicheskogo soveshaniya "Problemy i perspektivy razvitiya himicheskogo i radiohimicheskogo kontrolya v atomnoj jenergetike" (Atomjenergoanalitika—2011). Sosnovyj Bor Leningradskoj obl. Sbornik dokladov*. Spb: OOO VVM, 2011. P. 118–125.
  19. **Petryanov-Sokolov I. V.** Izbrannye trudy. Seriya: "Pamyatniki otechestvennoj nauki. XX vek". M.: Nauka, 2007. 458 p.
  20. **Basmanov P. I., Kaminskij S. L., Korobejnikova A. V., Trubicina M. E.** Sredstva individual'noj zashhity organov dyhaniya. Spravochnoe rukovodstvo. Spb.: GIPP "Iskusstvo Rossii", 2002. 400 p.
  21. **Basmanov P. I., Kirichenko V. N., Filatov Yu. N., Yurov F. L.** Vysokoeffektivnaya oshistka gazov ot ajerozolej fil'trami Petryanova. M.: Nauka, 2003. 271 p.
  22. **ZAO "Sevzappromjenergo"**: sajt. — URL: <http://www.szpe.ru/> (data obrashheniya 24.05.2014).
  23. **"3M v Rossii"**: sajt. — URL: [http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru\\_RU/EU2/Country/?WT.mc\\_id=www.3MRussia.ru](http://solutions.3mrussia.ru/wps/portal/3M/ru_RU/EU2/Country/?WT.mc_id=www.3MRussia.ru) (data obrashheniya 24.05.2014).
  24. <http://www.moldex.com/> (data obrashheniya 24.05.2014).
  25. [http://eksvar.at.ua/index/prajs\\_list\\_sizod/0-4](http://eksvar.at.ua/index/prajs_list_sizod/0-4) (data obrashheniya 24.05.2014).
  26. **Rakitskaya T. L., Jennan A. A., Bandurko A. Yu.** Ugle-rodney voloknistye materialy dlya respiratora Snezhok GP-E-ozon. *Avtomaticheskaya Svarka*. 1995. N. 7. P. 62–64.
  27. **Obvintseva L. A., Dmitrieva M. P., Klimuk A. I., Shepelev A. D., Kozlova N. V., Sadovskaya N. V., Tomashpol'skij Yu. Ya., Avetisov A. K.** Action of ozone on polysulfone-based filters. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2010. V. 83, N. 6. P. 1069–1073.
  28. **Klimuk A. I., Obvintseva L. A., Kuchaev V. L., Shepelev A. D., Sadovskaya N. V., Tomashpol'skij Yu. Ya., Kozlova N. V., Avetisov A. K.** Interaction of ozone with microfibrous materials. *Russian Journal of General Chemistry*. 2009. V. 79, N. 9. P. 2051–2061.
  29. **Sadovskaya N. V., Tomashpol'skij Yu. Ya., Obvintseva L. A., Kuchaev V. L., Klimuk A. I., Shepelev A. D., Avetisov A. K.** An Atomic Force and Scanning Electron Microscopic Study of Structural Changes Occurring in Microfibrous Materials under the Action of Ozone. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2009. V. 82, N. 1. P. 153–156.
  30. **Klimuk A. I., Kozlova N. V., Obvintseva L. A., Kuchaev V. L., Shepelev A. D., Dmitrieva M. P., Sukhareva I. P., Avetisov A. K.** Study of ozone interaction with microfibrous filter material by IR Fourier and Raman spectroscopy. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2009. V. 82, N. 1. P. 62–68.
  31. **Erley D. S., Blake B. H.** Infrared spectra of gases and vapors. V. II. Michigan: The Dow Chemical Company, 1965.
  32. **Thompson B.** Hazardous gases and vapors: infrared spectra and physical constants. Printed in U. S. A.: Beckman Instruments, Inc., 1974.
  33. **Obvintseva L. A., Shepelev A. D., Avetisov A. K., Suhareva I. P., Dmitrieva M. P., Zhernikov K. V., Klimuk A. I.** Fil'tryushhij element respiratora dlya zashhity organov dyhaniya ot ozona i ajerozolej. *Patent RF na poleznyuyu model'*. № 118210. 2011.

УДК 613.6; 614.8

**А. М. Тушин**, канд. техн. наук, вед. науч. сотр., e-mail: atoushin@gmail.com,  
Уральский межрегиональный филиал ВНИИ охраны и экономики труда  
Минтруда России, г. Екатеринбург

## Опыт разработки правил по охране труда при производстве, монтаже и эксплуатации машин, оборудования и технологических установок

Проведен анализ действующих отечественных и зарубежных нормативных правовых актов и литературы в области охраны труда при производстве, монтаже и эксплуатации технологического оборудования с целью создания проекта правил по охране труда при проведении обозначенных работ. Представлено научное обоснование подходов к совершенствованию государственных нормативных требований охраны труда на основе создания иерархической структуры нормативных правовых актов, выработаны предложения по совершенствованию действующих правил по охране труда. По результатам исследования представлен проект правил по охране труда при производстве, монтаже и эксплуатации машин, оборудования и технологических установок. В представленном проекте реализован принцип, согласно которому правила акцентируют внимание работодателей и работников на выработке проактивного подхода к обеспечению безопасности на рабочем месте.

**Ключевые слова:** правила, охрана труда, производство, монтаж, эксплуатация, машины, оборудование, технологические установки, профессиональные риски, международные нормы, гармонизация

## Введение

Обработывающие производства, включающие среди прочего производство готовых металлических изделий, производство машин и оборудования, производство транспортных средств и оборудования, по данным Роструда лидируют по общему количеству несчастных случаев с тяжелыми последствиями [1].

Продолжает оставаться неблагоприятной производственная среда. Прямым следствием неудовлетворительных условий труда является уровень профессиональной заболеваемости. Причины профессиональной заболеваемости на многих предприятиях могут быть подразделены на две основные группы: связанные с деградацией основных фондов и связанные с человеческим фактором — низким уровнем осознания ответственности работодателей и работников за состояние условий и охраны труда.

Перспективы модернизации производства, внедрения новой техники и передовых технологий, позволяющих снизить профессиональные риски, зависят от желания и баланса экономических стимулов и возможностей работодателей. А с точки зрения охраны труда актуальной представляется задача разработки таких правил, соблюдение которых обеспечило бы безопасность и здоровье работников независимо от состояния и степени новизны технологического оборудования. В Уральском межрегиональном филиале ВНИИ охраны и экономики труда в г. Екатеринбурге разработан проект Правил по охране труда при производстве, монтаже и эксплуатации машин, оборудования и технологических установок (далее — Правила). Проект основан на универсальном подходе к оценке рисков производственных травм и профессиональных заболеваний и гармонизации с общепризнанными принципами и нормами международного права в соответствии с положениями Программы сотрудничества между Российской Федерацией и Международной организацией труда (МОТ) на 2013—2016 годы [2].

При реализации этой Программы особое внимание предполагается уделить вопросам упрощения применения разрабатываемых нормативных правовых актов, содержательная часть которых должна стать лаконичной, хорошо структурированной и адаптированной к восприятию всеми субъектами трудового права. Одновременно нормативная правовая база должна создавать основы, обеспечивающие последовательное внедрение системы управления профессиональными рисками.

Совместные действия России и МОТ по Программе сотрудничества должны быть сосредоточены на продвижении превентивного подхода к улучшению условий труда: содействию внедрению систем управления охраной труда и профессиональными рисками на предприятиях на основе

системного подхода к управлению вопросами охраны труда, изложенного в межгосударственном стандарте ГОСТ 12.0.230—2007 [3]. Оценка и управление профессиональными рисками должны стать повседневной практикой.

### **Производственный травматизм и профессиональная заболеваемость как индикаторы положения дел в охране труда**

С целью выявления наиболее значимых причин повреждения здоровья работников были проанализированы статистические данные по несчастным случаям с тяжелыми последствиями и профессиональным заболеваниям в отраслях экономики, связанных с производством и применением машин и оборудования.

Сведения о видах (типах) несчастных случаев с тяжелыми последствиями обобщены за три с половиной года (2010—2012 гг. и первую половину 2013 г.) на основании данных, представляемых в Роструд [4]. Установлено, что из несчастных случаев наибольшее распространение имеют четыре типа (вида) — транспортные происшествия; падение пострадавшего с высоты; падение, обрушение, обвалы предметов, материалов, земли и пр. и воздействие движущихся, разлетающихся, вращающихся предметов, деталей, машин и т. д. Задача предотвращения названных типов (видов) несчастных случаев должна иметь приоритет при разработке и применении правил по охране труда, а также положений, процедур, методик, инструкций или других внутренних документов, используемых в рамках системы управления охраной труда на уровне организации.

Статистические сведения о причинах несчастных случаев с тяжелыми последствиями за указанные три с половиной года обобщены на основании данных, приведенных на сайте Роструда [5].

При подсчете частоты несчастных случаев приняты во внимание те виды экономической деятельности по классификации ОКВЭД (разделы ОКВЭД: А, С, D, E, F, G, I), которые связаны либо с производством, либо с монтажом, либо с эксплуатацией машин, оборудования и технологических установок [6]. Установлено, что наиболее частыми причинами несчастных случаев являются: 1) неудовлетворительная организация производства работ; 2) нарушение правил дорожного движения; 3) нарушение работником трудового распорядка и дисциплины труда; 4) нарушение технологического процесса. Эти четыре вида причин, в сумме составляющие более 50 % всех причин несчастных случаев, могут быть отнесены к категории причин, связанных с так называемым человеческим фактором — различного рода субъективными нарушениями трудовой дисциплины и порядка проведения работ.



Приоритетное внимание к наиболее распространенным причинам несчастных случаев не исключает важности рассмотрения причин мало распространенных и редко встречающихся. Эти редко встречающиеся причины должны учитываться при выборе средств управления соответствующими рисками, так как даже при малой распространенности причин в каждом случае речь идет о жизни и здоровье людей.

Риск утраты трудоспособности вследствие профессиональных заболеваний (отравлений), исходя из оценки уровня регистрируемой профессиональной заболеваемости, в обрабатывающих производствах в 2010—2012 гг. отмечен как максимальный, уступая по этому показателю лишь предприятиям по добыче полезных ископаемых [7].

С точки зрения структуры профессиональных заболеваний и отравлений преобладали заболевания, связанные с воздействием физических факторов, — 47,40 %, заболевания, связанные с физическими перегрузками и перенапряжением отдельных органов и систем, — 22,92 %, заболевания, вызванные воздействием промышленных аэрозолей, — 17,34 %. Были зарегистрированы заболевания (интоксикации), вызванные воздействием химических факторов, — 5,74 %, заболевания, вызванные действием биологических факторов, — 3,90 %, аллергические заболевания — 2,31 %, а также заболевания, связанные с профессиональными новообразованиями, — 0,39 % [7].

Возникновение острых профессиональных заболеваний (отравлений) в основном обусловлено авариями — 24,59 % случаев, неприменением СИЗ — 18,03 %, профессиональным контактом с инфекционным агентом — 13,11 %, нарушением правил техники безопасности — 11,48 %, неисправностью машин и оборудования — 8,20 %, несовершенством технологических процессов, неисправностью санитарно-технических установок, несовершенством и отсутствием СИЗ по 3,28 % [7].

Обстоятельствами и условиями возникновения хронических профессиональных заболеваний послужили несовершенство технологических процессов — в 43,02 % случаев, конструктивные недостатки средств труда — 39,38 %, несовершенство рабочих мест — 7,19 %, профессиональный контакт с инфекционным агентом — 2,78 %, несовершенство санитарно-технических установок — 2,66 % [7].

Среди профессиональных групп, наиболее подверженных риску возникновения профессиональных заболеваний, отмечены работники, связанные с эксплуатацией машин, такие как водители автомобиля, машинисты экскаватора, трактористы и пилоты.

Учитывая частоту и обстоятельства распространения профессиональных заболеваний, в проекте Правил по охране труда приоритетное внимание уделено необходимости реализации мер профилактики заболеваний, связанных с воздействием физических факторов, промышленных аэрозолей, химических факто-

ров, физическими перегрузками и перенапряжением отдельных органов и систем, а также предотвращению причин острых профессиональных заболеваний (отравлений), какими являются аварии, неприменение СИЗ, нарушение правил техники безопасности, неисправность машин и оборудования.

В проекте Правил также предписано предусматривать меры по компенсации воздействия несовершенства технологических процессов и конструктивных недостатков средств труда, лежащих в основе значительной части (39...43 %) обстоятельств и условий возникновения хронических профессиональных заболеваний.

### Международный опыт

В рамках совершенствования трудового законодательства и приведения его в соответствие с международными стандартами и нормами Правительством РФ планируется содействовать ратификации и практическому применению конвенций и рекомендаций МОТ [2].

В связи с этим Правила по охране труда должны включать меры профилактики и защиты и способствовать реализации комплексного подхода к контролю над рисками для здоровья и безопасности работников, лежащего в основе систем управления охраной труда, регламентированных ГОСТ 12.0.230—2007 [3].

Важнейшим документом европейского законодательства по оценке профессиональных рисков является Рамочная "Директива Совета 89/391/ЕЭС от 12 июня 1989 г. о введении мер по повышению безопасности и здоровья работников на работе" [8].

В соответствии с Директивой работодатель должен принять меры, необходимые для обеспечения безопасности и охраны здоровья работников, в том числе меры профилактики профессиональных рисков, информирования и обучения, а также предоставить соответствующую организацию и необходимые средства. Работодатель должен также обеспечить, чтобы эти меры были адаптированы в соответствии с изменяющимися обстоятельствами, и стремиться к улучшению существующих условий труда.

В плане развития Директивы 89/391/ЕЭС Советом ЕС принята Директива 2009/104/ЕС [9]. Директива устанавливает минимальные требования для содействия улучшению рабочей среды в целях защиты здоровья и безопасности работников применительно к использованию рабочего оборудования.

Данная Директива обязывает работодателя принять меры, которые необходимы для того, чтобы гарантировать, что рабочее оборудование, доступное работникам предприятия или учреждения, было подходящим для выполняемой работы или надлежащим образом адаптировано для этих целей и могло использоваться работниками без причинения вреда их здоровью и безопасности.

Директива устанавливает также критерии выбора рабочего оборудования, которое работодатель планирует использовать. Выбор должен осуществляться с учетом специфических условий и характера труда, рисков для безопасности и здоровья работников, существующих на рабочем месте, и надлежащих мер для сведения рисков к минимуму.

Применительно к использованию рабочего оборудования одним из основных нормативных требований является проверка рабочего оборудования.

Если безопасность и исправное функционирование рабочего оборудования зависят от его правильной установки, оно должно быть подвергнуто первичной проверке (после установки и перед первым вводом в эксплуатацию) и проверке после сборки на новой рабочей площадке или новом месте компетентным лицом.

Проверки должны проводиться также с целью своевременного обнаружения и устранения повреждений, способных привести к опасным ситуациям. В связи с этим рабочее оборудование подлежит:

периодическим проверкам и в случае необходимости тестируется компетентными лицами;

специальным проверкам компетентными лицами каждый раз, когда происходят исключительные обстоятельства, способные подвергнуть риску безопасность рабочего оборудования, такие как работы по модификации, аварии, природные явления или длительные периоды бездействия.

На работодателя накладываются обязательства по принятию мер для гарантии того, что:

эксплуатация рабочего оборудования будет ограничена только тем кругом лиц, которым поручено его использование в связи с исполнением ими трудовых обязанностей;

ремонтные работы, работы по модификации, технический уход и сервисное обслуживание будут выполняться работниками, специально назначенными на проведение таких работ.

Хотя Директивы Европейского Сообщества 89/391/ЕЭС и 2009/104/ЕС не действуют в РФ, некоторые их положения, не противоречащие российскому законодательству, могут быть использованы при модернизации национальной системы охраны труда согласно Программе сотрудничества между РФ и МОТ [2].

Принцип необходимости проведения оценки рисков для здоровья и безопасности людей, связанных с существующими в организации условиями труда и любых дополнительных рисков использования рабочего оборудования, положен в основу концепции правил по охране труда.

### **Структура зарубежного законодательства по охране труда**

Анализ структуры законодательства развитых стран в сфере охраны труда показывает, что Пра-

вила относительно обеспечения безопасных условий труда уже закреплены в нем на уровне закона. А подзаконные документы, носящие название Правил, при условии их исполнения обеспечивают достижение установленных законом требований в соответствии с их сферой действия и областью распространения.

Способы достижения соответствия этим требованиям могут быть различны и не должны быть предметом регламентирования. Важно, чтобы применяя правила, работники и работодатели имели в своем распоряжении инструмент, позволяющий контролировать состояние охраны труда, включая контроль над профессиональными заболеваниями и производственным травматизмом.

Примером построения иерархии нормативных требований является система нормативных правовых актов Великобритании, которая схематично может быть представлена в следующем виде:

1) Директива 2009/104/ЕС от 16 сентября 2009 г. [9];

2) Основные законы:

а) Закон "О здоровье и безопасности на рабочем месте" (HSW Act) 1974 г., (далее — Закон 1974 г.) [10];

б) Закон "О фабриках" 1961 г. (Factories Act 1961) (далее — Закон 1961 г.) [11];

3) Правила:

а) Правила "Предоставление и использование рабочего оборудования" (PUWER), 1998 г. [12];

б) Правила "Фабрики" (The Factories Regulations (1961)), 1961 г. [13].

Директивы, находящиеся на высшей ступени иерархии, предписывают всем государствам членам ЕС привести национальное законодательство в соответствие с требованиями данной директивы [9].

В плане реализации требований Директивы 2009/104/ЕС Закон 1974 г. (с изменениями) обязывает каждого работодателя, насколько это обосновано практически:

— безопасно и без риска для здоровья предоставлять и обслуживать установки и технологическое оборудование;

— обеспечивать безопасность и отсутствие рисков для здоровья при использовании, обработке, хранении и транспортировке различных предметов и веществ;

— с определенной степенью подробности предоставлять информацию, предусматривать обучение, подготовку и надзор, чтобы обеспечить здоровье и безопасность на рабочем месте своих работников;

— в отношении любого рабочего места, находящегося под контролем работодателя, поддерживать его безопасным и без риска для здоровья, а также предоставлять и обслуживать безопасные средства доступа к нему;

— предоставлять и поддерживать безопасную и без риска для здоровья, рабочую среду для работ-



ников и организационные мероприятия, касающиеся удобства и благополучия на работе.

Каждому работнику вменена в обязанность забота о собственном здоровье и безопасности, а также о здоровье и безопасности окружающих, интересы которых могут быть затронуты в процессе его производственной деятельности. Работник также должен оказывать содействие работодателю в процессе исполнения им своих обязанностей по охране труда.

Закон 1961 г. обязывает обеспечить безопасное ограждение работающих механизмов, их частей или трансмиссий, используемых на фабрике. Каждая опасная часть любой машины должна быть надежно ограждена, если она не находится в таком положении или имеет такую конструкцию, чтобы быть безопасной для каждого работника, как это было бы, если бы она была надежно ограждена. Безопасность в процессе работы считается обеспеченной, если исключена возможность причинения каким-либо механизмом вреда работающему на нем человеку.

Закон 1961 г. среди прочего содержит:

— специальные правила относительно обеспечения безопасных условий труда при работе с подъемно-транспортным оборудованием;

— правила, устанавливающие требования, предъявляемые к состоянию рабочих мест и подходов к ним;

— правила о защите работников от вредных испарений и взрывоопасной пыли;

— правила о безопасных условиях работы с паровыми котлами, прессами и газгольдерами;

— требование иметь удостоверения, выданные органами пожарной охраны, о том, что все фабричные помещения удовлетворяют требованиям пожарной безопасности.

В целях охраны здоровья работников на фабрике:

— необходимо поддерживать чистоту, необходимую температуру воздуха, обеспечивать вентиляцию и достаточную освещенность;

— помещения фабрики не должны быть переполнены работающими в них людьми;

— следует соблюдать необходимые санитарно-гигиенические условия с учетом пола работающих на ней лиц.

Закон 1961 г. содержит также конкретные требования к санитарно-бытовым условиям на фабриках. Отметим, что оба закона 1961 г. и 1974 г. предусматривают ответственность за нарушение их положений.

### **Структура законодательства России в области охраны труда**

Особенностью российского законодательства в области охраны труда является отсутствие четко выраженной иерархической последовательности положений законов и подзаконных актов.

В России законом, устанавливающим обязанности работодателей и работников по обеспече-

нию безопасных условий и охраны труда, является Трудовой кодекс (ТК РФ), в частности, его статьи 212 и 214 [14].

Сравнивая требования ТК РФ и упомянутых Британских законов — Закона 1974 г. и Закона 1961 г., можно заметить, что нормативные требования по обеспечению охраны труда в ТК РФ, как и в Законе 1974 г. имеют общий характер. В отличие от ТК РФ, в Великобритании на уровне закона (Закон 1961 г.) установлены частные требования к мерам по обеспечению безопасных условий труда (Правила).

Правила по охране труда должны быть разработаны таким образом, чтобы следование им работодателей и работников обеспечивало безусловное удовлетворение требований закона.

Вследствие отсутствия в России закона, конкретизирующего государственные нормативные требования охраны труда, и имея в виду подчиненный по отношению к закону статус правил, их легальность может быть юридически оспорена.

### **Подход, положенный в основу проекта Правил**

Сфера действия и область распространения Правил в контексте темы настоящей работы чрезвычайно широки.

Для придания Правилам по охране труда компактности и практической полезности в основу концепции разработки таких Правил положена идея реализации мер по управлению профессиональными рисками, универсальных для всех рассматриваемых в правилах производственных процессов, видов оборудования и для всех ситуаций, в которых идентифицированы вредные и (или) опасные факторы производственной среды и трудового процесса.

При работе над проектом Правил вопрос о соотношении объемов и значимости включаемых в проект требований разрешался в соответствии с пропорциями, заданными статистическими данными о количестве несчастных случаев с тяжелыми последствиями в зависимости от их вида (типа), и структурой профессиональных заболеваний и отравлений. Точное соблюдение указанных пропорций практически невозможно. Наибольшее внимание в проекте Правил уделено требованиям охраны труда для защиты от механических воздействий, а также от воздействия физических факторов, промышленных аэрозолей, физических перегрузок и химических факторов.

Все другие возможные причины несчастных случаев и профессиональных заболеваний также не оставлены без внимания и профилактике их посвящены соответствующие положения проекта.

Основополагающие принципы подхода МОТ и экономически развитых стран, которые положены в основу разработки проекта Правил, состоят в применении системного подхода к охране труда и

создании системы безопасной работы. Системный подход должен применяться к охране труда на уровне организации в целом, а система безопасной работы должна быть разработана применительно к каждому типу или даже индивидуально к каждой машине, единице оборудования или технологической установке. При разработке системы безопасной работы должны быть приняты во внимание как общие рекомендации производителя машины по соблюдению мер ее безопасной эксплуатации, так и особенности, связанные с условиями производственной среды и индивидуальными качествами эксплуатирующего ее персонала.

Правила по охране труда, не могут считаться единственным инструментом, обеспечивающим безопасность и здоровье работников.

Достижение работниками понимания необходимости следовать правилам — даже тем, которые поддерживают их безопасность, — сложнее, чем просто создание таких правил. Культура организации, управление, организационные меры и другие факторы составляют сложную систему, которая взаимодействует с внешними воздействиями и направляет поведение на рабочем месте. В правилах не могут быть предусмотрены все возможные в реальных условиях производства ситуации. Они лишь должны обеспечить организационные решения, процессы и процедуры для безопасности работников. Для достижения необходимого уровня исполнения должна быть создана среда, в которой поощряются способности действовать и принимать решения в соответствии с собственным усмотрением или суждениями. Сами работники должны уметь распознавать риск и реагировать соответствующим образом, когда он меняется.

Как отмечено в Правилах 1998 г. (PUWER), их разработчики поставили перед собой цель — обеспечение того, чтобы технологическое оборудование было безопасным для использования независимо от его возраста, состояния или источника [12]. Согласно Британскому руководству "Инструментарий здоровья и безопасности: Как управлять рисками на рабочем месте" эффективное управление здоровьем и безопасностью означает [15]:

- знание о рисках проводимой работы;
- управление рисками, которые в этом нуждаются;
- достижение уверенности, что риски остаются под контролем.

В разработанном проекте Правил по охране труда контроль над рисками и создание системы безопасной работы достигаются акцентированием внимания как работодателей, так и работников на выработке проактивного подхода к обеспечению безопасности. Практическая реализация этого подхода состоит в том, что до начала каких-либо действий с технологическим оборудованием, принимая

на себя ответственность за его безопасность, необходимо удостовериться, что оно исправно и все предусмотренные меры обеспечения безопасности в наличии и функционируют должным образом.

#### Список литературы

1. **Сведения** о причинах несчастных случаев с тяжелыми последствиями в Российской Федерации за 2 квартала 2013 года / Федеральная служба по труду и занятости. Официальный сайт. [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://www.rostrud.ru/activities/28/22314/223151>.
2. **Программа** сотрудничества между Российской Федерацией и Международной организацией труда на 2013—2016 годы [Электрон. ресурс]. Режим доступа: [http://www.geneva.mid.ru/rus/sq/int\\_right\\_005.html](http://www.geneva.mid.ru/rus/sq/int_right_005.html).
3. **Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.230—2007 "ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования"** (введен в действие приказом Ростехрегулирования от 10.07.2007 № 169-ст). [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://focdoc.ru/down/o-2509.html>.
4. **Статистические сведения.** Виды (типы) несчастных случаев / Федеральная служба по труду и занятости. Официальный сайт [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.rostmd.ru/activities/28/22314/22316/>.
5. **Статистические сведения.** Причины несчастных случаев. / Федеральная служба по труду и занятости. Официальный сайт. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.rostrud.ru/activities/28/22314/22315/>.
6. **Общероссийский классификатор** видов экономической деятельности ОК 029—2001 (ОКВЭД) (введен в действие постановлением Госстандарта РФ от 6.11.2001 № 454-ст). [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/842501197>.
7. **О состоянии** санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2012 году: Государственный доклад. — М.: Роспотребнадзор, 2013. — 176 с.
8. **Council Directive 89/391/EEC** of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:en:HT ML>.
9. **Директива 2009/104/EC** от 18 сентября 2009 г. Европейского парламента и Совета Европейского Союза относительно минимальных требований по здоровью и безопасности при использовании рабочего оборудования работниками (вторая отдельная Директива в рамках значения Статьи 16 (1) Директивы 89/391/ЕЭС) (кодифицированная редакция). [Электрон. ресурс] — ГАРАНТ Информационно-правовое обеспечение.
10. **Health and Safety at Work etc. Act 1974** / Legislation.gov.uk. Официальный сайт [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37>.
11. **Factories Act 1961** / Legislation.gov.uk. Официальный сайт [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/Eliz2/9-10/34>.
12. **The Provision and Use of Work Equipment Regulations 1998** / Legislation.gov.uk. Официальный сайт [Электрон. ресурс] Режим доступа: <http://www.legislation.gov.uk/uksi/1998/2306/introduction/made>.
13. **The Factories Regulations (1961).** / Ministry Of Labour & Social Security. Occupational Safety & Health Department. Официальный сайт [Электрон. ресурс]. Режим доступа: <http://www.mlss.gov.im/eoshd/Regl.php>.
14. **Трудовой кодекс** Российской Федерации / Федеральная служба по труду и занятости. Официальный сайт. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.rostrud.ru/documents/>.
15. **The health and safety toolbox: How to control risks at work.** [Электрон. ресурс], режим доступа: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg268.pdf>.



A. M. Tushin, Leading Researcher, e-mail: atoushin@gmail.com,  
Ural Interregional branch of the All-Russian Scientific Research Institute of  
Occupational Safety and Economics of the Ministry of Labour of Russia, Ekaterinburg

## Experience in the Development of Regulations for Occupational Safety in Production, Montage and Operation of Machinery, Equipment and Process Units

*The objects of study were operating domestic and foreign regulations and literature in the field of occupational safety and health in the manufacture, installation and operation of process equipment. The aim of this work was to create a draft of regulations of occupational Safety and Health in the production, montage and operation of machinery, equipment and process units. The study analyzed a set of legal acts relating to occupational safety and health during the designated work, provides the scientific rationale for approaches to improving government regulations of occupational safety and health, through the creation of a hierarchical structure of regulatory legal acts, present a proposal to improve the existing regulations on occupational safety and health. According to a study was prepared by the draft regulations on occupational safety and health in production, montage and operation of machinery, equipment and process units. In the submitted draft is implemented the principle according to which is realized bring to a focus of employers and employees on the development of a proactive approach to ensure a safety on a workplace.*

**Keywords:** regulations, occupational health and safety, production, montage, operation, equipment, processing units, occupational risks, international standards, harmonization

### References

1. **Svedenija** o pricinah neschastnyh sluchaev s tzhzhelymi posledstvijami v Rossijskoj Federacii za 2 kvartala 2013 goda. / Federal'naja sluzhba po trudu i zanjatosti. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.ros-trud.ru/activities/28/22314/22315/>.
2. **Programme** of Cooperation between the Russian Federation and the International Labour Organization for 2013—2016 [Electron. resource] — Mode of access: [http://www.geneva.mid.ru/sq/int\\_law\\_02.html](http://www.geneva.mid.ru/sq/int_law_02.html).
3. **Mezhgosudarstvennyj standart** GOST 12.0.230—2007 "SSBT. Sistemy upravlenija ohranoj truda. Obschie trebovanija" (vveden v dejstvie Prikazom Rostehregulirovanija ot 10.07.2007 N. 169-st). [Electron. resource] — Mode of access: <http://focdoc.ru/down/o-2509.html>.
4. **Statisticheskie svedenija**. Vidy (tipy) neschastnyh sluchaev / Federal'naja sluzhba po trudu i zanjatosti. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.ros-trud.ru/activities/28/22314/22316/>.
5. **Statisticheskie svedenija**. Prichiny neschastnyh sluchaev / Federal'naja sluzhba po trudu i zanjatosti. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.ros-trud.ru/activities/28/22314/22315/>.
6. **Obshherossijskij klassifikator** vidov jekonomicheskoj dejatel'nosti OK 029-2001 (OKVJeD) (vveden v dejstvie postanovleniem Gosstandarta RF ot 6.11.2001 N. 454-st). [Electron. resource] — Mode of access: <http://docs.cntd.ru/document/842501197>.
7. **O sostojanii** sanitarno-jepidemiologicheskogo blagopoluchija naselenija v Rossijskoj Federacii v 2012 godu: Gosudarstvennyj doklad. — M.: Rospotrebnadzor, 2013. — 176 p.
8. **Council Directive** 89/391/EEC of 12 June 1989 on the introduction of measures to encourage improvements in the safety and health of workers at work. [Electron. resource] — Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:en:HTML>.
9. **Directive 2009/104/EC** of 16 September 2009 of the European parliament and of the Council concerning the minimum safety and health requirements for the use of work equipment by workers at work (second individual Directive within the meaning of Article 16 (1) of Directive 89/391/EEC) (codified version). [Electron. resource] — Mode of access: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:260:0005:0019:EN:PDF>.
10. **Health and Safety** at Work etc. Act 1974 / Legislation.gov.uk. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/1974/37>.
11. **Factories Act 1961** / Legislation.gov.uk. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.legislation.gov.uk/ukpga/Eliz2/9-10/34>.
12. **The Provision and Use** of WorkEquipment Regulations 1998 / Legislation.gov.uk. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.legislation.gov.uk/uksi/1998/2306/introduction/made>.
13. **The Factories Regulations (1961)** / Ministry Of Labour & Social Security. Occupational Safety & Health Department. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.mlss.gov.jm/eoshd/Regl.php>.
14. **Trudovoj kodeks** Rossijskoj Federacii / Federal'naja sluzhba po trudu i zanjatosti. Official Site [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.rostrud.ru/documents/14/>.
15. **The health and safety** toolbox: How to control risks at work. [Electron. resource] — Mode of access: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg268.pdf>.

УДК 621.039.58

**А. В. Антонов**, д-р техн. наук, проф., декан факультета,  
**О. И. Морозова**, асп., e-mail: OIMorozova@yandex.ru,  
ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Россия, г. Обнинск,  
**Г. А. Ершов**, д-р техн. наук, проф., главный инженер проекта, филиал ОАО "Головной институт ВНИПИЭТ" Санкт-Петербургского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института

## Основные критерии приемлемости риска от эксплуатации энергоблоков атомных станций

*Отмечено, что обеспечение безопасности энергоблока атомной станции (ЭБ АС) является первоочередной задачей при его эксплуатации и что в настоящее время оценка приемлемости уровня безопасности ЭБ АС выполняется путем сравнения его вероятностных показателей безопасности (ВПБ) с установленными в нормативных документах целевыми значениями ВПБ. Установлено, что в действующих российских нормативно-технических документах не приводится обоснование применимости целевых значений ВПБ. Показано, что действующие в России значения целевых ВПБ лежат в рамках общепринятых мировых подходов к анализу риска возникновения техногенных аварий при эксплуатации различных социально-значимых промышленных объектов. Приведены доказательства, что эксплуатация ЭБ АС связана с теми же рисками возникновения аварий, что и любые другие виды человеческой деятельности.*

**Ключевые слова:** энергоблок атомной станции, безопасность энергоблока атомной станции, вероятностные показатели безопасности, риск, приемлемость риска

### Введение

Вопросам анализа уровня безопасности энергоблоков атомных станций (ЭБ АС) посвящено большое количество исследований, позволяющих рассматривать ЭБ АС как сложные технические системы, на которые оказывают влияние разнообразные факторы природного и техногенного характера [1–5].

Одним из наиболее эффективных методов анализа и обеспечения безопасности ЭБ АС является метод вероятностного анализа безопасности (ВАБ), заключающийся в системном анализе уровня безопасности ЭБ АС. В процессе анализа разрабатываются логико-вероятностные математические модели ЭБ АС, определяются значения вероятностных показателей безопасности (ВПБ) ЭБ АС, и результаты используются для количественных оценок уровня безопасности ЭБ АС и для выработки решений при проектировании и эксплуатации ЭБ АС [5–7].

Выполнение ВАБ позволяет оценивать безопасность ЭБ АС с позиций рисков радиационного воздействия на население и окружающую среду. При этом необходимо отметить, что основное внимание широкой общественности всегда уделялось и уделяется именно радиационным рискам, так как наличие дополнительного радиационного риска для людей и объектов живой природы является специфическим

экологическим "последствием" эксплуатации ЭБ АС из-за появления и последующего накопления в окружающей среде радиоактивных веществ искусственного происхождения [8].

Термин "риск" имеет одну из следующих трактовок [1, 4, 6]:

- вероятность реализации неблагоприятного события;
- ущерб, нанесенный реализацией неблагоприятного события и выраженный в натуральном эквиваленте;
- комплексная мера опасности, выраженная в условных единицах, т. е. произведение вероятности реализации неблагоприятного события (например, аварии на ЭБ АС, связанной с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду) на величину ущерба от этого события.

В общем случае величина риска измеряется в единицах ущерба [9]. Если тяжесть конкретного ущерба или характер нежелательного события предварительно оговорены, то величина риска измеряется безразмерной вероятностью или частотой проявления таких событий, например, гибель человека, повреждение активной зоны ЭБ АС при аварии [1, 4, 6, 10].

Оценка приемлемости уровня безопасности ЭБ АС производится путем сравнения полученных по результатам ВАБ значений ВПБ ЭБ АС с установ-



ленными целевыми значениями ВПБ [10], которые приведены ниже.

■ "В целях исключения необходимости эвакуации населения за пределами зоны планирования защитных мероприятий, устанавливаемой в соответствии с нормативными требованиями к размещению АС, следует стремиться к тому, чтобы оцененное значение вероятности установленного этими требованиями предельного аварийного выброса не превышало  $1\text{E-}7$  на реактор в год" (п. 1.2.17) [10].

■ "Следует стремиться к тому, чтобы оцененное на основе ВАБ значение суммарной вероятности тяжелых запроектных аварий не превышало  $(1 \cdot 10^{-5})$  на реактор в год" (п. 4.2.2) [10].

Уровень безопасности ЭБ АС оценивается как приемлемый, если оцененные по результатам ВАБ значения ВПБ не превышают установленные целевые значения [5].

Однако ни в ОПБ-88/97 [10], ни в каких-либо других нормативно-технических документах России не приводится обоснование правомерности применяемых целевых значений ВПБ. Иными словами, имеет место ситуация, когда правомерность и обоснованность целевых значений ВПБ [10], используемых для количественных оценок уровня безопасности ЭБ АС, и соответственно рисков от эксплуатации ЭБ АС, фактически, принимается на "веру".

#### **Классификация рисков, возникающих при эксплуатации промышленных объектов**

Нормирование риска — это процесс установления приемлемых уровней риска для индивидуумов, социальных групп, общества и окружающей природной среды [3, 5, 6]. Нормирование риска, наряду с идентификацией, оценкой и прогнозом, является элементом анализа риска и частью процесса управления рисками от эксплуатации ЭБ АС [3, 6]. В общем случае под приемлемым риском понимается риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений. Однако, так как в большинстве случаев при выборе приемлемого риска экономические соображения использовать затруднительно, чаще оперируют только социальными критериями [5, 6].

Риск от эксплуатации ЭБ АС как промышленного объекта является приемлемым, если его величина настолько незначительна, что ради выгоды, получаемой от эксплуатации данного техногенного объекта, общество готово пойти на этот риск. Объект, риск эксплуатации которого меньше приемлемого, можно считать безопасным [1, 3—6].

Кроме приемлемого риска существует понятие контролируемого риска, при котором производственная деятельность допускается, однако объект не считается безопасным. Система управления рисками на объекте с контролируемым уровнем риска направлена на достижение и/или обеспечение приемлемого уровня риска [1, 4, 6].

#### **Величины рисков, возникающих при эксплуатации промышленных объектов**

При анализе риска прежде всего определяются опасности, которые необходимо исследовать, и устанавливаются меры этих опасностей [4, 6]. Для выбранной меры опасности оцениваются уровни приемлемого риска. При этом выбор приемлемого риска, как правило, является составной частью анализа риска, а не показателем, входящим в состав исходных данных, которые, в свою очередь, используются при анализе риска (к исходным данным относятся критерии, на основании которых в процессе анализа риска принимаются решения о допустимом (приемлемом) уровне риска) [1, 6]. Анализ общественного мнения в ряде промышленно развитых стран показал, что большинство респондентов-специалистов считают приемлемым уровень риска порядка  $1 \cdot 10^{-6}$  и менее [1, 3, 5, 6].

На государственном уровне методология анализа и управления риском, основанная на концепции приемлемого риска, впервые была принята в Нидерландах в 1985 г. в качестве государственного закона [4, 6], согласно которому вероятность смерти в течение года для индивидуума от опасностей, связанных с техносферой, больше  $1 \cdot 10^{-6}$  считается недопустимой (неприемлемой), меньше  $1 \cdot 10^{-8}$  пренебрежимой. Область приемлемого риска соответствует диапазону  $1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-8}$ , исходя из экономических и социальных соображений [4, 6].

Принятие в Нидерландах области приемлемого риска в диапазоне  $1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-8}$  было обусловлено следующими умозаключениями. За основу был принят риск смерти индивидуума в возрасте 10...15 лет, который согласно статистическим данным по возрастной смертности составляет примерно  $1 \cdot 10^{-4}$  в год и является минимальным на протяжении всей его жизни. Для сравнения необходимо отметить, что для человека максимальный риск смерти соответствует первому году его жизни и равен  $2 \cdot 10^{-2}$  в год [4]. В Нидерландах, основываясь на этих данных, для предельно допустимого уровня индивидуального риска принято значение, составляющее 1 % от риска смерти в возрастном интервале от 10 до 15 лет, т. е. предельно допустимый уровень индивидуального риска принят равным  $1 \cdot 10^{-6}$  в год [4, 6].

Для проектирования новых промышленных объектов в Нидерландах на законодательном уровне установлен пренебрежимый уровень индивидуального риска ( $1 \cdot 10^{-8}$  в год) и максимально допустимый уровень индивидуального риска ( $1 \cdot 10^{-6}$  в год) [6]. Указанные значения приемлемого риска, полученные на основании самого известного критерия в одной из самых благополучных с точки зрения промышленного развития и культуры промышленной безопасности стран, используются в качестве ориентира. Критерии риска, принятые к использованию в практической деятельности в Ни-

дерландах представлены в табл. 1 [6]. В отличие от индивидуального, социальный риск дает оценку воздействия на группы населения, проживающего вблизи промышленного объекта [5–7]. В ряде других стран для индивидуального риска установлены большие значения (см. табл. 2 в техническом отчете [6]), чем в Нидерландах, тем не менее, уровень риска наступления смерти выше величины  $1 \cdot 10^{-4}$  в год однозначно признается неприемлемым (чрезмерным).

Во многих других экономически развитых странах был использован стандарт, введенный в Нидерландах, который применяется в практике лицензирования потенциально опасных промышленных объектов. Этот стандарт задает максимально приемлемые уровни индивидуального техногенного риска для населения, проживающего в регионе размещения этих объектов [4]. Например, комитет по здравоохранению и промышленной безопасности Великобритании в качестве нижней границы риска использует ве-

личину риска  $6 \cdot 10^{-6}$  в год [6]. Была разработана концепция ALARP (As Low As Considered Reasonably Practical). Зона ALARP представляет собой интервал между "терпимым" риском  $1 \cdot 10^{-4}$  в год и широко приемлемым риском  $1 \cdot 10^{-6}$  в год.

Другими критериями выбора уровня приемлемого риска являются существующие уровни риска, с которыми общество, так или иначе, мирится (готово мириться). Если общество соглашается с существующим уровнем риска, то этот риск является приемлемым, по крайней мере, для рассматриваемого вида опасности (стоит отметить совершенно не очевидный факт, что для другого вида опасности общество согласится с таким же уровнем риска (вероятностью реализации неблагоприятных событий)) [5, 6]. Критерии риска, принятые в практической деятельности в Великобритании и Австралии, представлены в табл. 2 [6].

Таблица 1

Критерии риска, принятые в практической деятельности в Нидерландах

Уровень риска в год (год ввода в действие)		Комментарии
Индивидуальный риск	$1 \cdot 10^{-6}$ (1989)	Максимально допустимый уровень
	$1 \cdot 10^{-8}$ (1989)	Пренебрежимый уровень
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-8}$ (1989)	Требуется снижение уровня
Социальный риск	$1 \cdot 10^{-5}$ (1989) — для > 10 смертей на событие $1 \cdot 10^{-7}$ (1989) — для > 100 смертей на событие	Максимально допустимый уровень
	$1 \cdot 10^{-7}$ (1989) — для > 10 смертей на событие $1 \cdot 10^{-9}$ (1989) — для > 100 смертей на событие	Пренебрежимый уровень

Таблица 2

Критерии риска, принятые в практической деятельности в Великобритании и Австралии

Страна	Уровень риска в год (год ввода в действие)	Комментарии
Великобритания	$1 \cdot 10^{-4}$ (1976)	Максимально допустимая частота серьезной аварии (событие в год) на промышленном объекте
	$1 \cdot 10^{-5}$ (1976)	Обеспокоенность (предупреждение об опасности) уровнем индивидуального риска (вероятности смерти в год)
	$< 1 \cdot 10^{-6}$ (1976)	Уровень индивидуального риска (вероятности смерти в год) считается приемлемым
	$\leq 1 \cdot 10^{-7}$ (1981)	Остановка работ, связанных с индивидуальным уровнем риска (вероятности смерти в год), не рассматривается как обязательная
	$< 1 \cdot 10^{-6}$ (1983)	Уровень индивидуального риска приемлем
	$1 \cdot 10^{-3}$ (1983)	Уровень индивидуального риска неприемлем
	$1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-3}$ (1983)	Рекомендуется анализ "затраты—выгоды"
	$< 1 \cdot 10^{-6}$ (1989)	Уровень индивидуального риска приемлем
Австралия	$0,3 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-6}$ (1989)	Уровень индивидуального риска из данного диапазона на территориях активного землепользования (местах проживания населения, коммерческой деятельности и т.д.) считается неприемлемым
	$< 1 \cdot 10^{-6}$ (1990)	Уровень индивидуального риска приемлем
Австралия	$< 0,5 \cdot 10^{-6}$ (1990)	Приемлемый уровень индивидуального риска на территориях активного землепользования (местах проживания населения, коммерческой деятельности). Установлены дополнительные критерии на случай причинения ущерба здоровью, которые не приводят к смертельному исходу. Критерий для социального риска используется от случая к случаю



### Подходы к выбору значений целевых показателей безопасности

Из сказанного выше следует, что для выбора нормативных значений ВПБ существует ряд общепринятых подходов [5, 6].

1. Назначение ВПБ на основе уровней, которые соответствуют статистическим данным об авариях в данной отрасли (табл. 3) и в настоящее время считаются приемлемыми. С социально-психологической точки зрения в расчеты обычно закладывают значения риска, которые на полпорядка или на порядок меньше достигнутого к настоящему времени уровня. В гражданской авиации при средней вероятности катастроф  $3 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-5}$  на 100 тыс. часов полета назначают ВПБ для конструкции  $1 \cdot 10^{-5}$  [6]. Однако при этом учитывают, что лишь примерно 10 % общего числа авиационных катастроф вызваны разрушением конструкции в воздухе [6].

2. Назначение ВПБ на основе уровня, существующего в смежных (в частности, конкурирующих) отраслях: обычно назначают показатели риска, примерно на порядок меньше, чем в конкурирующих отраслях [6, 10]. Необходимо отметить, что, по мнению некоторых ученых [2], занимающихся вопросами обеспечения безопасности эксплуатации ЭБ АС, сопоставление статистических данных об авариях, произошедших на объектах атомной промышленности, и авариях, произошедших на объектах иных отраслей промышленности, является некорректным, так как атомная промышленность связана с принципиально иными социально-экономическими и биологическими последствиями аварий.

Таблица 3

#### Ретроспективные оценки частоты возникновения аварий на объектах различных отраслей промышленности [2]

Отрасль промышленности	Средняя частота возникновения аварий на опасных техногенных объектах
Угольная промышленность	$4 \cdot 10^{-2}$
Магистральный трубопроводный транспорт	$9,1 \cdot 10^{-3}$
Горнорудная промышленность	$1,03 \cdot 10^{-3}$
Хранение и переработка зерна	$6,1 \cdot 10^{-4}$
Геологоразведка	$5,5 \cdot 10^{-4}$
Добыча газа	$3 \cdot 10^{-4}$
Химическая, нефтехимическая, нефтеперерабатывающая промышленность	$2,5 \cdot 10^{-4}$
Металлургические производства	$2,15 \cdot 10^{-4}$
Подъемные сооружения	$6,8 \cdot 10^{-5}$
Газоснабжение	$6,7 \cdot 10^{-5}$
Котлы; сосуды, работающие под давлением	$4,6 \cdot 10^{-5}$
Добыча нефти	$4,3 \cdot 10^{-5}$

При назначении ВПБ на основе уровней, которые соответствуют статистическим данным об авариях в данной отрасли и в настоящее время считаются приемлемыми, и на основе уровней, существующих в смежных отраслях, возникает вопрос об истинной значимости столь малых вероятностей, как, например,  $1 \cdot 10^{-7}$  в год [10] из расчета на один ЭБ АС [6]. Отчасти эти вероятности обеспечены путем выбора расчетных нагрузок и воздействий (в виде назначенной обеспеченности), отчасти введением коэффициентов запаса по материалам. Для особо ответственных объектов высокий уровень безопасности получают в результате многократного резервирования (например, системы защиты ЭБ АС от плавления активной зоны и выброса радиоактивных веществ за пределы защитной оболочки реакторной установки) [6].

Как показывает статистика [5], большая часть аварий на строительных конструкциях происходит на стадии их возведения. Вероятность разрушения на стадии эксплуатации не превышает  $1 \cdot 10^{-4}$ , а среднее число жертв при серьезных авариях имеет порядок единицы и менее. Анализ [6] действующих в настоящее время норм в области проектирования зданий и сооружений показывает, что в них заложены запасы надежности, отвечающие годовому риску  $1 \cdot 10^{-5}$  и менее. Здесь, как и в большинстве других отраслей, соблюдается (на интуитивном или эмпирическом уровнях) следующий принцип: должен быть обеспечен на порядок более высокий уровень безопасности, чем это следует из статистики аварий [5, 6].

Из анализа зарубежных данных [2, 6] следует, что значения рисков наступления неблагоприятных событий, которые воспринимаются большинством населения как приемлемые, лежат в области  $1 \cdot 10^{-5} \dots 1 \cdot 10^{-4}$ . Верхняя граница отвечает риску, связанному с несчастными случаями в быту, нижняя — риску от поражения молнией. Соответственно, можно говорить о терпимом риске (порядка  $1 \cdot 10^{-4}$ ) и о приемлемом риске (порядка  $1 \cdot 10^{-5}$ ) [6]. Указанные значения могут изменяться в зависимости от экономических, социальных и демографических факторов [5].

### Выводы

Таким образом, относительно рисков от эксплуатации ЭБ АС и, в частности, целевых значений ВПБ, установленных в ОПБ-88/97 [10], можно утверждать, что:

- эксплуатация ЭБ АС связана с теми же вероятностями возникновения техногенных аварий, что и любые другие виды человеческой деятельности;
- целевые ВПБ, применяемые для обеспечения безопасности эксплуатации ЭБ АС в России [10], лежат в рамках общепринятых подходов к нормированию рисков от различных видов человеческой деятельности и не выходят за их рамки.

### Список литературы

1. **Вишняков Я. Д., Радаев Н. Н.** Общая теория рисков: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. 2-е изд., испр. — М.: Издательский центр "Академия", 2008. — 368 с.
2. **Гордон Б. Г.** Идеология безопасности / Труды НТЦ ЯРБ. — М., 2006. — 236 с.
3. **Гордон Б. Г.** Эволюция безопасности атомных станций // Информационное агентство "ПРОАтом" // URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3502> (дата обращения. 21.10.2014).
4. **Основы** обеспечения экологической безопасности химических производств с использованием методов анализа риска. Риск: терминология, классификация, подходы к нормированию. Основные этапы анализа и оценки экологического риска на территориях, прилегающих к химическим предприятиям // URL: [http://cis/download/lek\\_3.doc](http://cis/download/lek_3.doc) (дата обращения 21.10.2014).
5. **Острейковский В. А., Швыряев Ю. В.** Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 352 с.
6. **Технический отчет** "Исследование методологии применения вероятностного анализа безопасности (ВАБ) в области маги-

- стрального нефтепроводного транспорта на основе анализа отечественного и мирового опыта. Разработка основополагающих нормативных и методических документов внедрения ВАБ для объектов магистральных нефтепроводов", Этап № 1. "Анализ основных тенденций развития и перспектив при обеспечении безопасности потенциально-опасных промышленных объектов". — М.: ОАО ВНИИСТ, 2005. — 164 с.
7. **Швыряев Ю. В.** Вероятностный анализ безопасности при проектировании и эксплуатации атомных станций с реакторами ВВЭР. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. — М.: 2004. — 340 с.
  8. **Кузнецов В. М., Шингаркин М. А., Хвостова М. С.** Обеспечение радиационной безопасности населения, радиационно-экологический мониторинг гидросистем и территорий, находящихся в зоне воздействия ФГУП ПО "Маяк". — М.: ООО "НИПКЦ Восход-А", 2013. — 160 с.
  9. **Нормы** радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523—09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 7 июля 2009 г. № 47.
  10. **Общие** положения обеспечения безопасности атомных станций. (ОПБ-88/97). НП-001—97. Утверждены постановлением Госатомнадзора России от 14 ноября 1997 г. № 9.

**A. V. Antonov**, Professor, Dean of Faculty, **O. I. Morozova**, Postgraduate Student, e-mail: OIMorozova@yandex.ru, The Obninsk State Technical University for Nuclear Power Engineering INPE, Russia,

**G. A. Ershov**, Professor, Chief Project Engineer, Branch of "Leading Institute VNIPIET" of The Joint Stock Company Saint Petersburg Research and Design Institute

## The General Criteria of Risk Acceptability in NPP Units Operation

*NPP unit safety assurance is the top priority of its operation. Estimation of NPP unit safety level acceptability is currently conducted through comparison between the probabilistic safety indexes of NPP unit and the target probabilistic safety indexes determined in normative documents to use for NPP safety level estimation. Nevertheless, in Russian normative documents in force there is no background to the existent value of the target probabilistic safety indexes. Thus in the article is depicted that the existent value of target probabilistic safety utilized for NPP safety level estimation in Russia is within a framework of generally worldwide-used methods of risk analysis of other socially significant industrial facilities. Moreover, in the article there is a number of evidence that risks of NPP unit operation and any kinds of human activities are related.*

**Keywords:** NPP unit, NPP unit safety, probabilistic safety indexes, risk, risk acceptability

### References

1. **Vishnjakov Ja. D., Radaev N. N.** Obshhaja teorija riskov: uchebnoe posobie dlja studentov vysshih uchebnyh zavedenij. 2-e izd., ispr. M.: Izdatel'skij centr "Akademija", 2008. 368 p.
2. **Gordon B. G.** Ideologija bezopasnosti. *Trudy NTC JaRB*. M., 2006. 236 p.
3. **Gordon B. G.** Jevoľucija bezopasnosti atomnyh stancij // Informacionnoe agentstvo "PROAtom" // URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=3502> (data obrashhenija: 21.10.2014).
4. **Osnovy** obespechenija jekologicheskoj bezopasnosti himicheskijh proizvodstv s spol'zovaniem metodov analiza riska. Risk: terminologija, klassifikacija, podhody k normirovaniju. Osnovnye jetapy analiza i ocenki jekologicheskogo riska na territorijah, priliegajushhijh k himicheskijm predpriyatijam // URL: [http://cis/download/lek\\_3.doc](http://cis/download/lek_3.doc) (data obrashhenija: 21.10.2014).
5. **Ostrejkovskij V. A., Shvyryaev Ju. V.** Bezopasnost' atomnyh stancij. Verojatnostnyj analiz. M.: FIZMATLIT, 2008. 352 p.
6. **Tehnicheskij otchet** "Issledovanie metodologii primenenija verojatnostnogo analiza bezopasnosti (VAB) v oblasti magis-

- tral'nogo nefteprovodnogo transporta na osnove analiza otechestvennogo i mirovogo opyta. Razrabotka osnovopolagajushhijh normativnyh i metodicheskijh dokumentov vnedrenija VAB dlja ob#ektov magistral'nyh nefteprovodov", Jetap № 1. "Analiz osnovnyh tendency razvitija i perspektiv pri obespechenii bezopasnosti potencial'no-opasnyh promyshlennyh ob#ektov". M.: OAO VNIIST, 2005. 164 p.
7. **Shvyryaev Ju. V.** Verojatnostnyj analiz bezopasnosti pri proektirovanii i jekspluatcii atomnyh stancij s reaktorami VVJeR. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskijh nauk. M.: 2004. 340 p.
  8. **Kuznecov V. M., Shingarkin M. A., Hvostova M. S.** Obespechenie radiacionnoj bezopasnosti naselenija, radiacionno-jekologicheskij monitoring gidrosistem i territorij, nahodjashhijhsja v zone vozdejstvija FGUP PO "Majak". M.: OOO "NIPKC Voshod-A", 2013. 160 p.
  9. **Normy** radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009). Sanitarnye pravila i normativy SanPiN 2.6.1.2523-09. Utverzhdeny Postanovleniem Glavnogo gosudarstvennogo sanitarnogo vracha Rossijskoj Federacii ot 7 ijulja 2009. N. 47.
  10. **Obshhie** polozhenija obespephenija bezopasnosti atomnyh stancij (OPB-88/97). NP-001-97. Utverzhdeny postanovleniem Gosatomnadzora Rossii ot 14 nojabrja 1997. N. 9.

УДК 504.55.054:622(470.6)

**В. И. Голик**, д-р техн. наук, проф., проф. кафедры, v.i.golik@mail.ru, Северо-Кавказский государственный технологический университет, Владикавказ,  
**О. Н. Русак**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург,  
**В. Б. Заалишвили**, д-р физ.-мат. наук, проф., директор, Центр геофизических исследований Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания

## Оценка опасности хранения хвостов переработки руд и технологии их утилизации\*

*На конкретном примере показаны достоинства комбинирования исследования химического заражения окружающей среды и способа нейтрализации процесса технологическими средствами. Сформулирована опасность хранения отходов добычи и переработки минерального сырья на примере полиметаллических руд. Предложена механохимическая технология выщелачивания металлов в дезинтеграторе, позволяющая извлекать металлы из хвостов до уровня санитарных норм.*

**Ключевые слова:** окружающая среда, нейтрализация, технология, хвосты, переработка, минеральное сырье, руда, механохимия, выщелачивание, металл, дезинтегратор

### Введение

Земная цивилизация, ориентированная на рост потребления товаров, создала глобальные проблемы: загрязнение гидросферы и воздушной среды, уменьшение озонового слоя, снижение видового разнообразия живого вещества и др. Постоянное увеличение производства и потребления не согласуется с конечностью большинства ресурсов на планете и возможностями природы перерабатывать и обезвреживать отходы производства и потребления [1].

Согласно современным концепциям экологической безопасности проблемы опасности для окружающей среды можно решать технологическими и организационными средствами.

Актуальность проблемы возрастает, так как увеличение в геометрической пропорции численности населения и соответствующего этому росту объема товаров потребления не сопровождается ожидаемым прогрессом технологий утилизации отходов, которые грозят населению планеты глобальной катастрофой [2].

Применительно к горному и строительному делу актуальность проблемы утилизации хвостов повышается тем, что в настоящее время получают разви-

тие природоохранные технологии подземного способа разработки месторождений с закладкой техногенных пустот твердеющими смесями, для которых хвосты переработки руд могут быть сырьем [3].

### Задача статьи

В ходе Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы защиты окружающей среды и техносферной безопасности в меняющихся антропогенных условиях" — "Белые ночи-2014", состоявшейся в г. Грозном, 1—3 июня 2014 г., одной из приоритетных проблем охраны окружающей среды была признана безотходная утилизация твердых отходов переработки руд [4].

Для научной и практической деятельности ученых, специалистов и всех, кто занимается вопросами экологии, безопасности жизнедеятельности и охраны труда необходимо не только обобщать статистику деградации окружающей среды, но и рекомендовать технологические решения, направленные на изменение негативной ситуации в развитии человеческой цивилизации на Земле. В данном случае рекомендовать к реализации технологии утилизации твердых отходов горного производства как источника химического заражения экосистем окружающей среды.

Институт охраны природы включает в себя направления безопасности жизнедеятельности и охраны труда, охраны окружающей среды и экологи-

\* Статья написана в рамках темы 264г/б "Разработка научных основ технологий закладки выработанного пространства при отработке участков руд на ольших глубинах". Публикуется в редакции авторов.

гической безопасности, безопасности в чрезвычайных ситуациях, промышленной безопасности, подготовки специалистов в этих областях.

Задача статьи — показать достоинства совместного исследования параметров заражения окружающей среды и способа нейтрализации этого процесса технологическими средствами.

### Решение задачи

Процесс образования и накопления хвостов переработки минерального сырья, показанный на примере полиметаллических руд Садонского месторождения, является общим для всех горнодобывающих предприятий мира. Также общим является и механизм воздействия хранилищ хвостов на экосистемы окружающей среды продуктами дезинтеграции хвостов.

Общим недостатком традиционных технологий извлечения металлов из хвостов, препятствующим их использованию в производстве товаров, является невозможность полного извлечения металлов до норм ПДК в приемлемое время и с допустимыми затратами.

Традиционным технологиям извлечения металлов из некондиционного сырья противопоставляется технология выщелачивания в дезинтеграторе, которая позволяет в короткое время извлечь из хвостов все металлы до уровня ПДК.

Полное извлечение тяжелых металлов и солей ликвидирует опасность миграции продуктов природного выщелачивания хвостов в окружающую среду, что обеспечивает решение задачи исследования.

Эффективность защиты окружающей среды и техносферной безопасности в реальном мире повысится, если природоохранные общественные организации, наряду с констатацией опасности технологических процессов для окружающей среды, будут делиться опытом решения вопросов безопасности жизнедеятельности.

### Результаты исследования

Добыча минерального сырья характеризуется увеличением объемов и ореала развития добычных работ, обусловленного динамичным развитием потребностей человеческого сообщества. Следствием горного производства является накопление отходов добычи и переработки минерального сырья (рис. 1).

Возможности большинства традиционных технологий извлечения металлов из хвостов ограничены использованием только одной механической энергии. Привлечение методов химического выщелачивания не существенно повышает возмож-



Рис. 1. Традиционная схема добычи и переработки руд

ности извлечения металлов, требуя при этом продолжительного времени [5].

Современный этап развития технологий обогащения заключается в использовании для извлечения металлов химических реагентов. В ходе выщелачивания металлы переводятся из хвостов обогащения в растворы, а из них — в товарные осадки. Так выщелачиваются из отходов обогатительного производства золото, уран и медь.

Природоохранная и ресурсосберегающая концепция обращения с отходами переработки минерального сырья исходит из того, что оно является неиспользуемым и опасным при хранении ресурсом, использование которого может обеспечить эколого-экономический эффект. Большинство экологов считают, что радикальной мерой снижения глобальной опасности может быть только утилизация опасного и, вместе с тем, ценного сырья.

В предыдущем столетии характерные для разработки месторождений варианты с естественным управлением горным давлением ослабляли массив, что сопровождалось обрушением пород и увеличением разубоживания в 1,5—1,8 раз.

При выборочной отработке богатых участков месторождений запасы обеднялись с переводом в категорию неактивных, величина которых достигала нередко 50 % от первоначальных запасов. На месте первичных месторождений в ходе разработки создавались новые техногенные месторождения, в которых содержание полезных компонентов нередко превышает сегодняшнее содержание в разведанных запасах.

Не менее существенна роль хвостохранилищ, в которых складировали хвосты переработки с содержанием минерального сырья, которое ранее было некондиционным, а сейчас стало кондиционным из-за изменения конъюнктуры. Так, на Са-



донском месторождении кондиция содержания цинка и свинца за 100 лет уменьшилась в 15 раз.

Хвостохранилища обогатительных фабрик и металлургических заводов России являются техногенными месторождениями цинка, свинца, ванадия, титана, марганца, никеля, молибдена и др. металлов, запасов которых достаточно на много лет. Вокруг них образованы ореолы химического загрязнения, где содержание металлов превышает фоновое в десятки раз и также может быть предметом повторной разработки.

Владикавказский плавильный завод, построенный в 1902 г., в настоящее время оказался в центре города, что породило неразрешимые экологические проблемы. Концентраты, поступающие на переработку, по массе содержат не более половины ценных компонентов. Вторая же половина образует отходы, содержащие вещества первого и второго класса опасности, что не позволяет утилизировать их без обезвреживания [6].

Продуктом обработки цинковых продуктов, шлаков свинцовой восстановительной плавки и шламов очистных сооружений является клинкер или хвост металлургического передела. На заводах сети ежегодно его образуется около 10 000 т.

В составе металлургических хвостов определено 50 компонентов, в числе которых и элементы 1-го класса опасности: ртуть, селен, кадмий, таллий, свинец. Ртути и ее соединений в отвалах накоплено до 150 т. В значительных количествах содержатся медь, цинк, мышьяк, сурьма, марганец, никель, кобальт и другие металлы. Количество хвостов переработки увеличивается, потому что пирометаллургические процессы применяются при переработке всего свинцового сырья и около 30 % цинкового, а заводы перерабатывают привозное сырье.

Во Владикавказе скопилось более 3 млн т отходов ОАО "Электроцинк" и АО "Победит", в которых содержится более 300 т ртути, 82 тыс. т мышьяка, 4 тыс. т селена, 25 тыс. т меди, столько же свинца и в 2 раза больше цинка [7].

Использование клинкера в цементном и бетонном производстве недопустимо по санитарным правилам, потому что такой цемент будет загрязнен примесями тяжелых металлов, в том числе 1-го класса опасности, причем теряются и ценные компоненты.

В результате переработки оксидов щелочного рафинирования свинца в электропечах образуется шлак, который представляет основную экологическую опасность. В нем содержится около 6 % свинца, 15,6 % цинка, 85 % сурьмы, 2,5 % мышьяка и др.

Ежегодно образуется около 1400 т материала, который в соответствии с санитарными правилами следует хранить в герметичной таре. Более 50 000 т этих отходов хранятся на открытой площадке без

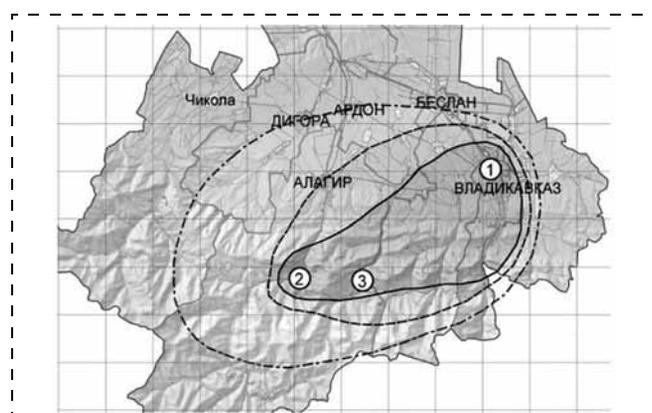
твердого покрытия. В результате воздействия атмосферных факторов: ветра, температуры, дождей происходит загрязнение воздуха, почвы, грунтовых вод высокотоксичными веществами.

Опасность плавильного завода приобрела характер экологической катастрофы, а его дальнейшая деятельность представляет угрозу генофонду Республики, Северному Кавказу, Югу России и странам бассейна Каспийского моря. Опасность хранения хвостов увеличивается за счет активизации опасных геологических процессов на территории Владикавказской, Моздокской, Сунженской и Терской зон Северного Кавказа.

Помимо своего прямого разрушительного воздействия землетрясение может стать причиной экологической катастрофы на территориях, где расположены промышленные предприятия, имеющие хвостохранилища. Так, Северная Осетия расположена в зоне, где были землетрясения интенсивностью 9...10 баллов. При высокой сейсмической опасности здесь наибольшая на Северном Кавказе плотность населения и концентрация опасных производств [8].

При умеренных землетрясениях интенсивностью 5...6 баллов площадка хвостохранилища будет подвергаться неравномерному сейсмическому воздействию, объем растворов металлов увеличится и усилит проникновение токсикантов в почву с расширением площади загрязнения. При землетрясениях интенсивностью 8...9 баллов последствия во много раз превысят воздействие.

Между параметрами техногенного загрязнения геологической среды Владикавказа и состоянием здоровья горожан установлена корреляционная связь (рис. 2).



**Рис. 2. Зависимость между загрязненностью территории и уровнем заболеваемости:**

1 — Владикавказское хвостохранилище; 2 — Унальское хвостохранилище; 3 — Фиагонское хвостохранилище; сплошная линия, пунктирная и штрихпунктирная линии — границы зон заболеваемости: максимальная, средняя и минимальная, соответственно

Общий недостаток вариантов обращения с хвостами состоит в неспособности предотвращения химической миграции металлов, поэтому хвосты переработки из природно-технической системы не исключаются. Биологическая рекультивация хвостов обогащения без нейтрализации опасных ингредиентов не только неэффективна, но опасна созданием условий для образования химически опасных мобильных продуктов с неизученными свойствами.

Учитывая, что время функционирования хвостохранилищ измеряется столетиями, ущерб от хранения хвостов может превосходить ценность добытого минерального сырья.

Современное законодательство не обязывает горнопромышленников решать проблемы безотходного производства в рамках основной деятельности.

Утилизация хвостов добычи и переработки минерального сырья считается нерентабельной. Такое впечатление создается потому, что большая доля ущерба окружающей среде в денежном выражении из сферы производства передается государству в виде оплаты потери трудоспособности, рекреационных мероприятий, пособий и т. п. Ущерб от деятельности добытчиков минерального сырья перекладывается на людей, в том числе не имеющих отношения к горному производству. Так, в Белгородской области активное заражение продуктами природного выщелачивания хвостов переработки железистых кварцитов влияет на качество продукции высокоразвитого сельскохозяйственного производства, что не отражается на экономике загрязнителя.

Хвосты с относительно повышенным содержанием полезных компонентов иногда утилизируют традиционными методами обогащения, с получением промышленных продуктов, концентратов, флюсов, теплоизоляционных материалов и прочих материалов многоцелевого назначения. Традиционные способы обогащения не могут извлекать все металлы без остатка как из руд, так и из хвостов первичной переработки, так как применяют 1...2 вида воздействия и ориентированы на ограниченное количество компонентов сырья.

Перспективы безотходной утилизации металлических хвостов создают технологии с выщелачиванием металлов, однако, даже при механической активации процесса — процесс выщелачивания длится долго и не обеспечивает извлечения металлов до безопасного уровня. Легко вскрываемые золото, медь и уран добываются таким способом в промышленных масштабах уже сравнительно давно.

Получающая развитие механохимическая технология переработки хвостов характеризуется тем, что в рабочей камере дезинтегратора процессы из-

влечения металлов ускоряются за счет особой энергии, возникающей при увеличении скорости вращения роторов и соударения частиц. Новизна ее в том, что выщелачивающие растворы не фильтруются в трещины, а запрессовываются в них в короткое время, и извлечение металлов происходит одновременно с разрушением кристаллов [9].

Новая технология включает новый феномен — активацию вещества большой механической энергией при скорости обработки более 250 м/с. Под активацией понимают повышение каталитических свойств веществ при измельчении в вибромельнице (Р. Шредер), ускорение химических реакций (Г. Хейнке); изменение прочности (И. Хинт) и т. д. Новые аспекты механической активации проявляются при использовании установок типа дезинтегратор (рис. 3).

При механической активации вещества за счет перегрузки в нем накапливается энергия особого вида, производящая структурное изменение его состояния. Скорость удара в дезинтеграторе на порядок больше, чем в вибрационных и шаровых мельницах, а ускорения достигают миллионов ускорений свободного падения. Активация создает в материале электрически неравномерно заряженные центры, а по границам скоплений примесей происходит разрушение материала, поэтому процессы сепарирования фаз активизируются, а выход целевого продукта увеличивается.

Использование дезинтегратора в горной практике впервые осуществлено на месторождении "Шокпак" в Северном Казахстане. Установка ДУ-65 была укомплектована универсальными ступицами, дающими возможность применять четырех- и трехрядные роторы и двигатели мощностью 200...250 кВт (рис. 4). В технологической цепи дезинтегратор при утилизации хвостов доменного производства обеспечивал выход активного класса хвостов до 55 %, а в комбинации с вибромельницей — до 70 %, что позволяло активированным хвостам-шлакам конкурировать с товарным цементом.

Установка располагалась в отдельном здании с площадью основания 5... 7 м в трех уровнях. Материал доставляли на верхнюю отметку и пропускали сквозь сито с отверстиями 20 мм в установку. Из дезинтегратора продукты измельчения посту-

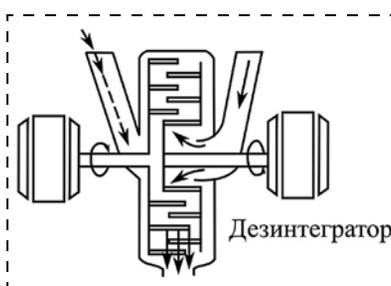
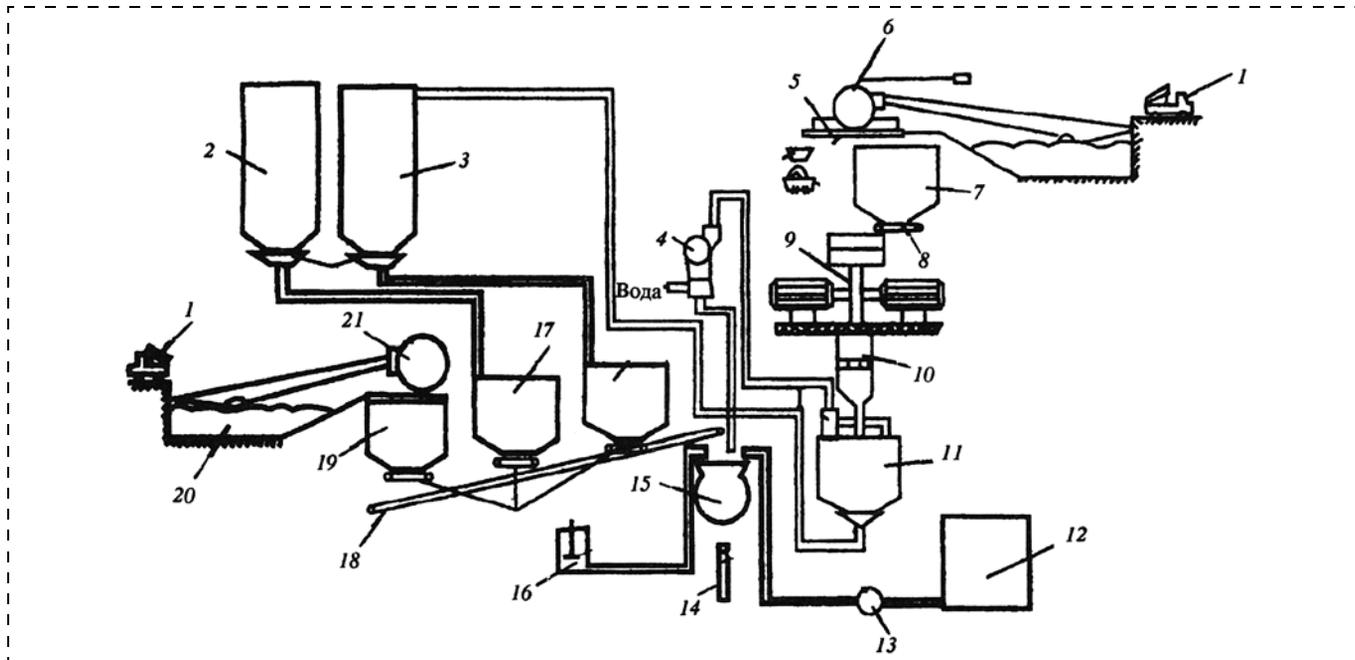


Рис. 3. Схема дезинтегратора



**Рис. 4. Закладочный комплекс с дезинтегратором:**

1 — автосамосвалы; 2 — склад цемента; 3 — склад шлака; 4 — пылеуловитель; 5 — грохот; 6 — скреперная лебедка; 7 — бункер шлака; 8 — дозатор; 9 — дезинтегратор; 10 — уловитель металла; 11 — бункер-успокоитель; 12 — емкость для воды; 13 — расходомер воды; 14 — скважины; 15 — смеситель; 16 — емкость с классификатором; 17 — бункер цемента; 18 — транспортер; 19 — бункер песка; 20 — склад песка

пали в бункер-успокоитель и направлялись в технологическую цепь. При мокрой схеме измельчения в дезинтегратор подавали воду, а продукты активации направляли в виде пульпы.

Эффект приращения активности в дезинтеграторе по сравнению с базовым вариантом оценивается в 40 %. Твердые частицы являются дополнительным абразивом, способствующим процессу перехода нерастворимых природных соединений в растворимые.

Механическая активация используется в комбинации с химическим выщелачиванием металлов из металлосодержащих минералов. При определенных условиях подаваемые в рабочий орган дезинтегратора реагенты-окислители переводят в раствор практически все содержащиеся в хвостах металлы на два порядка быстрее. В отличие от традиционных технологий механохимическая активация позволяет извлекать из хвостов обогащения металлы до уровня санитарных требований, после чего вторичные хвосты могут быть использованы без ограничений.

Анализ результатов показывает, что лучшие показатели извлечения обеспечиваются многократным выщелачиванием в дезинтеграторе.

При однократной обработке механохимическая активация увеличивает извлечение металлов в раствор по сравнению с базовым значением на 10...25 %. Путем увеличения циклов переработки

хвостов можно достичь безопасного по санитарным требованиям уровня содержания металлов.

После извлечения металлов до уровня санитарных требований хвосты обогащения пригодны для изготовления закладочных смесей и бетонной товарной продукции, обеспечивая необходимую марку при минимальном расходе цементного вяжущего. Активация в дезинтеграторе без выщелачивания увеличивает прочность смеси на 15...20 %. Активированные в дезинтеграторе смеси могут быть использованы для закладки подавляющего объема очистных выработок и без добавления цемента.

Универсальная схема безотходного горнодобывающего производства отличается тем, что включает этапы процесса от добычи до использования в виде товара. Продукты переработки становятся сырьем для хозяйственных целей (рис. 5).

Экономическая эффективность вовлечения хвостов обогащения в производство металлов и строительного сырья определяется путем сравнения традиционной технологии с извлечением металлов на фабрике и технологии с выщелачиванием металлов из хвостов обогащения.

Концепт экономической эффективности новой технологии состоит в том, что при сравнимых затратах из уже извлеченного из недр сырья извлекается большее количество металла за счет утилизации некодиционного по содержанию металлов

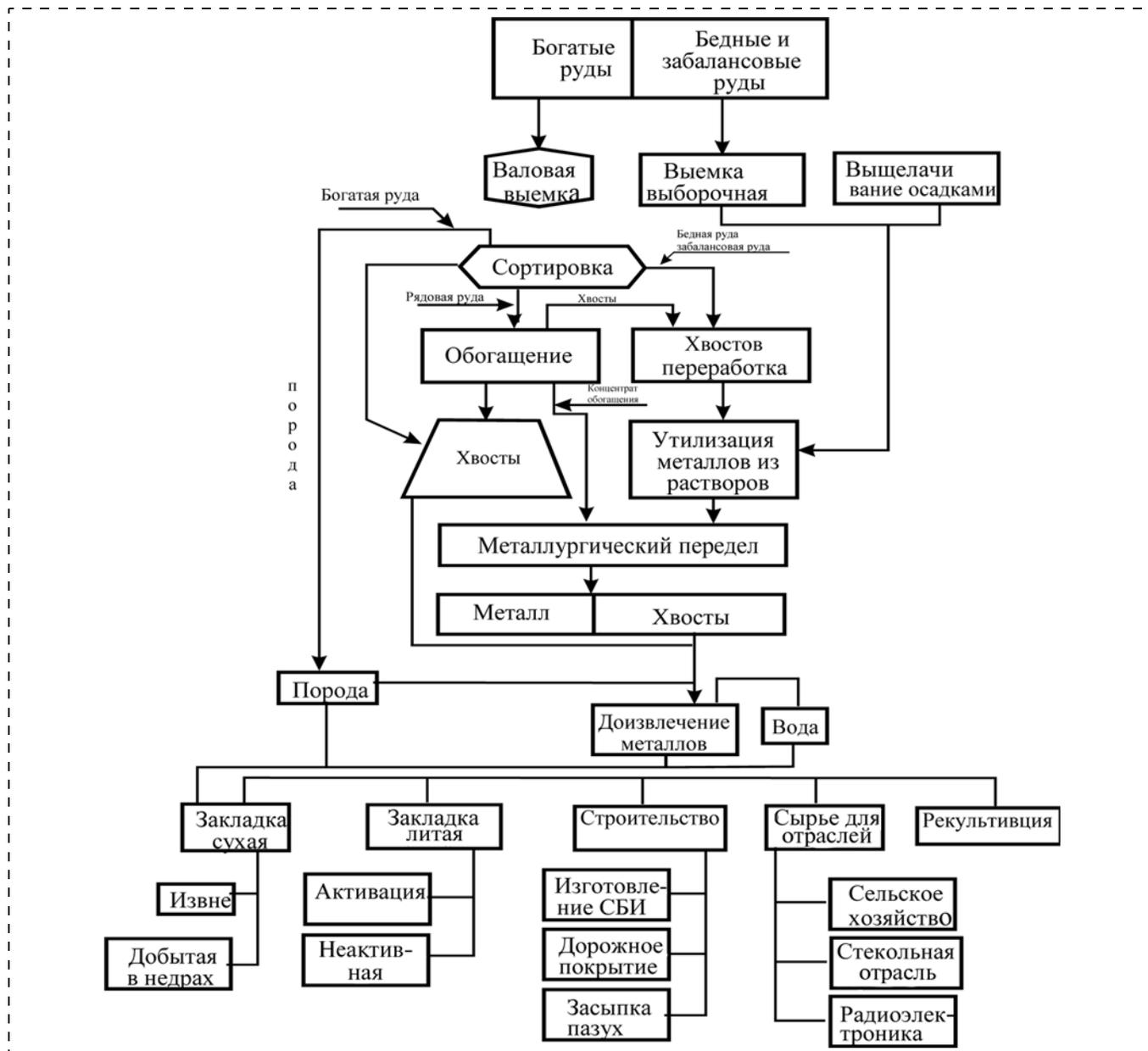


Рис. 5. Схема утилизации хвостов обогащения

сырья. Концепт экологической эффективности заключается в ликвидации источника химического заражения экосистем.

Безотходная утилизация хвостов обогащения может быть прибыльной даже без производства продукции из утилизируемых хвостов, если при этом опасность для окружающей природной среды велика и уменьшается радикально:

$$\mathcal{E} = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{i=1}^n C_{6_{it}} - \sum_{i=1}^n C_{0_{it}} \right) Q_t,$$

где  $\mathcal{E}$  — эффективность безотходной технологии;  $C_{6_{it}}$  — базовые затраты на содержание отходов вида  $i$

в период  $t$ ;  $C_{0_{it}}$  — новые затраты на содержание отходов вида  $i$  в период  $t$ ;  $Q_t$  — объем утилизируемых хвостов в период  $t$ ;  $n$  — виды отходов переработки,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Эффективность безотходной утилизации хвостов переработки определяется соотношением затрат и ущерба от хранения отходов, производственной мощностью утилизирующего предприятия и его технологическим уровнем. Основным эффектом утилизации хвостов переработки является исключение необходимости их хранения на земной поверхности с возвращением земли в хозяйственное пользование.



Область эффективного применения природоохраных технологий утилизации некондиционного минерального сырья находят как совокупность значений, отвечающих приемлемому качеству окружающей среды при доступных затратах путем моделирования технологических и экономических показателей.

Экспериментально установлено, что при переработке хвостов обогащения различных типов: полиметаллов Садонского месторождения, угля Российского Донбасса и железистых кварцитов КМА механохимическая технология обеспечивает извлечение металлов в интервале от 50 до 80 % от исходного содержания в хвостах со снижением остаточного содержания до норм ПДК. В процессе механоактивации до уровня санитарных требований извлекаются практически все содержащиеся в хвостах металлы, после чего вторичные хвосты становятся пригодными для изготовления товарной продукции без ограничений [10].

Вовлечение в производство техногенных запасов хвостов обогащения металлических руд способствует удовлетворению потребностей общества в металлах, оно создает новую сырьевую базу для горной промышленности и избавляет от необходимости вовлечения в эксплуатацию новых месторождений, что особо актуально ввиду дефицита ряда металлов для обеспечения национальной безопасности России. Использование технологии механоактивации способствует гуманизации горного производства.

### Заключение

Технологии добычи руд с высоким разубоживанием и пирометаллургические процессы металлургического передела представляют повышенную опасность для окружающей среды.

Наукой и практикой доказано, что утилизация хвостов обогащения и металлургии для производства товаров возможна после извлечения из них металлов до уровня ПДК технологиями с выщелачиванием при повышении их активности в дезинтеграторах.

Экологическая эффективность утилизации хвостов обогащения и металлургии складывается из снижения величины ущерба от хранения хвостов, стоимости металлов, полученных при переработке, сырья для строительной индустрии и попутной товарной продукции, а также сохранения живого вещества в регионе.

Горнодобывающая отрасль играет большую роль в рельефообразовании территорий. Перемещение разрушенных горных масс, изменение базиса эрозии с образованием дисперсных фракций

с большой удельной поверхностью формируют реакцию природной системы и определяют уровень неблагоприятия территории. На территории горнодобывающих регионов возникают ареалы экологической напряженности, обусловленные совокупностью негативного воздействия хвостохранилищ. Уменьшение объема производства вплоть до полной остановки не изменяет тенденция ухудшения экологического состояния.

Инструментом рационального недропользования и обеспечения геоэкологической безопасности является безотходная утилизация хвостов передела руд с выщелачиванием их в дезинтеграторах хвостов как радикальный способ восстановления утраченных под техногенным влиянием свойств окружающей среды.

Эффективность решения проблем защиты окружающей среды и техносферной безопасности в меняющихся антропогенных условиях повышается при комплексировании в рамках одного исследования двух составляющих: оценка экологического состояния объекта и мер по его рекреации.

Результаты исследования представляют интерес для горнодобывающих предприятий мира, добывающих металлы, а комплексирование в рамках одного исследования двух составляющих повысит авторитет и эффективность природоохранной деятельности.

### Список литературы

1. **Будущее**, которого мы хотим. ООН, Ген. Ассамблея, 2012. 68 с.
2. **Материалы** юбилейной Международной научно-практической конференции МАНЭБ "Белые ночи — 2013", части I и II. — СПб.: Издательство МАНЭБ, 2013.
3. **Голик В. И.** Разработка месторождений полезных ископаемых. — М.: Инфра-М, 2014. — 190 с.
4. **Материалы** Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы защиты окружающей среды и техносферной безопасности в меняющихся антропогенных условиях" — "Белые ночи—2014" (г. Грозный, 1—3 июня 2014 г.). Грозный, 2014. — 658 с.
5. **Голик В. И.** Специальные способы разработки месторождений. — М.: Инфра-М., 2014. 132 с.
6. **Воробьев А. Е., Голик В. И., Лобанов Д. П.** Приоритетные пути развития горнодобывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона. — Владикавказ: Изд. "Рухс", 1998. — 364 с.
7. **Бурдзиева О. Г., Шевченко Е. В., Ермишина Е. Б.** Механизм возникновения техногенных катастроф под влиянием горного производства // Международная научно-практическая конференция "Опасные природные и техногенные геологические процессы на горных и предгорных территориях Северного Кавказа". — Владикавказ: УРАН ЦГИ, 2010. — С. 157—161.
8. **Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б.** Исследование влияния хвостохранилища на окружающую среду в условиях высокой сейсмической опасности // Труды III Кавказской ме-

ждународной школы семинара молодых ученых "Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе", Владикавказ, 24–26 сентября, 2009. — Владикавказ, 2009. — С. 355–360.

9. **Голик В. И.** Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе

комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. — 2013. — № 5. — С. 32–37.

10. **Голик В. И.** Извлечение металлов из хвостов обогащения комбинированным методом активации // Обогащение руд. — 2010. — № 5. — С. 32–38.

**V. I. Golik**, Professor, vigolik@mail.ru, North Caucasus State Technological University, Vladikavkaz,

**O. N. Rusak**, Professor, Head of Chair, State Forest Technical University, St. Petersburg,

**V. B. Zaalishvili**, Professor, Director, Centre Geophysical Research of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and the Government of the Republic of North Ossetia-Alania

## Risk Assessment Tailings Processing of Ores and Technology Utilization

*On the example of the mining industry in the Republic of North Ossetia, the advantages of a joint evaluation of environmental contamination tails mineral processing method and neutralization process by technological means. Based on the experience tailings storage and metallurgical processing of polymetallic ores Sadonskogo ore unit, given the qualitative and quantitative assessment of the risk of waste storage extraction and processing of mineral raw materials and established a correlation between the parameters of technogenic pollution Vladikavkaz geological environment and health outcomes. Described having no analogues in the world MCA technology metal leaching in a disintegrator which allows to extract metals from the tailings to the level of hygiene and use of secondary tails to produce goods without restrictions. Proposed use of the experience of the International scientific-practical conference "Actual problems of environmental protection and security in a changing technosphere anthropogenic conditions" — "White Nights 2014", Grozny when discussing problems of environmental protection and safety at technospheric environmental forums.*

**Keywords:** environment, neutralization, technology, tails, processing, minerals, ores, mechanochemistry, leaching, metal disintegrator

### References

1. **Budushhee**, ktorogo my hotim. OON, Gen. Assambleja, 2012. 68 p.
2. **Materialy** jubilejnoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii MANJeB "Belye nochi — 2013", chasti I i II. SPb.: izdatel'stvo MANJeB, 2013.
3. **Golik V. I.** Razrabotka mestorozhdenij poleznyh iskopajemyh. M.: Infra-M, 2014. 190 p.
4. **Materialy** Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii "Aktual'nye problemy zashhity okruzhajushhej sredy i tehnosfernoj bezopasnosti v meniaushhihsja antropogennyh usloviyah" — "Belye nochi—2014" (g. Groznyj, 1—3 ijunja 2014 g.). Groanyj, 2014. 658 s.
5. **Golik V. I.** Special'nye sposoby razrabotki mestorozhdenij. M.: Infra-M., 2014. 132 p.
6. **Vorob'ev A. E., Golik V. I., Lobanov D. P.** Prioritetnye puti razvitija gornodobyvajushhego i pererabatyvajushhego kompleksa Severo-Kavkazskogo regiona. Vladikavkaz: izd. "Ruhs", 1998. 364 p.

7. **Burdzieva O. G., Shevchenko E. V., Ermishina E. B.** Mechanizm vozniknovenija tehnogennyh katastrof pod vlijaniem gornogo proizvodstva. *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija "Opasnye prirodnye i tehnogennye geologicheskie processy na gornyh i predgornyh territorijah Severnogo Kavkaza"*. Vladikavkaz: URAN CGI, 2010. P. 157—161.
8. **Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B.** Issledovanie vlijanija hvostohranilishha na okruzhajushhuju sredu v usloviyah vysokoj sejsmicheskoj opasnosti. *Trudy III Kavkazskoj mezhdunarodnoj shkoly seminar molodyh udiennyh "Sejsmicheskaja opasnost' i upravlenie sejsmicheskim riskom na Kavkaze"*, Vladikavkaz, 24—26 sentjabrja, 2009. Vladikavkaz, 2009. P. 355—360.
9. **Golik V. I.** Konceptual'nye podhody k sozdaniju malo- i bezothodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovanija fiziko-tehnicheskikh i fiziko-himicheskikh geotehnologij. *Gornyj zhurnal*. 2013. N. 5. P. 32—37.
10. **Golik V. I.** Izvlechenie metallov iz hvostov obogashhenija kombinirovannym metodom aktivacii. S-Peterburg. *Obogashhenie rud*. 2010. N. 5. P. 32—38.



**В. В. Кирсанов**, д-р техн. наук, проф. кафедры, e-mail: VVKirsanov@qmail.com, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева

## Результаты исследований процесса биодеструкции в аэротенке основных загрязняющих веществ в зависимости от коэффициента рециркуляции активного ила и времени аэрации

*Приведены данные исследования эффективности биоочистки химзагрязненных сточных вод в промышленных условиях в зависимости от разных концентраций активного ила, разных периодов аэрации и различных соотношений количеств рециркуляционного ила и сточных вод, подаваемых в аэротенк. Показаны результаты биодеструкции загрязняющих веществ по ХПК и токсичности.*

**Ключевые слова:** токсичность, химическая потребность кислорода (ХПК), биодеструкция, регенератор, аэротенк, активный ил, биологическая очистка, регенерация, микроорганизмы активного ила, эффективность биоокисления, загрязняющие вещества

Основными технологическими параметрами, определяющими эффективность биодеструкции поллютантов в аэротенках трехкоридорного типа с дифференцированной подачей сточных вод и с сосредоточенной подачей возвратного активного ила, являются: период аэрации, доза активного ила, объем регенерационной зоны, концентрация растворенного кислорода, рН среды, температура, гидродинамический режим и другие параметры.

В свою очередь, количество активного ила  $K_{a.и}$  зависит от количества рециркулируемого активного ила, количества стоков и может быть определено по формуле:

$$K_{a.и} = (W_{a.и}/W_{ст})n_1n_2, \quad (1)$$

где  $W_{a.и}$  — количество рециркулируемого активного ила;  $W_{ст}$  — количество сточных вод, подаваемых в аэротенк;  $n_1$  — коэффициент, учитывающий конструкцию аэротенка и время нахождения ила во вторичных отстойниках;  $n_2$  — коэффициент, учитывающий соотношение объемов аэротенка и вторичных отстойников.

Суммарное количество  $W_{a.и}$  и  $W_{ст}$ , приведенное к единице объема аэротенка, определяет период аэрации или время окисления. Величина  $W_{ст}$  на биологических очистных сооружениях (БОС) химического предприятия относительно нерегулируемая (заданная технологическим процессом стокообразующего производства) и с временем аэрации  $\tau_{aэр}$  связана соотношением:

$$\tau_{aэр} = Q/(W_{a.и} + W_{ст}), \quad (2)$$

где  $Q$  — рабочий объем аэротенка.

Время аэрации можно изменять, регулируя количество рециркуляционного (возвратного) активного ила  $W_{a.и}$  и перераспределяя количество сточных вод  $W_{ст}$  между отдельными аэротенками

(обычно в блок БОС химического предприятия входит несколько параллельно работающих аэротенков). Из соотношения (2) видно, что одинаковому  $\tau_{aэр}$  может соответствовать множество соотношений  $W_{a.и}/W_{ст}$ , каждое из которых определяет эффективность биоочистки.

Автор совместно с группой специалистов цеха нейтрализации и очистки промышленно-сточных вод ОАО "Казаньоргсинтез" проводил эксперименты в производственных условиях на реальных химзагрязненных сточных водах и на промышленных аэротенках по определению эффективности биодеструкции загрязнений по ХПК (химическое потребление кислорода) и токсичности в зависимости от различных соотношений подачи возвратного активного ила и химстока (коэффициента рециркуляции  $R$ ) и от времени аэрации. Исследовались два варианта указанных соотношений и времени аэрации:

вариант А — соотношение подачи в аэротенк рециркуляционного активного ила и химстока — 90:60 м<sup>3</sup>/ч ( $R=1,5$ ); концентрация ила: в аэротенке 5,6 г/дм<sup>3</sup>; в рециркуляционном иле — 9,2 г/дм<sup>3</sup>; время аэрации — 20 ч;

вариант Б — соотношение подачи в аэротенк рециркуляционного активного ила и химстока — 60:60 м<sup>3</sup>/ч ( $R=1,0$ ); концентрация ила: в аэротенке 3,2 г/дм<sup>3</sup>; в рециркуляционном иле — 8,9 г/дм<sup>3</sup>; время аэрации — 23 ч.

На основании результатов исследований получены усредненные данные, приведенные в таблице, видно, что уменьшение подачи активного ила в аэротенк в 1,5 раза ( $R=1,0$ ), и, соответственно, уменьшение концентрации активного ила с 5,6 до 3,2 г/дм<sup>3</sup> не только повлекло снижение биодеструкции загрязняющих веществ (как того следовало бы ожидать ис-



### Эффективность биодеструкции по ХПК и токсичности

	Значение ХПК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>			Значение токсичности, %		
	Исходное	Конечное	Эффективность, %	Исходное	Конечное	Эффективность, %
Вариант А	843	132	84,3	40	5	87,5
Вариант Б	886	110	87,6	38	0	100

Примечание. В таблице даны средние (усредненные) значения показателей из 24 результатов проведенных разовых анализов по ХПК на входе и выходе из аэротенка

ходя из уменьшенной концентрации активного ила в варианте Б), но и наоборот, увеличило эффективность окисления по ХПК на 3,3 % (87,6—84,3) по токсичности на 12,5 % (100—87,5). Элемент случайности в проведении исследований или выполнении последующих лабораторных анализов был практически исключен, так как для подтверждения (или опровержения) полученных первых результатов исследования были неоднократно повторены (24 раза) в различных условиях.

Полученные результаты исследований дают основания для следующих выводов.

1. В штатных регламентных режимах работы биостанции высокая концентрация активного ила не инициирует более высокую результативность биоокисления.

2. Процесс биоокисления загрязняющих веществ биоценозом активного ила условно можно разделить на две последовательно осуществляемых стадии: а) сорбция загрязняющих веществ на хлопьях активного ила; б) внеклеточное и частично внутриклеточное ферментативное окисление загрязняющих веществ. Внутриклеточное окисление преимущественно характерно для тех веществ, состав и строение которых аналогичны составу и строению самих клеток (так называемые легкоокисляемые соединения). Окисление вне клеток происходит после адаптации ферментативной системы клеток и выделения ферментов в межклеточное пространство.

Чем больше концентрация активного ила и, соответственно, развитая поверхность активного ила, тем больше сорбирующая поверхность ила.

В данных исследованиях определяющим фактором, видимо, является не первая стадия (сорбция), а вторая — непосредственно процесс окисления, что может свидетельствовать о присутствии в химстоке трудноокисляемых соединений.

Величина сравнительно невысокого ХПК (886 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), не превышающего регламентное значение (1000 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) не является исчерпывающей объективной характеристикой качества химстока. Для более объективной характеристики присутствующих трудноокисляемых ингредиентов в химстоке необходимо сравнение ХПК и БПК (биологическое потребление кислорода).

Более высокая концентрация ила в штатных режимах работы БОС снижает энергетический и

конструктивный обмен в клетках микроорганизмов — ил становится более "старым" и пассивным.

3. Более полному окислению ингредиентов химстока будет способствовать увеличение времени аэрации, что возможно достичь двумя практическими методами:

— уменьшением  $W_{a,i}$  или  $W_{ст}$  (уменьшение  $W_{ст}$  приведет к снижению производительности БОС; реально снизить можно только  $W_{a,i}$ );

— снижением объема зоны регенерации активного ила в аэротенках с совмещенной регенерационной зоной (в БОС с отдельно от аэротенков вынесенными регенераторами время аэрации можно изменить только первым методом).

4. Кроме повышения эффективности биодеструкции более низкая доза активного ила связана с улучшением седиментации иловой смеси во вторичных отстойниках и уменьшению выноса взвешенных веществ с потоком очищенной воды.

5. Результаты проведенных исследований подвергают сомнению существующие иногда представления эксплуатационников и теоретиков о прямой пропорциональной зависимости между концентрацией активного ила и качеством биодеструкции, выражающиеся в практическом стремлении эксплуатационников поддерживать максимальную концентрацию ила в аэротенках.

Классические представления, описываемые в большинстве изданий по процессам очистки сточных вод, базируются на очистке бытовых (коммунальных) сточных вод, отличающихся относительным постоянством состава и различающихся только количеством (гидравликой). Производственные сточные воды, особенно сточные воды химических предприятий, характеризующиеся всевозможными вариациями состава в течение суток и даже часов, не подвержены регламентным прописям и часто требуют нестандартных решений на основе исследований производственных ситуаций и выявления специфических закономерностей.

#### Список литературы

1. **Жмур Н. С.** Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. — М.: Акварос, 2003. — 507 с.
2. **Кирсанов В. В.** Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т. 1. Процессы и аппараты защиты гидросферы. — Казань, Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. — 496 с.



V. V. Kirsanov, Professor of Chair, e-mail: vvkirsanov@gmail.com,  
Kazan National Research Technical University named A. N. Tupolev

## The Results of Studies of the Process of Biodegradation in the Aeration Tank of the Primary Pollutants Depending on the Coefficient of Recirculation of Activated Sludge and Aeration Time

*Studies of efficiency of chemically polluted waste water bioremediation in industrial conditions due to different concentrations of activated sludge, different aeration periods and different ratio of the recycle sludge and waste water fed into the aeration tank were performed. The results of biodegradation of pollutants on the chemical oxygen demand and toxicity were obtained.*

**Keywords:** toxicity, chemical oxygen demand biological degradation, regenerator, aeration tank, activated sludge, biological treatment, regeneration, microorganisms of activated sludge, efficiency of biological oxidation, contaminants

### References

1. Zhmur N. S. Tehnologicheskie i biokhimicheskie protsessy i oчитki stochnykh vod na sooruzheniyah s aerotenkami. M.: Akvaros, 2003. 507 p.

2. Kirsanov V. V. Sovremennyye tehniko-tehnologicheskie metody zaschityi okruzhayushey sredy. T. 1. Protsessyi i apparaty zaschityi gidrosfery. Kazan: izdatelstvo Kazan. Gos. tehn. un-ta, 2012. 496 p.

УДК 628.349.094.3

С. Н. Савельев, канд. техн. наук, доц., savelyevsn@rambler.ru,  
А. В. Савельева, асп., С. В. Фридланд, д-р хим. наук, проф.,  
Казанский национальный исследовательский технологический университет

## Интенсификация очистки сточной воды от углеводородов окислительными методами применением в качестве катализатора стоков гальванопроизводства

*Исследован процесс окисления углеводородов сточных вод производств органического синтеза кислородом воздуха и озono-воздушной смесью. Показано, что гальванические стоки, содержащие ионы тяжелых металлов, интенсифицируют процесс окисления углеводородов сточных вод органического синтеза.*

**Ключевые слова:** сточные воды, очистка, углеводороды, окисление, кислород, озono-воздушная смесь, катализ, ионы тяжелых металлов

В настоящее время с ростом промышленного производства значительно увеличивается количество образующихся сточных вод, которые ввиду несовершенства технологии очистки или ее отсутствия попадают в природные водоемы.

Особую экологическую опасность представляют сточные воды производств органического синтеза. Они имеют сложный органический состав, характеризуются высокими значениями химического потребления кислорода (ХПК), содержат токсичные трудноокисляемые химическими и биологическими методами растворенные и эмуль-

гированные углеводороды. Последние приводят к образованию пленки на поверхности воды, которая ухудшает растворение кислорода, светопропускание воды, а, следовательно, и процесс фотосинтеза [1]. Содержание в сточных водах даже в небольших концентрациях таких углеводородов препятствует нормальной работе биологических очистных сооружений (БОС). С образовавшейся пленки происходит эмиссия легколетучих органических соединений в атмосферу. Продукты трансформации исходных углеводородов в окружающей среде могут приводить к образованию еще более

токсичных, нерастворимых в воде веществ, которые, образуя осадок на дне водоема, негативно воздействуют на флору и фауну как поверхностных горизонтов, так и донных отложений. Кроме того, рассматриваемая в настоящей работе сточная вода органического синтеза имеет высокую щелочность, нейтрализация которой технической серной кислотой приводит к образованию сульфатов в концентрациях существенно больших регламентируемых норм.

Для предотвращения сбоя в работе БОС на предприятиях используют многократное разбавление таких сточных вод, что не приводит к решению проблемы удаления пленкообразующих углеводородов, является нерациональным, так как при этом увеличивается объем стока и возрастают расходы на его очистку.

Современная ориентация реализации мероприятий по охране окружающей среды связана с сокращением нагрузки на окружающую среду за счет снижения сбросов в водоемы неочищенных сточных вод, создание замкнутых производственных циклов водоснабжения, что требует разработки эффективных технологий очистки сточных вод, внедрения в эту область более совершенных и универсальных методов и их аппаратного оформления.

Данная ситуация обуславливает необходимость внедрения до БОС стадии предварительной очистки с целью устранения плавающих, смолообразных углеводородов, снижения значения ХПК и щелочности.

Для очистки сточных вод от органических соединений в настоящее время применяются *адсорбционные, мембранные, экстракционные* и *окислительные* методы очистки, однако ни один из вышеуказанных методов не лишен недостатков и имеет свою область применения.

Использование универсальных *адсорбционных методов* из-за высокой стоимости как самого адсорбента, так и его регенерации экономически целесообразно лишь при невысоких концентрациях загрязняющих веществ.

*Мембранные методы* высокоэффективны, но энергоемки, требуют глубокой предварительной очистки от взвешенных веществ и последующей утилизации концентрата. Их использование возможно лишь в определенных пределах значений рН (2...12) и температуры (5...50 °С).

Применение *экстракционных методов* экономически оправдано лишь в тех случаях, когда извлекаемые вещества содержатся в значительных концентрациях и (или) имеют высокую товарную стоимость. Для очистки многокомпонентных сточных вод метод не находит промышленного применения.

Использование *окислительных методов* позволяет решить проблему очистки сточных вод от токсичных органических веществ. Эти методы достаточно эффективные, экологически чистые, технологичные, простые и легко автоматизируемые. В промышленности в качестве окислителей применяют хлор и его производные, пероксид водорода, озono-воздушную смесь (ОВС), технический кислород, кислород воздуха.

Несмотря на простоту и компактность установок для хлорирования, доступность и дешевизну хлора и его производных, данный окислительный метод имеет ограниченное применение, что связано с недостаточной глубиной окисления органических примесей, образованием токсичных хлорорганических соединений, необходимостью применения высоких доз активного хлора, высокой токсичностью самого хлора.

Пероксид водорода обладает сравнительно высоким окислительно-восстановительным потенциалом, однако многие токсичные органические соединения (бензол, толуол) устойчивы к его действию.

Озон обладает высокой окислительной способностью и при комнатной температуре приводит к деструкции и окислению многих органических веществ, обесцвечиванию, дезодорации, обеззараживанию и насыщению сточной воды кислородом, что благоприятно сказывается на дальнейшей биологической очистке. Однако существенными недостатками, сдерживающими применение озона в практике очистки сточных вод, являются высокие затраты электроэнергии на предварительную осушку воздуха (кислорода) и синтез озона (15 кВт·ч/кг озона), а также токсичность самого окислителя.

Процесс окисления кислородом воздуха представляет большой интерес для промышленного использования в связи с высокой производительностью, технологичностью, низкими капитальными, эксплуатационными затратами и возможностью проведения очистки сточных вод в полностью автоматическом режиме. Однако этот процесс окисления имеет низкую эффективность ввиду невысокой реакционной способности.

Отличительными особенностями окислительных методов при применении в качестве окислителей озона, пероксида водорода, кислорода является их универсальность, простота автоматизации, отсутствие вторичного загрязнения.

Анализ литературных источников показал, что учитывая специфику состава сточных вод органического синтеза — высокая щелочность и многообразие присутствующих органических веществ (в том числе высокотоксичных), определяющих высокие значения ХПК, *наиболее приемлемый метод очистки — окислительный*, который позволяет



деструктурировать большинство органических соединений до менее токсичных и более легко поддающихся биологической очистке. Также известно, что окисление углеводов в щелочной среде позволяет добиться наиболее глубокого окисления при меньшем расходе окислителей. Кроме того, при этом устойчивыми продуктами окисления в некоторых условиях являются органические кислоты, которые позволяют частично нейтрализовать высокую щелочность указанных вод [2, 3].

Значительно уменьшить расходы на окислители и увеличить эффективность очистки можно применением катализаторов, в качестве которых используются ионы тяжелых металлов (ИТМ). С их участием происходит интенсификация процессов окисления за счет образования активных гидроксильных и пероксидных радикалов и вовлечения кислорода воздуха в окислительный процесс [4].

Для интенсификации очистки сточных вод можно использовать гомогенный, гетерогенный, жидкофазный и газофазный катализ. Принимая во внимание тот факт, что в сточных водах органического синтеза содержатся серосодержащие соединения, являющиеся каталитическими ядами для гетерогенных катализаторов, применение гомогенных катализаторов более целесообразно. Преимущества жидкофазного окисления также очевидны в связи с экономическими и экологическими показателями, предъявляемыми к современным химическим технологиям очистки сточных вод. Однако использование жидкофазного гомогенного катализа является эффективным только при соблюдении оптимальных параметров, таких как природа и концентрация катализатора, pH среды, давление, температура [5].

Принимая во внимание, что существенно интенсифицировать процесс окисления и сократить расход окислителей можно применением в качестве катализаторов ИТМ, а также высокую щелочность сточных вод органического синтеза, и то, что в России наиболее доступным и нашедшим широкое распространение в практике очистки сточных вод от ИТМ является метод щелочного осаждения, в исследовании представляется интересным рассмотреть возможность совместной очистки сточных вод органического синтеза и сточных вод, содержащих ИТМ.

В настоящем исследовании в качестве углеводородсодержащей сточной воды использовали воду, образованную смешением сточных вод после водной и щелочной промывок газов пиролиза этана после удаления легкокипящих углеводородов простой перегонкой и нейтрализации до значений  $\text{pH} = 11,8$ , а в качестве катализатора использовали модельную сточную воду гальванического производства следующего состава:  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 1110 мг/л,  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 460 мг/л,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  — 500 мг/л.

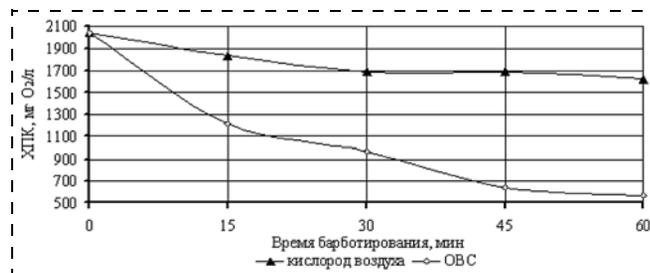


Рис. 1. Зависимость изменения ХПК от времени барботирования окислителями

На начальном этапе исследовали влияние времени барботирования кислородом воздуха и ОВС на ХПК сточных вод. Результаты исследования, представленные на рис. 1, показывают, что процесс окисления компонентов сточной воды кислородом воздуха протекает интенсивно в течение первых 30 мин барботирования, при этом значение ХПК уменьшается до 1687  $\text{мгO}_2/\text{л}$ , а при окислении сточной воды ОВС — в первые 45 мин, причем значение ХПК снижается до 640  $\text{мгO}_2/\text{л}$ , что соответствует очистке сточной воды на 17,3 и 68,6 % соответственно.

Далее были проведены исследования по изучению влияния концентрации катализатора  $c$  (суммарной концентрации ИТМ) на кинетику окисления углеводов в сточных водах кислородом воздуха и ОВС, результаты которых представлены на рис. 2 и 3.

Анализ рис. 2 показывает, что процесс окисления компонентов сточной воды кислородом воздуха протекает эффективнее с повышением концентрации катализатора. На практике целесообразно использовать из представленных на рис. 2 концентрацию 75 мг/л. При данной суммарной концентрации ИТМ процесс окисления протекает интенсивно в первые 30 мин и значение ХПК при этом уменьшается до 779  $\text{мгO}_2/\text{л}$ . При этом достигается 61,8 %-ная степень очистки по ХПК, что на 44,5 %

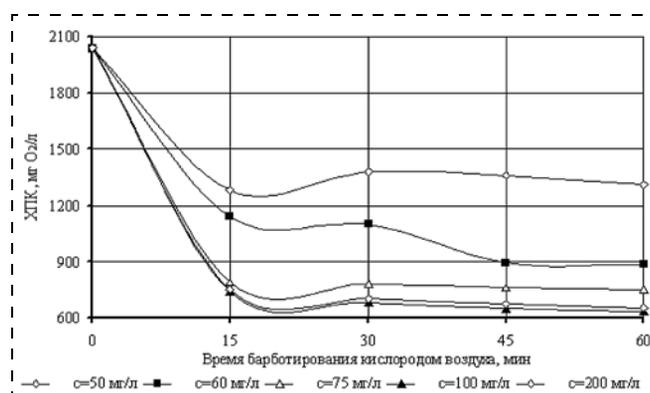


Рис. 2. Зависимость изменения ХПК от времени барботирования кислородом воздуха с добавлением различных концентраций ИТМ

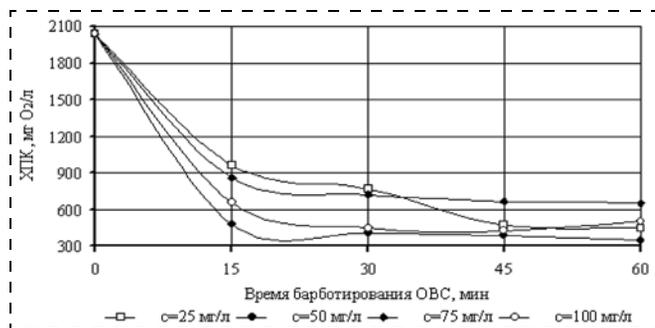


Рис. 3. Зависимость изменения ХПК от времени барботирования ОВС с добавлением различных концентраций ИТМ

больше по сравнению с не каталитическим окислением в аналогичных условиях проведения процесса.

Таким образом, результаты экспериментов свидетельствуют о том, что сточные воды гальвано-производства оказывают каталитическое действие на процесс окисления углеводородов сточных вод пиролиза. Каталитический эффект вероятно обусловлен их способностью в зависимости от валентного состояния присоединять или отдавать электрон валентно-насыщенной частице, что приводит к образованию свободных радикалов, ведущих цепной процесс окисления.

Графические зависимости, представленные на рис. 3, показывают, что процесс окисления компонентов сточной воды ОВС рационально проводить в течение 30 мин при добавлении суммарной концентрации ИТМ 50 мг/л. При этом значение ХПК уменьшается до 409 мгО<sub>2</sub>/л, что соответствует 80 %-ной степени очистки по ХПК.

Во всех экспериментах окисления содержащихся в сточных водах компонентов как кислородом воздуха, так и ОВС наблюдалось снижение щелочности.

Для последующего удаления осаждением из сточной воды ионов тяжелых металлов достаточно скорректировать рН и довести его значения до 10,5...10,7.

В заключение следует отметить, что рассмотренный метод позволяет одновременно интенсифицировать очистку углеводородсодержащих сточных вод и произвести очистку сточных вод, содержащих ИТМ, с увеличением показателей эффективности (более чем в 3,5 раза для углеводородсодержащей сточной воды) и уменьшением эксплуатационных затрат. Результаты, полученные с использованием дешевого окислителя — кислорода воздуха, показывают снижение значений ХПК до требований, предъявляемых к сточным водам, направляемым на биологическую очистку.

#### Список литературы

1. Савельев С. Н., Зиятдинов Р. Н., Фридланд С. В. Особенности каталитической очистки сточных вод озонированием // Вестник Казанского технологического университета. — 2008. — № 6. — С. 48—54.
2. Шаболдо П. И., Самарин А. Ф., Зинчук Л. Н., Проскураков В. А. Использование озона в процессах глубокой очистки природных и сточных вод // Журнал прикладной химии. — 1984. — № 6. — С. 1287—1290.
3. Зубарев С. В., Кузнецова Е. В., Берзун Ю. С., Рубинская Э. В. Применение окислительных методов для очистки сточных вод нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. — М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1987. — 53 с.
4. Мунгер Р. Р. Принципы разработки проведения процесса и контактных аппаратов для озонирования природных и сточных вод // Химия и технология воды. — 1988. — № 5. — С. 416—422.
5. Савельев С. Н., Зиятдинов Р. Н., Фридланд С. В. Интенсификация процесса окисления углеводородов кислородом воздуха и озono-воздушной смесью при очистке сточных вод // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 11. — С. 35—40.

S. N. Savelyev, Associate Professor, e-mail: savelyevsn@rambler.ru,  
A. V. Savelyeva, Postgraduate Student, S. V. Friedland, Professor, Kazan National Research Technological University

## Intensification of Wastewater Treatment Methods of Hydrocarbon Oxidation by Applying Electroplating Wastewater as a Catalyst

*Presented the feasibility of oxidation methods for deep cleaning of wastewater from the pyrolysis of hydrocarbons. Influence of time of bubbling is investigational by oxygen of air and ozone-air mixture on the decline of chemical oxygen demand (COD) of wastewater. Influence of concentrations of ions of metals of variable valency (ions of nickel, zinc and copper) is studied on plenitude of oxidation of hydrocarbons oxygen of air and ozone-air mixture. The kinetic crooked oxidations of components of wastewater are presented. It is shown that the galvanic waste-*



water containing heavy metal ions intensify the process of oxidation of hydrocarbons wastewater production of organic synthesis. The degree of purification of wastewater on the index of COD reaches 80 %.

The proposed method allows simultaneously to intensify the cleaning of hydrocarbon-containing wastewater and clean the wastewater containing heavy metal ions. Application of the indicated method of cleaning results in the increase of indexes of efficiency more than in 3,5 time for wastewater containing hydrocarbons. The results got with the use of cheap oxidant — oxygen of air show the decline of values of COD to the requirements produced to the effluents sent to the bioscrubbing.

**Keywords:** wastewater, organic synthesis, cleaning, hydrocarbons, oxidation, oxygen, ozone-air mixture, catalysis, heavy metal ions, galvanic wastewater

#### References

1. Savel'ev S. N., Zijatdinov R. N., Fridland S. V. Osobennosti kataliticheskoj oчитstki stочnyh vod ozonirovaniem. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2008. N. 6. P. 48—54.
2. Shaboldo P. I., Samarina A. F., Zinchuk L. N., Proskurjakov V. A. Ispol'zovanie ozona v processah glubokoj oчитstki prirodnyh i stочnyh vod. *Zhurnal prikladnoj himii*. 1984. N. 6. P. 1287—1290.
3. Zubarev S. V., Kuznecova E. V., Berzun Ju. S., Rubinskaja Je. V. Primenenie okislitel'nyh metodov dlja oчитstki stочnyh vod neftepererabatyvajushih i neftehimicheskikh proizvodstv. M.: CNITJeNeftehim, 1987. 53 p.
4. Munter R. R. Principy razrabotki provedenija processa i kontaktnyh apparatov dlja ozonirovanija prirodnyh i stочnyh vod. *Himija i tehnologiiia vody*. 1988. N. 5. P. 416—422.
5. Sayel'ev S. N., Zijatdinov R. N., Fridland S. V. Intensifikacija processa okislenija uglevodorodov kislorodom vozduha i ozono-vozdushnoj smes'ju pri oчитstke stочnyh vod. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2008. N. 11. P. 35—40.

УДК 502.51:504.5:628.3

Л. Э. Шейнкман, д-р техн. наук, проф., Д. В. Дергунов, канд. техн. наук, инж.,  
e-mail: dmitrov83@mail.ru, Тульский государственный университет

## Обеспечение экологической безопасности водных объектов от загрязнения фенолами, содержащимися в шахтных стоках

Рассмотрены вопросы экологической безопасности водных объектов, загрязненных фенольными соединениями шахтных вод.

Установлены с использованием технологии усовершенствованных окислительных процессов закономерности разложения фенольных соединений, присутствующих в шахтных водах, для повышения эффективности очистки.

Приведена математическая модель, определяющая экспоненциальную зависимость снижения концентрации фенольного соединения под воздействием физико-химических факторов ( $H_2O_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $h\nu$ , 365 нм), построенная при оптимальном планировании эксперимента с применением жидкостной и газовой хроматографии.

Дано решение задачи определения оптимальных значений реагентов для окисления фенольного соединения методом множителей Лагранжа.

Предложена схема расчета фотохимического реактора, который может быть включен в локальную модульную систему очистки сточных вод, содержащих фенольные соединения. На примере загрязнения реки Воркуты фенолами определен ориентировочный экономический эффект от внедрения предлагаемых решений.

**Ключевые слова:** фенол, разложение, перекись водорода, ионы железа, моделирование, шахтные воды, очистка, фотохимический реактор, управление, экологическая безопасность

#### Введение

Из всех производств горнодобывающей отрасли наиболее негативное экологическое воздействие на водные бассейны оказывают предприятия угольного производства. По прогнозным оценкам к 2020 г. объем сточных вод, сброшенных в поверхностные водоемы, возрастет в 1,3 раза и составит 650 млн  $m^3$  [1].

Основными загрязняющими веществами, сбрасываемыми в составе шахтных сточных вод, являются соединения азота, нефтепродукты, сульфаты и хлориды, тяжелые металлы, фенолы [2]. Наличие фенолов в шахтных водах связано с биохимическими процессами в угольных пластах, а также влиянием поверхностного стока. В настоящее время не существует универсальной технологии очи-

стки шахтных и других сточных вод от труднорастворимой органики, предусматривающей их доведение до требуемых параметров. Одной из причин этого является несоответствие технологических схем очистки физико-химическому составу сточных вод. Существующая на шахтах технология очистки предусматривает осветление предварительно скоагулированных шахтных вод, доочистку, обеззараживание жидким хлором и обезвоживание осадков и шламов, что не обеспечивает доведение фенольных соединений до предельно допустимого уровня (ПДК) [3]. Современным и высокоэффективным методом удаления органических соединений, содержащихся в сточных водах различных отраслей промышленности, являются процессы, основанные на использовании свободных радикалов в качестве окислителей, получившие название усовершенствованных окислительных процессов (Advanced Oxidation Processes — АОР) [4]. АОР-технология является экологически чистой, поскольку ультрафиолетовая обработка воды, в отличие от хлорирования и озонирования, не изменяет ее химический состав. Установки УФ-излучения безопасны для обслуживающего персонала, так как не требуют токсичных реагентов.

### Результаты эксперимента и статистическая обработка

Экспериментальные изыскания заключались в исследовании снижения концентрации фенольных соединений в модельных растворах при воздействии физико-химических факторов, т. е. введении в раствор перекиси водорода  $H_2O_2$ , хлорида железа (III)  $FeCl_3$  под воздействие УФ-излучения длиной волны  $\lambda = 365$  нм. Модельный раствор представлял шахтные сточные воды, загрязненные фенольными соединениями.

Продукты деструкции органических загрязнителей в модельных растворах (бисфенол-А — сокращенно ВРА и продукты его распада) под действием физико-химических факторов определялись с применением жидкостной и газовой хроматографии, атомной абсорбции и других методов. Экспериментальные исследования проводились группой исследователей Калужского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана и Тульского государственного университета [5].

На основе оптимального планирования эксперимента (см. таблицу), проводимого в программной среде Statistica 6.1, оценивалось влияние УФ-излучения и окислителей на уровень разложения органического загрязнителя при различных концентрациях ВРА  $x_1$  — 50 мкг/л и 100 мкг/л соответственно; перекиси водорода  $H_2O_2$   $x_2$  — 100 мг/л и 200 мг/л соответственно и активатора, содержащего

Матрица полного факторного эксперимента

Опыты	Факторы процесса (предикторы)				Переменная состояния (отклик)
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$y$
1	0,05	100	1	1	0,036
2	0,1	100	1	1	0,071
3	0,05	200	1	1	0,035
4	0,1	200	1	1	0,068
5	0,05	100	2	1	0,033
6	0,1	100	2	1	0,064
7	0,05	200	2	1	0,031
8	0,1	200	2	1	0,061
9	0,05	100	1	2	0,032
10	0,1	100	1	2	0,062
11	0,05	200	1	2	0,03
12	0,1	200	1	2	0,059
13	0,05	100	2	2	0,028
14	0,1	100	2	2	0,056
15	0,05	200	2	2	0,027
16	0,1	200	2	2	0,053

го 8 и 16 ммоль  $Fe^{3+}$ ,  $x_3$  — 1 и 2 г/л соответственно. Модельный раствор, содержащий ВРА, перекись водорода и активатор  $Fe^{3+}$  (хлорид железа (III)), подвергался воздействию УФ-излучения в течение 2 ч времени облучения  $t$  —  $x_4$ . Пробы отбирались через 1 и 2 ч после облучения для измерения остаточной концентрации ВРА (переменная состояния —  $y$ ). Измерения осуществлялись жидкостным хроматографом LC-MS/MS. Продукты полураспада в течение фотодеградации ВРА были определены с помощью газового хроматографа GS-MS.

По результатам эксперимента (см. таблицу) в программной среде Statistica 6.1 идентифицирована модель, отражающая зависимость концентрации фенольного загрязнителя от параметров фотокаталитического процесса очистки:

$$C_{ost} = \exp \left( \begin{array}{l} - 0,080788 + 0,971642 \ln C_{BPA} - \\ - 0,069869 \ln C_{H_2O_2} - \\ - 0,156662 \ln C_A - 0,203063 \ln t \end{array} \right), \quad (1)$$

где  $C_{ost}$  — остаточная концентрация ВРА, мг/л;  $C_{BPA}$  — начальная концентрация ВРА, мг/л;  $C_{H_2O_2}$  — концентрация перекиси водорода  $H_2O_2$ , мг/л;  $C_A$  — концентрация активатора, содержащего ионы железа (III), г/л;  $t$  — время облучения, ч; 0,080788, 0,971642, 0,069869, 0,156662, 0,203063 — коэффициенты модели  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ .

Статистический анализ экспериментальных данных показал: постоянство дисперсии случайных остатков, определяемое тестом ранговой корреляции Спирмена на уровне  $\alpha = 0,01$  ( $\sigma_e^2 = 5 \cdot 10^{-5}$ ), т. е. дисперсия остатков  $\sigma_e^2$  постоянна с вероятностью 99 %; отсутствие автокорреляции остатков под-



тверждается критерием Дарбина—Уотсона (статистика критерия Дарбина—Уотсона  $DW = 2,022$ ;  $DW = 4 - 2,022 = 1,978$  превышает верхнюю процентную точку распределения  $DW_U = 1,66$  на уровне значимости  $\alpha = 0,01$  [6]); отсутствие корреляционной связи между факторами (опредетель корреляционной матрицы факторов равен единице —  $\det(r_{XX}) = 1$ ).

Значения скорректированного коэффициента детерминации, близкого к единице ( $R_{\text{скаорр}}^2 = 0,999$ ), а также коэффициента множественной корреляции ( $R = 0,99981$ ) свидетельствуют о достаточно высокой связи результата, полученного регрессионной моделью (1) и факторами, входящими в модель. Таким образом, вариация факторов на 99,9 % объясняет вариацию остаточной концентрации фенольного загрязнителя.

Значимость коэффициента детерминации подтверждается с 99 %-ной вероятностью в связи с тем, что критическое значение критерия Фишера  $F_{\text{кр}}$  не превышает расчетного значения для регрессионной модели ( $F_{\text{кр}}(0,01; 4,11) = 5,67 < F = 7292,13$ ), где 4,11 — степень свободы, 0,01 — уровень значимости  $\alpha$ ; 7292,13 — расчетное значение по модели (см. модель (1)).

На основе  $t$ -критерия Стьюдента установлена значимость оценок  $b_1, b_2, b_3, b_4$  параметров регрессии на уровне  $\alpha = 0,01$ , свободного члена на уровне  $\alpha = 0,05$  (модули  $t$ -критерия  $t_1 = 164,7$ ;  $t_2 = 11,8$ ;  $t_3 = 26,6$ ;  $t_4 = 34,4$  превышают критическое значение  $t(0,99; 11) = 2,72$ ; а модуль  $t$ -критерия для свободного члена  $t_0 = 2,4 > t(0,95; 11) = 1,79$ ).

Достоверность вида функции регрессии (1), выбранного для анализа экспериментальных данных, подтверждается с вероятностью 99 % вследствие того, что оценка дисперсии ошибок наблюдений  $S^2$  на уровне  $\alpha = 0,01$  принадлежит 99 %-ному доверительному интервалу ( $S^2 = 6,7 \cdot 10^{-5} \in (2,75 \cdot 10^{-5}; 28,25 \cdot 10^{-5})$ ).

Падение концентрации ВРА вызвано воздействием на молекулу ВРА гидроксильных ОН-радикалов, образующихся в результате совместного воздействия  $H_2O_2$ ,  $FeCl_3$  и УФ-облучения на модельный раствор.

### Оптимальный поиск параметров процесса очистки

Определение оптимальных значений ингредиентов, необходимых для очистки воды, представляет собой задачу нелинейного программирования следующего вида:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq b_i (i = \overline{1, m}), \quad (3)$$

$$x_j \geq 0 (j = \overline{1, n}), \quad (4)$$

где  $f$  — функция зависимости концентрации фенольного соединения (1) от параметров процесса очистки (целевая функция);  $x_1, x_2, \dots, x_n$  — параметры процесса очистки (переменные);  $b_i$  — доля затрат, выделенных на очистку шахтных вод;  $g_i$  — функция затрат, представляющая двухноменклатурную модель затрат, связанную с запасом перекиси водорода и хлорида железа (III), так называемая функция ограничения, которую можно представить в виде [7]:

$$Z(c_2, c_3) = k_2 \frac{c_2^2 I_1}{2A} + k_3 \frac{c_3^2 I_2}{2A} + c_2 I_1 + c_3 I_2, \quad (5)$$

$$A = m_1 k_2 + m_2 k_3; \quad I_1 = i_1 k_2; \quad I_2 = i_2 k_3,$$

где  $Z(c_2, c_3)$  — удельные суммарные затраты, связанные с запасом перекиси водорода и хлорида железа (III), руб.;  $A$  — удельные накладные расходы на одну общую поставку, руб.;  $c_2$  — удельное потребление перекиси водорода, мг/л;  $c_3$  — удельное потребление хлорида железа, г/л;  $I_1, I_2$  — удельные тарифы затрат на хранение перекиси водорода и хлорида железа (III), соответственно, руб.;  $m_1, m_2$  — доля цены продукции, приходящаяся на затраты на выполнение одного заказа по перекиси водорода и хлориду железа (III), соответственно;  $i_1, i_2$  — доля цены продукции, приходящаяся на затраты на содержание запаса перекиси водорода и хлорида железа (III), соответственно;  $k_2, k_3$  — удельная закупочная цена единицы запаса перекиси водорода (руб./мг) и хлорида железа (III), руб./г, соответственно.

Установлено, что целевая функция концентрации (1), а также функция затрат (5), определяющая область допустимых решений, являются выпуклыми и непрерывно дифференцируемыми, что определяет задачу (2)—(4) как задачу выпуклого программирования.

Для решения системы (2)—(4) вводят набор переменных  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ , называемых множителями Лагранжа, и составляют функцию Лагранжа:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i [g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) - b_i],$$

далее находят частные производные  $\frac{\partial F}{\partial x_j} (j = \overline{1, n})$

и  $\frac{\partial F}{\partial \lambda_i} (i = \overline{1, m})$  и рассматривают систему  $(n + m)$  уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x_j} = \frac{\partial f}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0 (j = \overline{1, n}) \\ \frac{\partial F}{\partial \lambda_i} = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) - b_i = 0 (i = \overline{1, m}) \end{cases} \quad (6)$$

с  $n + m$  неизвестными  $x_1, x_2, \dots, x_n; \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ . Всякое решение системы уравнений (6) определяет

условно-стационарную точку, в которой может иметь место экстремум функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Точка  $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*; \lambda_1^*, \lambda_2^*, \dots, \lambda_m^*)$  является седловой точкой функции Лагранжа, т. е. найденное решение задачи выпуклого программирования (2)–(4) оптимально [8, 9] при соблюдении приведенных ниже условий Куна-Таккера.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F^*}{\partial x_j} \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (6.1) \\ x_j^* \frac{\partial F^*}{\partial x_j} = 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (6.2) \\ x_j^* \geq 0, \quad j = \overline{1, n}, \quad (6.3) \\ \frac{\partial F^*}{\partial \lambda_i} \leq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (6.4) \\ \lambda_i^* \frac{\partial F^*}{\partial \lambda_i} = 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad (6.5) \\ \lambda_i^* \geq 0, \quad i = \overline{1, m}. \quad (6.6) \end{array} \right.$$

Для решения оптимизационной задачи заданы следующие значения технико-экономических параметров: начальная концентрация фенольного загрязнителя 0,006 мг/л (6 ПДК), время очистки, определенное технологическим процессом, 5 суток (120 ч). Необходимо рассчитать удельный оптимальный расход ингредиентов, по которым осуществляется запас, необходимых для достижения минимального уровня концентрации загрязнителя за время очистки, определенное технологическим процессом, учитывая, что удельные затраты на очистку воды составляют  $4 \cdot 10^{-2}$  руб./л ( $b = 0,04$ ); удельная закупочная цена единицы запаса перекиси водорода  $k_2 = 24,5 \cdot 10^{-6}$  руб./мг, хлорида железа (III)  $k_3 = 37,5 \cdot 10^{-3}$  руб./г; доля цены продукции, приходящаяся на затраты по содержанию запаса перекиси водорода и хлорида железа 10 % ( $i = 0,1$ ) и 12 % ( $i = 0,12$ ), соответственно; доля цены продукции, приходящаяся на затраты по выполнению заказа по перекиси водорода и хлориду железа 5 % ( $m_1 = 0,05$ ) и 7 % ( $m_2 = 0,07$ ), соответственно.

Решая задачу выпуклого программирования (2)–(4) в системе MathCad 14.0, получаем условно-стационарную точку  $X^*$  с координатами  $(c_2^*, c_3^*, \lambda^*) = (945,96; 0,857; 4,714 \cdot 10^{-3})$ .

Из выполнения условий Куна-Таккера (6.1)–(6.6) следует, что точка  $X^*$  (945,96; 0,857;  $4,714 \cdot 10^{-3}$ ) является седловой точкой функции Лагранжа, т. е. оптимальным решением модели (2)–(4).

По результату решения задачи выпуклого программирования установлено, что при удельном уровне затрат на очистку воды, равном  $4 \cdot 10^{-2}$  руб./л, используя АОР-технологии, уровень фенольного со-

единения при оптимальных удельных уровнях расхода перекиси водорода и хлорида железа (III), равных, соответственно, 945,96 мг/л и 0,857 г/л можно понизить с уровня 6ПДК до 1,54ПДК. В случае увеличения времени УФ-обработки и удельных затрат, выделяемых на очистку, начальный уровень фенольных соединений, сбрасываемых в составе сточных вод, может быть снижен до уровня, не превышающего предельно допустимый.

### Фотохимический реактор

Модулем очистной системы, обеспечивающим реализацию технологии фотохимической очистки фенолсодержащих сточных вод, является фотохимический реактор с оптимальной системой дозирования реагентов. Для определения параметров фотохимического реактора по экспериментальным данным (см. таблицу) определялся квантовый выход  $\phi$  фотокаталитического разложения фенольного загрязнителя, который варьируется в диапазоне  $4,679 \cdot 10^{-4} \dots 2,024 \cdot 10^{-3}$  со средним значением  $\phi = 1,1 \cdot 10^{-3}$ . Полученное значение квантового выхода определяет многостадийный процесс разложения органической молекулы и промежуточных продуктов ее распада, осуществляемый "атаками" окислительных \*ОН радикалов.

Расчет параметров фотохимического реактора окисления шахтных вод, загрязненных фенольными соединениями, приводится на примере шахтных вод Печорского угольного бассейна с содержанием фенолов 6ПДК, оказывающих негативное влияние на водные объекты Воркутинского промышленного района Республики Коми [3]. При использовании в качестве источников излучения для фотокаталитического окисления фенолсодержащих вод трубчатой ртутной газоразрядной лампы низкого давления Philips UVA TL 100W/209-R 1SL с параметрами: мощность  $P = 100$  Вт; длина волны  $\lambda = 365$  нм; УФ-поток  $F_{UV} = 24$  Вт можно определить количество фенольного соединения, окисляемого системой фото-Фентона [10].

$$\text{Интенсивность излучения фотонов лампой, } c^{-1}, \quad v_{UV} = E_{UV}/E_{hv}, \quad (7)$$

где  $E_{UV}$  — энергетический поток лампы, Вт;  $E_{hv}$  — энергия фотона, Дж;  $E_{hv} = 54,5 \cdot 10^{-20}$  при  $\lambda = 365$  нм.

Таким образом, интенсивность излучения фотонов лампой Philips UVA TL 100W/209-R 1SL при  $\lambda = 365$  нм составит:  $v_{UV} = 24/54,5 \cdot 10^{-20} = 0,44 \cdot 10^{20} c^{-1}$ .

Число молекул фенольного соединения, окисленных в единицу времени, определяется по формуле:

$$N_{ph} = v_{UV} \phi. \quad (8)$$



С учетом того, что рассчитанное среднее значение квантового выхода окисления ВРА  $\varphi = 1,11 \cdot 10^{-3}$ , по формуле (8) можно определить число окисленных молекул в единицу времени:

$$N_{ph} = 0,44 \cdot 10^{20} \cdot 1,1 \cdot 10^{-3} = 0,484 \cdot 10^{17} \text{ с}^{-1}.$$

Далее можно определить количество молекул фенольного загрязнителя, окисленных за время  $t = 120 \text{ ч} = 432 \text{ 000 с}$ :  $N_{ph}(t) = N_{ph}t = 0,484 \cdot 10^{17} \times 432 \cdot 10^3 = 209 \text{ 088} \cdot 10^{17}$  молекул.

Количество молей вещества ( $m$ ), разлагаемых за время  $t$  составит:

$$N_{ph}(m) = N_{ph}(t)/N_A =$$

$$= 209 \text{ 088} \cdot 10^{17}/6,022 \cdot 10^{23} = 0,03472 \text{ моль},$$

где  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  — число Авогадро.

Количество разлагаемого вещества за время  $t$  в объеме  $V$  определяется по формуле:

$$N_{destr}(t) = QtPC_M/100, \quad (9)$$

где  $N_{destr}(t)$  — количество разлагаемого вещества, моль, за время  $t$ , с;  $Q$  — расход,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $P$  — уровень снижения концентрации, %;  $C_M$  — молярная концентрация загрязнителя,  $\text{моль}/\text{м}^3$ .

Концентрацию фенола  $C = 0,006 \text{ мг}/\text{л}$  ( $C_M = 6,376 \cdot 10^{-5} \text{ моль}/\text{м}^3$ ), содержащегося в сточных водах шахт Печорского угольного бассейна, расходом  $Q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $0,0833 \text{ м}^3/\text{с}$ ), необходимо обезвредить с эффективностью  $P = 83,33 \%$ , время очистки, определенное технологическим процессом, составляет 120 ч.

Исходя из этих условий, в соответствии с формулой (9) определим разлагаемое количество фенола:  $N_{destr}(t) = 191195,8399 \cdot 10^{-5}$  моль.

Таким образом, количество ламп, необходимое для фотокаталитического окисления фенольных соединений, сбрасываемых в составе шахтных сточных вод концентрацией  $0,006 \text{ мг}/\text{л}$ , составит:  $N_{lamps} = N_{destr}(t)/N_{ph}(m) = 1,912/0,03472 = 55$  шт.

Учитывая, что коэффициенты поглощения лучей слоем воды и отражателем, принимаемыми равными  $0,9$  [11], необходимое количество ультрафиолетовых ламп Philips можно принять равным 60 шт.

Высота слоя обрабатываемой воды, см, определяется с помощью следующего выражения [11]:

$$n = -[\lg(1 - \eta_n)/\alpha_{об} \lg e], \quad (10)$$

где  $\eta_n$  — коэффициент использования УФ-потока;  $\alpha_{об}$  — коэффициент поглощения облучаемой воды,  $\text{см}^{-1}$ .

Задавшись величинами коэффициентов использования УФ-потока  $\eta_n = 0,9$  [11] и поглощения воды после осветления на стадиях механической и физико-химической очистки  $\alpha = 0,2 \text{ см}^{-1}$ ,

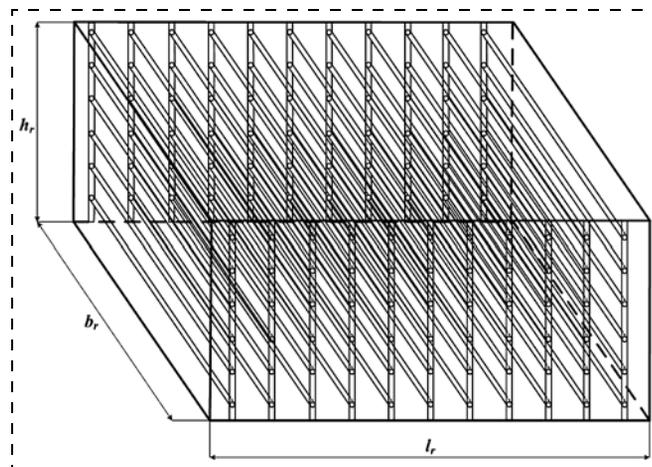


Схема стационарного фотохимического реактора:

длина  $l_r = 3 \text{ м}$ ; ширина  $b_r = 1,77 \text{ м}$ ; высота  $h_r = 1,62 \text{ м}$  и объем  $V_r = 8,6 \text{ м}^3$

по формуле (10) получаем величину слоя обрабатываемой воды:  $n = -\lg(1 - 0,9)/0,21 \lg 2,718 = 11,5 \text{ см}$ .

С учетом слоя обрабатываемой воды и необходимого количества ламп, стационарный реактор ультрафиолетовой обработки воды может быть представлен контейнером, имеющим форму прямоугольного параллелепипеда, в который устанавливаются кассеты с ультрафиолетовыми лампами (см. рисунок).

Принципиальная схема процесса очистки шахтных сточных вод представляет модульную систему, содержащую модули механической, физико-химической и биологической очистки. Фотохимический реактор с системой дозирования реагентов окислителей входит в состав модуля физико-химической очистки.

### Эксплуатационные расходы на функционирование реактора

Эксплуатационные затраты на функционирование фотохимического реактора, основанного на АОР-технологии, складываются из электрических эксплуатационных расходов и расходов, направленных на осуществление закупки химических реагентов, необходимых для осуществления фотокаталитического окисления органических загрязнителей [12, 13]:

$$C_{AOP}^{(Vq)} = q(1,45PtN_{lamps}T + V_r C_{chem}), \quad (11)$$

где  $C_{AOP}^{(Vq)}$  — полные эксплуатационные расходы на функционирование АОР систем в год, руб./год;  $C_{chem}$  — расходы на химические реагенты, руб./ $\text{м}^3$ ;  $V_r$  — объем воды в реакторе,  $\text{м}^3$ ;  $q$  — количество

циклов очистки, 1/год;  $P$  — мощность источника излучения, кВт;  $t$  — время процесса, ч;  $N_{\text{лампы}}$  — число источников излучения, шт.;  $T$  — тариф на потребление электроэнергии, руб./кВт·ч; 1,45 — коэффициент, учитывающий затраты, направленные на замену ламп (45 % от общих электрических расходов).

Так как загрязнение окружающей среды фенолами, сбрасываемыми в составе шахтных вод, рассматривается на примере шахт Печорского угольного бассейна, то тарифы на электроэнергию, утвержденные Службой Республики Коми по тарифам [14], принимаются равными  $T = 1,19663 \cdot 10^{-3}$  руб./кВт·ч.

Годовые эксплуатационные затраты функционирования одного фотохимического реактора, определяемые по формуле (11) с учетом следующих параметров  $V_r = 8,4 \text{ м}^3$ ;  $C_{\text{chem}} = 40 \text{ руб./м}^3$ ;  $q = 50 \text{ 1/год}$ ;  $t = 120 \text{ ч}$ ;  $P = 0,1 \text{ кВт}$ ;  $N_{\text{лампы}} = 66 \text{ шт.}$ ;  $T = 1,19663 \cdot 10^{-3} \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$  составят: 16 868,71 руб./год. Таким образом, фотохимический реактор окисления фенольных соединений, объемом заполняемой воды  $8,4 \text{ м}^3$ , содержащий 66 ультрафиолетовых ламп типа Philips UVA TL 100W/209-R 1SL потребует эксплуатационных затрат на свое функционирование порядка 16 тыс. 869 руб. в год.

Размер вреда, определяемый согласно Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, утвержденной приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 87 от 13 апреля 2009 г. [15], нанесенного водным объектам Воркутинского промышленного района сбросом шахтных вод, содержащих фенолы, в среднем составляет:  $Y = 374,714 \text{ тыс. руб./год}$ . Таким образом, экономический эффект от внедрения технологии очистки шахтных фенолсодержащих вод, основанной на усовершенствованных окислительных процессах, ключевой ступенью которой является фотохимический реактор окисления органических загрязнителей, составит:  $E_e = Y - C_{\text{АОР}}^{(Vq)} = 357\,845 \text{ руб./год}$ .

### Заключение

Использование реактора для фотохимического окисления фенолсодержащих сточных вод в модульной локальной очистной системе может послужить механизмом повышения экологической безопасности горно-перерабатывающей промышленности, а также снижению риска загрязнения фенолсодержащими сточными водами, образующимися при эксплуатации угольных месторождений, поверхностных водных объектов рыбохозяйственного значения, а также источников подземных вод питьевых горизонтов.

На основе экономико-математического моделирования предложен метод определения оптимальных параметров управляемой технологии, направленной на решение экологических проблем, связанных с антропогенным воздействием сточных вод не только предприятий угольной, а также химической, металлургической, целлюлозно-бумажной, фармацевтической промышленности, социальной сферы (городских сточных вод, филътрата полигонов ТБО) на водные объекты.

### Список литературы

1. Гусев Н. Н., Каплунов Ю. В., Подсевалов А. Н. Очистка шахтных вод до питьевого качества на ликвидированных шахтах (семинар № 8) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2010. — № 2. — С. 308—313.
2. Государственный доклад "О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году". — М.: НИИ-Природа, 2010. — 288 с.
3. Волковская С. Г. Экологическая оценка воздействия горных предприятий на природную среду Воркутинского района и рациональные способы охраны природных ресурсов. Дис. ... канд. техн. наук. — Санкт-Петербург, 2004. — 230 с.
4. Моисеев И. И. Окислительные методы в технологии очистки воды и воздуха // Изв. АН. Сер. хим. — 1995. — № 3. — С. 578—588.
5. Чернова М. В. Исследование процесса очистки водных систем от фенольных соединений под действием физико-химических факторов. Дис. ... канд. техн. наук. — Калуга-Тула, 2009. — 118 с.
6. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ, 3-е изд. — Пер. с англ. — М.: Издательский дом "Вильямс", 2007. — 912 с.
7. Стерлигова А. Н. Управление запасами в цепях поставок: Учебник. — М.: ИНФРА-М, 2009. — 430 с.
8. Соколов А. В., Токарев В. В. Методы оптимальных решений. Общие положения. Математическое программирование: учеб. пособ. для вузов: В 2 т. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — Т. 1. — 564 с.
9. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учебное пособие. 2-е изд., испр. — СПб.: Издательство "Лань", 2009. — 352 с.
10. Кувыкин Н. А. Плазменная деструкция фенола в растворах, моделирующих природные и сточные воды. Дис. ... канд. хим. наук. — Иваново, 2000. — 172 с.
11. Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды / Под ред. П. П. Строкач. АН УССР. Ин-т коллоидной химии и химии воды им. А. В. Думанского. — Киев: Наук. думка, 1991. — 568 с.
12. Advanced Photochemical Oxidation Processes: Handbook / United States Environmental Protection Agency. — Washington, 1998. — 97 p.
13. James P., Malley Jr. Advanced Oxidation Process Basics and Emerging Applications in Water Treatment // IUVA News. — Vol. 10. — July 2008. № 2. — С. 15—19.
14. О единых (котловых) тарифах на услуги по передаче электрической энергии по сетям территориальных сетевых организаций Республики Коми: приказ Службы Республики Коми по тарифам от 17 августа 2011 г. № 58/5.
15. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утверждена приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 13.04.2009 г. № 87. — 33 с.



L. E. Sheinkman, Professor, D. V. Dergunov, engineer, e-mail: dmitrov83@mail.ru, Tula State University,

## Ensuring Environmental Safety of Water Bodies from Pollution Phenols Contained in the Mine Waste Water

*Mine water contaminated with phenolic compounds, represent a threat to the ecological safety of water bodies.*

*The aim of the work was the establishment of a technology advanced oxidation processes patterns of decomposition of phenolic compounds present in mine waters to improve cleaning efficiency.*

*At the optimal design of experiments using liquid and gas chromatography, a mathematical model that determines the exponential dependence of the decrease in the concentration of phenolic compounds under the influence of physico-chemical factors ( $H_2O_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $h\nu$ , 365 nm).*

*Method of Lagrange multipliers to solve the problem of determining optimal values of the reagents for the oxidation of phenolic compounds. At optimum levels of the specific consumption of  $H_2O_2$  and  $FeCl_3$ , equal to 945,96 mg/l and 0,857 g/l, the concentration of phenolic compound can be reduced from 0,006 mg/l to 0,0015 mg/l.*

*A scheme of calculating the photochemical reactor which can be included in a modular local wastewater treatment system containing phenolic compound. On the example of river pollution Vorkuta phenols determined tentative economic effect of the proposed solutions, in the amount of 357,845 rubles/year.*

**Keywords:** phenol, mine waters, clearing, decomposition, hydrogen peroxide, iron ions, modelling, photochemical reactor, management, ecological

### References

1. Gusev N. N., Kaplunov Ju. V., Podsevalov A. N. Ochistka shahtnyh vod do pit'evogo kachestva na likvidirovannyh shahtah (seminar № 8). *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal)*. 2010. N. 2. P. 308—313.
2. Gosudarstvennyj doklad "O sostojanii i ispol'zovanii vodnyh resursov Rossijskoj Federacii v 2009 godu". M.: NIA-Priroda, 2010. 288 p.
3. Volkovskaja S. G. Jekologicheskaja ocenka vozdeystvija gornyh predpriyatij na prirodnuju sredu Vorkutinskogo rajona i racional'nye sposoby ohrany prirodnyh resursov. Dis. ... kand. tehn. nauk: Sankt-Peterburg, 2004. 230 p.
4. Moiseev I. I. Okislitel'nye metody v tehnologii ochistki vody i vozduha. *Izvestija RAN. "Himija"*. 1995. N. 3. P. 578—588.
5. Chernova M. V. Issledovanie processa ochistki vodnyh sistem ot fenol'nyh soedmenij pod dejstviem fiziko-himicheskikh faktorov. Dis. ... kand. tehn. nauk. Kaluga-Tula, 2009. 118 p.
6. Drejper N., Smit G. Prikladnoj regressionnyj analiz, 3-e izd.: Per. s angl. M.: Izdatel'skij dom "Vil'jams", 2007. 912 p.
7. Sterligova A. N. Upravlenie zapasami v cepjah postavok: Uchebnik. M.: INFRA-M7, 2009. 430 p.
8. Sokolov A. V., Tokarev V. V. Metody optimal'nyh reshenij. Obshhie polozhenija. Matematicheskoe programirovanie: ucheb. posob. dlja vuzov: V 2 t. M.: FIZMATLIT, 2010. T. 1. 564 p.
9. Akulich I. L. Matematicheskoe programirovanie v primerah i zadachah: Uchebnoe posobie. 2-e izd., ispr. SPb.: Izdatel'stvo "Lan", 2009. 352 p.
10. Kuvykin N. A. Plazmennaja destrukcija fenola v rastvorah, modelirujushhij prirodnye i stochnye vody. Dis. ... kand.him.nauk. Ivanovo, 2000. 172 p.
11. Kul'skij L. A. Osnovy himii i tehnologii vody. Pod red. P. P. Strokach; AN USSR. In-t kolloidnoj himii i himii vody im. A. V. Dumanskogo. Kiev: Nauk. dumka, 1991. 568 p.
12. Advanced Photochemical Oxidation Processes: Handbook / United States Environmental Protection Agency, Washington. 1998. 97 p.
13. James P., Malley Jr. Advanced Oxidation Process Basics and Emerging Applications in Water Treatment. *VIUVA News*. Vol. 10, July 2008. N. 2. P. 15—19.
14. O edinyh (kotlovyh) tarifah na uslugi po peredache jelektricheskoy jenerгии po setjam territorial'nyh setevykh organizacij Respubliki Komi: prikaz Sluzhby Respubliki Komi po tarifam ot 17 avg. 2011. N. 58/5.
15. Metodika ischislenija razmera vreda, pnchinennogo vodnym ob'ektam vsledstvie narushenija vodnogo zakonodatel'stva. Utverzhdena Prikazom Ministerstva prirodnyh resursov i jekologii Rossijskoj Federacii ot 13.04.2009. N. 87. 33 p.

УДК 543.612.2:543.612.3

**С. Г. Ивахнюк**, канд. техн. наук, зам. начальника отдела, e-mail: sgi78@mail.ru, Экспертно-криминалистический центр ГУ МВД России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области, доц., Санкт-Петербургский государственный политехнический университет,

**А. Д. Митюхина**, эксперт, Экспертно-криминалистический центр ГУ МВД России по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области, **О. Ю. Бегак**, д-р техн. наук, проф., главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева

## Апробация новой методики определения содержания коррозионно-активных элементов в нефти и нефтепродуктах

*Коррозия металлических элементов приводит к разрушению трубопроводов и оборудования, образованию свищей и появлению протечек нефти и нефтепродуктов, часто сопровождающихся взрывами и пожарами. Внутренняя коррозия определяется показателями коррозионной опасности нефти и нефтепродуктов, которые тесно связаны с наличием коррозионно-активных примесей, в том числе и галогенов. Рассмотрены вопросы их идентификации и определения, а также дальнейшего применения полученных данных в целях контроля и прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций.*

**Ключевые слова:** химические загрязнения, определение галогенов, коррозионно-активные примеси, метод ICP-MS, коррозия, чрезвычайные ситуации

### Введение

В настоящее время предприятия, занимающиеся добычей, доставкой, переработкой и хранением нефти и нефтепродуктов, являются одними из главных источников загрязнения окружающей природы. Известно, например, что ежегодно в мире только на нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ) происходит до 1,5 тыс. аварий.

В свою очередь одной из главных причин аварий (60...97 %) на магистральных нефтепроводах, а также выхода из строя оборудования НПЗ является внешняя и внутренняя коррозия [1]. Разрушение трубопроводов и оборудования вследствие коррозии приводит к образованию выбросов взрыво- и пожароопасных веществ в атмосферу и разливов нефти и нефтепродуктов, сопровождающихся обильным поступлением нефтяных углеводородов в закрытые производственные здания, в почву, грунтовые и сточные воды с последующим воспламенением по разным причинам [2, 3].

Наблюдаемая на практике высокая коррозионная активность сырых нефтей в отношении материалов нефтепроводов, а также нефтепродуктов, например, бензинов в отношении бензопроводов, связана как с наличием примеси водной фазы и кислорода, так и с присутствием значительных концентраций гетероорганических соединений (в случае сырой нефти) и неорганических соединений, содер-

жащих в своем составе атомы серы, кислорода, азота, хлора (и других галогенов), а также ряда других коррозионно-активных элементов.

Следует отметить, что сведений о присутствии в нефтях гетероатомных соединений с галогенами с описанием их состава и свойств в литературе очень мало. Известно, что йод в нефтях концентрируется в низкокипящих фракциях (80...170 °С), бром — во фракциях 268...285 °С, хлор — практически распределяется по всем фракциям. Содержание галогенорганических соединений в пересчете на NaCl составляет от 5 до 200 мг/л.

Широко применяемый в настоящее время в целях нахождения хлора в пробах нефтей и нефтепродуктов американский метод ASTM D4929 (вариант А) [4] основан на восстановлении "органического" хлора бифенилом натрия, когда за содержание хлора принимается фактически сумма примесей всех галогенов. Среди отечественных разработок по данной тематике методики, характеризующиеся высокой чувствительностью, отсутствуют.

При проведении исследований специалисты зачастую не принимают в расчет, что в ряде случаев совместное присутствие анионов галогенов (например, хлора и йода) оказывает катастрофическое воздействие на ускорение коррозионных процессов разрушения целого ряда конструкционных сталей и, соответственно, нефтехимического оборудования и трубопроводов.



Цель настоящей работы состояла в идентификации и оценке содержания в нефти и нефтепродуктах коррозионно-опасных примесей галогенов и определении возможности дальнейшего использования полученных данных в целях контроля и прогнозирования возникновения различных чрезвычайных ситуаций.

Следует отметить, что интерес к подобным исследованиям в последнее время стимулируется тем, что, как известно, для повышения нефтеотдачи пластов при добыче нефти в России широко применяются различные соединения и добавки, в том числе хлорорганические реагенты, серная и соляная кислоты [5, 6]. В связи с этим в современных нефтепродуктах можно ожидать появления повышенных концентраций галогенсодержащих соединений (хлорорганических, броморганических и йодорганических), что связано со специальными веществами, применяемыми в процессе нефтедобычи, поскольку не исключено взаимодействие подобных добавок с различными классами соединений, входящими в состав сырых нефтей [7, 8].

### Исследовательская часть

В данной работе проведено исследование проб промышленных смесей нефтей, поступающих на переработку на Киришский и Рязанский НПЗ, и нефтепродуктов, вырабатываемых из них на этих предприятиях. Авторами разработана новая методика экспрессного раздельного определения примесей хлора, брома и йода в нефти и нефтепродуктах, основанная на использовании современного высокочувствительного аналитического метода — индуктивно связанной плазмы с масс-спектрометрической регистрацией (ICP-MS) [9].

Суммарная относительная погрешность разработанной методики  $\Delta \leq \pm 20\%$  (на нижней границе определений), что соответствует относительной расширенной неопределенности измерений (при коэффициенте охвата 2)  $U_{\text{отн}} = 20\%$  [10]. В середине и на верхней границе диапазона определений  $\Delta \leq \pm 10\%$ . Верхняя граница определения примесей галогенов — на уровне 1000 ppm, нижние границы определений: по хлору — 0,1 ppm, бром — 0,05 ppm, йоду — 0,02 ppm.

Концентрации ионов в растворах методом ICP-MS определяются следующим образом. Анализируемый раствор распыляется и с потоком аргона попадает в высокотемпературную плазму, где происходит ионизация большинства атомов. Часть образовавшихся в плазме ионов попадает в вакуумную камеру, в которой происходит их ускорение и фокусировка с помощью ионных линз. Далее ионный пучок попадает в неоднородное электромагнитное поле квадрупольного масс-спектрометра, где происходит пространственное разделение ионов по массам. При сканировании электромагнитного поля квадруполь на ионный детектор последовательно попадают ионы определенной массы и регистрируются с помощью электроизмерительных устройств. Полученные сигналы, пропорциональные содержанию тех или иных ионов в плазме, обрабатываются с помощью компьютерной системы и результаты анализов распечатываются принтером.

Разработанная методика является высокоэкспрессной и многоэлементной. Метод ICP-MS, на котором она основана, позволяет, наряду с галогенами, при необходимости определять еще целый ряд примесей, включая все металлы Периодической системы Д. И. Менделеева.

Принцип методики основан на том, что пробу нефти (предварительно отмытой от примесей неорганических галогенов) или нефтепродукта (бензин, керосин и др.) сжигают. Газообразные продукты горения пропускают через поглотительный содовый раствор, в котором затем определяют содержание хлора, брома и йода методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. В качестве средства измерения в этой работе использован масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой типа VG Plasma Quad PQ2 Turbo Plus ICP MS. Для градуировки прибора применялись растворы, содержащие 1, 10 и 100 ppm ионов Cl, Br и I. Параллельно с анализируемыми пробами проводят опыт с холостой пробой, проводя ее через все стадии анализа.

Методика последовательно апробировалась сначала на нефти, получаемой из нефти при отгонке до 204 °С, согласно ASTM D4929 (A). При этом результаты определения хлора с бифенилом натрия сравнивались с суммой концентраций хлора, брома и йода, определяемой методом ICP-MS (табл. 1). Затем

Таблица 1

Результаты определения массовой доли примесей "органических" галогенов в нефти, полученной из промышленной смеси нефтей на Киришском НПЗ методами ICP-MS и ASTM D4929 (A)

Характеристика пробы	Результаты определения хлора по ASTM D4929 (A), ppm	Содержание галогенов, установленное методом ICP-MS, ppm			
		Cl	Br	I	Σ галогенов
Нафта неочищенная из необессоленной нефти	7,2	4,7	1,4	0,03	6,13
Нафта очищенная из необессоленной нефти	7,1	6,8	1,5	0,02	8,32
Нафта неочищенная из обессоленной нефти	6,15	6,5	0,33	0,02	6,85

**Результаты определения "органических" хлора, брома и йода в нефтепродуктах Рязанского НПЗ методом ICP-MS**

Шифр установок, с которых отбирались пробы	Название продукта	Содержание галогенов, ppm		
		Cl	Br	I
12/1	Фракция 62...70 °С	10,0	2,1	5,8
12/1	Фракция 70...115 °С	11,0	2,5	5,6
12/1	Фракция 115...180 °С	13,0	3,9	5,5
24/600	ТС сырье (керосин)	16,0	1,8	6,4
24/600	ТС готовый керосин с установки	3,0	1,0	3,2
35/6	Сырье	10,0	2,1	5,4
35/6	Катализат	2,4	0,7	2,8
35/6	Нестабильный гидрогенизат	2,2	0,6	2,5
35/6	Стабильный гидрогенизат	1,8	0,5	2,4
35/5	Сырье	8,0	2,5	5,1
35/5	Катализат	2,1	0,75	3,2
35/5	Нестабильный катализат	1,5	0,6	3,0
35/5	Стабильный катализат	1,2	0,5	2,9
35/8	Сырье	9,0	1,8	4,6
35/8	Катализат	1,8	0,7	2,4
35/8 (C2)	Нестабильный гидрогенизат	1,3	0,65	2,2
35/8	Стабильный гидрогенизат	1,0	0,6	2,1
35/11-300	Сырье	5,0	1,8	1,3
35/11-300	Стабильный катализат	1,1	0,6	0,7
35/11-300 (C1)	Нестабильный катализат	1,3	0,75	0,84
35/11-300	Гидрогенизат	1,1	0,8	0,9
35/11-300	Легкий бензин (E201)	1,7	1,0	0,9
АТ-6	Бензин (К8)	7,0	2,0	1,6
АТ-6	Привозной бензин	8,0	1,3	1,4

проводилась проверка этой методики на пробах компонентов бензинов и керосина ТС-1, получаемых на Рязанском НПЗ (табл. 2), а затем на пробах Киришского НПЗ (табл. 3).

Как видно из данных табл. 2, концентрация хлора несколько возрастает с ростом температуры выкипания фракции. Так, например, во фракции 62...70 °С содержание "органического" хлора составляет 10 ppm, а во фракции 115...180 °С — уже 13 ppm. Характерно также, что в сырье, поступающем на установки, содержится гораздо больше "органического" хлора, чем в продукции. В стабильном гидрогенизате хлора несколько меньше, чем в нестабильном. Следует отметить, что с помощью метода ICP-MS впервые удалось определить отдельно еще и содержание "органического" брома и "органического" йода. При этом содержание йода в ряде случаев в пробах нефтепродуктов Рязанского НПЗ существенно превосходит содержание брома.

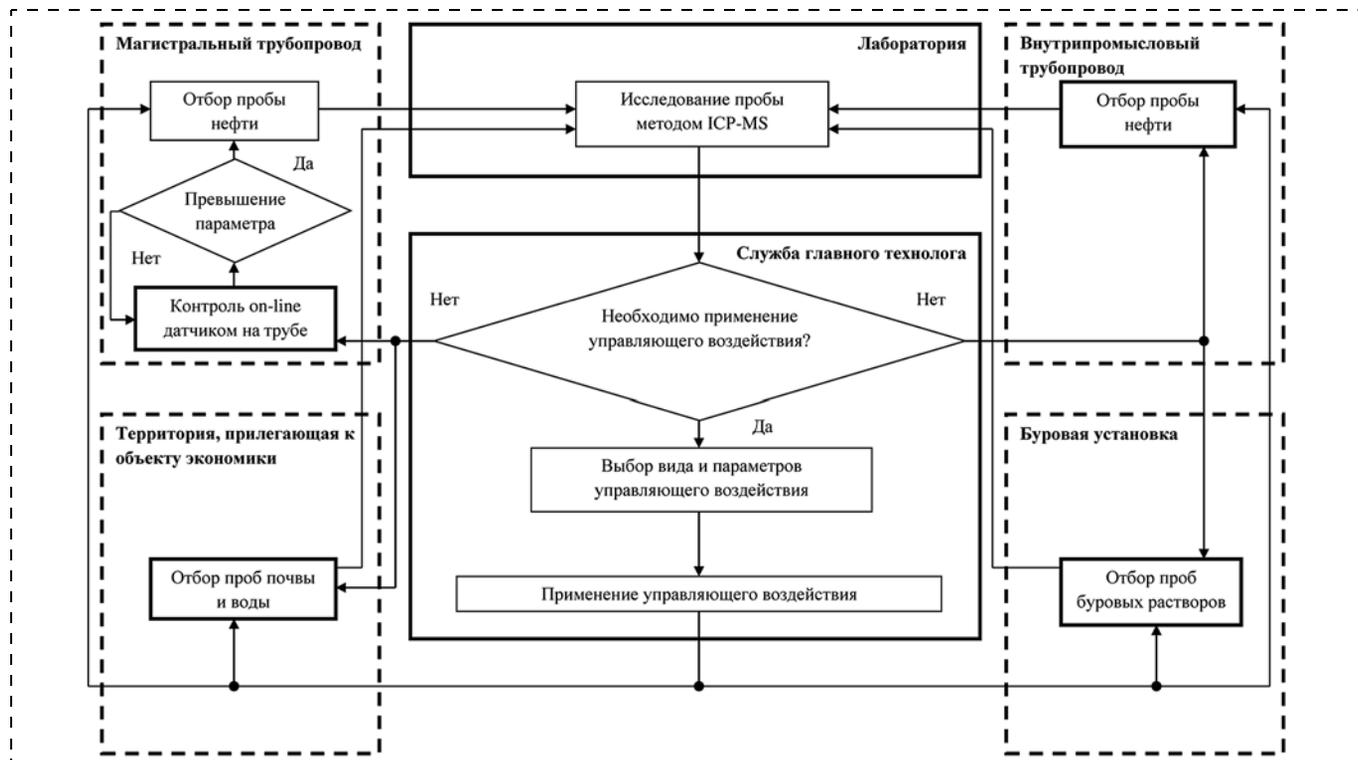
После апробации этой методики на пробах Рязанского НПЗ соответствующие исследования были выполнены для проб нефти и нефтепродуктов Киришского НПЗ (табл. 3). Следует отметить, что в обессоленной нефти упомянутого предприятия методом ICP-MS обнаруживается 25 ppm "органического" хлора. В то же время по методике с бифенилом натрия (с отгонкой нефти до 204 °С) в соответствии с ASTM D4929 (A) в этой же пробе нефти было получено значение содержания "органического" хлора — всего 1,3 ppm (после пересчета из содержания хлора в нефти), что, по мнению авторов, является сильно заниженным.

Можно предположить, что это обстоятельство связано с тем, что в отечественных нефтях значительная часть хлора находится в виде гетероатомных соединений в высококипящих нефтяных фракциях, а в американской методике по ASTM

Таблица 3

**Результаты определения массовой доли "органических" галогенов в нефтепродуктах и нефти Киришского НПЗ методом ICP-MS**

Характеристика проб	Результаты определения, ppm, "органического"		
	хлора	брома	йода
Нефть сырая (АТ-6)	72	29	0,87
Нефть обессоленная (АТ-6)	25	17	0,50
Сырье, Л-35-11/600	10,0	1,9	0,20
Стабильный гидрогенизат, Л-35-11/600	4,2	2,0	0,11
Сырье, Л-35-11/300	7,8	1,4	0,17
Стабильный гидрогенизат, Л-35-11/300	4,7	1,2	0,15
Сырье, ЛЧ-35-11/1000	7,0	1,9	0,20
Стабильный гидрогенизат, ЛЧ-35-11/1000	5,2	1,7	0,11
Сырье, ЛГ-35-8/300 "Б"	7,0	1,2	0,21
Стабильный гидрогенизат, ЛГ-35-8/300 "Б"	2,7	1,1	0,16



Блок-схема организации мероприятий по минимизации рисков возникновения аварийных ситуаций

D4929 (A) для анализа используется только нефть с температурой отгонки до 204 °С.

Как видно из данных табл. 3, в сырье установок Киришского НПЗ содержится 7...10 ppm "органического" хлора, что хорошо коррелирует с аналогичными данными для Рязанского НПЗ (см. табл. 2). Стабильный гидрогенизат установок Киришского НПЗ характеризуется содержанием "органического" хлора на уровне 4,2...5,2 ppm, что несколько выше, чем у стабильного гидрогенизата установок Рязанского НПЗ, который на момент исследования был чище по "органическому" хлору, чем на Киришском НПЗ. В то же время по йоду эти пробы Киришского НПЗ оказались гораздо чище, чем пробы Рязанского НПЗ.

Результаты проведенных авторами измерений свидетельствуют, что на нефтеперерабатывающие заводы поступает весьма различная по составу примесей нефть, при этом ряд примесей, присутствующих в заметных количествах, в частности, галогены, являются коррозионно-активными и создают вследствие этого повышенную опасность повреждения оборудования.

Таким образом, в процессе апробации, был обнаружен ряд преимуществ разработанной методики в сравнении с ASTM D4929 (A), что свидетельствует о необходимости ее широкого применения, в том числе и в целях контроля и прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

Под прогнозированием чрезвычайных ситуаций понимают опережающее отражение вероятности возникновения и развития чрезвычайных ситуаций на основе анализа возможных причин ее возникновения, ее источника в прошлом и настоящем. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций возможно только на основе решения задач мониторинга — системы наблюдений и контроля, проводимых регулярно, по определенной программе для оценки состояния объекта контроля, анализа происходящих процессов и своевременного выявления тенденций ее изменения [11].

Организация на объектах топливно-энергетического комплекса лабораторий, использующих квадрупольные масс-спектрометры с индуктивно связанной плазмой, позволит осуществлять мониторинг необходимых параметров сразу по нескольким направлениям (см. рисунок):

- контроль содержания коррозионно-активных элементов в нефти и нефтепродуктах на магистральных трубопроводах;
- контроль содержания коррозионно-активных элементов в нефти и нефтепродуктах на внутрипромысловых трубопроводах;
- контроль содержания коррозионно-активных элементов в буровых растворах;
- контроль загрязнения прилегающих к объекту экономики акваторий и территорий.

Следует отметить, что содержание коррозионно-активных элементов в буровых растворах является достаточно актуальной проблемой, так как при бурении нефтяных скважин высокотоксичные компоненты растворов попадают в буровые сточные воды, а впоследствии — в природные воды [12]. Возможности метода ICP-MS в области определения металлов, в том числе тяжелых, раскрывают широкую перспективу дальнейшей деятельности по оценке возможности применения разработанной методики в сфере контроля загрязнения объектов окружающей среды.

Подтвержденная результатами лабораторных исследований с использованием предложенной авторами методики информация о превышении допустимых показателей содержания коррозионно-активных элементов в сырье и полупродуктах нефтеперерабатывающих предприятий, в составе буровых растворов, будет содержать исходные данные для решения задач прогнозирования проявлений общей и местной коррозии, а также являться сигнализирующим признаком для применения всего спектра возможных управляющих воздействий в целях минимизации вероятных негативных последствий (например: введение ингибиторов коррозии, предварительная отмывка нефти от наиболее коррозионно-активных веществ, замена конструкций трубопроводов, отказ от использования конкретных товарных партий буровых растворов и пр.).

Результаты химических анализов проб воды и почвы в районах размещения нефтехимических предприятий, выполненные на базе метода ICP-MS, укажут на необходимость оперативного применения возможностей комплекса мероприятий по экологической защите окружающих природных ресурсов в целях снижения отрицательного эффекта техногенных воздействий на биоценоз региона.

Таким образом, результаты аналитических исследований, полученные при использовании разработанной методики, позволяют осуществлять оценку потенциальной взрывопожароопасности объектов топливно-энергетического комплекса, а также прогнозировать риски загрязнения окружающей среды.

### Заключение

1. Разработана и апробирована методика дифференцированного определения примесей Cl, Br и I в нефти и нефтепродуктах (бензинах и керосинах), основанная на современном высокоинформативном аналитическом методе ICP-MS — индуктивно-связанная плазма с масс-спектрометрической регистрацией. Верхняя граница определений по разработанной методике для всех галогенов составляет 1000 ppm, нижняя граница для "органического" хлора — 0,1 ppm, для брома — 0,05 ppm,

йода — 0,02 ppm. Суммарная погрешность результатов определений не превосходит  $\pm 20\%$ , а на верхней границе определений и в середине диапазона —  $\pm 10...15\%$ .

2. Обнаружено, что методика ASTM D4929 (A), основанная на восстановлении "органического" хлора бифенилом натрия, дает сильно заниженные результаты при пересчете хлора, определяемого в нефти, отогнанной до 204 °C, на его содержание в нефти. Предлагаемая методика позволяет одновременно, наряду с хлором, определять также примеси брома и йода в нефтепродуктах (компонентах бензина и керосина), что невозможно по методике ASTM D4929 (A).

3. Показано, что уровень содержания галогенов в нефти и нефтепродуктах может приниматься во внимание при оценке коррозионной опасности этих составов для трубопроводов и оборудования и, соответственно, при прогнозировании вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на объектах топливно-энергетического комплекса.

### Список литературы

1. **Седых А. Д.** Потери газа на объектах магистрального транспорта. — М.: ИРЦ Газпром, 1993. — 48 с.
2. **Абросимов А. А.** Экология переработки углеводородных систем. — М.: Химия, 2002. — 608 с.
3. **Васьков В. Т., Чернышев М. В.** Прогнозирование масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях на химически опасных объектах // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2009. — № 3 (11). — С. 50—61.
4. **ASTM D4929—07.** Национальный стандарт США. Стандартные методы испытаний для определения содержания органического хлора в сырой нефти // Annual Book of ASTM Standards. — 2008. — V. 5. — 8 p.
5. **Гумерский Х. Х., Мамедов Ю. Б.** Российская нефтяная промышленность на пороге нового века: оценки прошлого, настоящего, будущего // Нефтяное хозяйство. — 2000. — № 7. — С. 22—26.
6. **Газизов А. Ш., Лебедев Н. А.** Исследование механизма воздействия физико-химических методов повышения нефтеотдачи на нефтеводонасыщенный коллектор // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. — 2000. — № 11. — С. 16—19.
7. **Негреев В. Ф.** Коррозия оборудования нефтяных промыслов. — Баку, Азнефтеиздат, 1969. — 180 с.
8. **Рачев Х., Стефанова С.** Справочник по коррозии. Пер. с болг. — М.: Мир, 1982. — 520 с.
9. **Ивахнюк С. Г., Митюхина А. Д.** Определение коррозионно-активных элементов в нефти методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой // Проблемы обеспечения взрывобезопасности и противодействия терроризму: Труды Восьмой Всероссийской научно-технической конференции. — СПб.: Любавич, 2013. — С. 180—184.
10. **Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК.** Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях. Пер. с англ. — СПб., 2002. — 43 с.
11. **Гринин А. С., Новиков В. Н.** Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях: Учебное пособие. — М.: ФАИР — ПРЕСС, 2002. — 336 с.
12. **Рязанов Я. А.** Энциклопедия по буровым растворам. — Оренбург: Летопись, 2005. — 664 с.



**S. G. Ivakhnyuk**, Deputy Head of Department, sgi78@mail.ru, Forensic Science Centre Headquarters Ministry of Internal Affairs of Russian Federation (St. Petersburg and Leningradskaya distr.), Associate Professor, St. Petersburg State Polytechnical University, **A. D. Mityukhina**, expert, Forensic Science Centre Headquarters Ministry of Internal Affairs of Russian Federation (St. Petersburg and Leningradskaya distr.), **O. U. Begak**, Professor, Chief Researcher, The All-Russian Research Institute of Metrology of D. I. Mendeleev

## Approbation of a New Technique Determining the Content of Corrosion-Active Elements in Oil and Oil Products

*Metal corrosion leads to the destruction of pipelines and equipment, fistula formation and occurrence of leakage of oil and oil products, often accompanied by explosions and fires. Internal corrosion rates determined corrosion danger pumped and processed oil and oil products derived from it, which is closely linked to the presence of corrosion-active contaminants, including halogens. The authors considered questions of their identification and definition, as well as further use of the obtained data for monitoring and forecasting of emergency situations.*

**Keywords:** chemical pollutions, determination of halogen, corrosion-active impurity, method ICP-MS, corrosion, emergency situations

### References

1. **Sedyh A. D.** Poteri gaza na ob#ektah magistral'nogo transporta. M.: IRC Gazprom, 1993. 48 p.
2. **Abrosimov A. A.** Jekologija pererabotki uglevodorodnyh sistem. M.: Himija, 2002. 608 p.
3. **Vas'kov V. T., Chernyшов M. V.** Prognozirovanie masshtabov zarazhenija sil'nodejstvujushhimi jadovitymi veshhestvami pri avarijah na himicheski opasnyh ob#ektah. *Problemy upravlenija riskami v tehnosfere*. 2009. N. 3 (11). P. 50—61.
4. **ASTM D4929—07.** Nacional'nyj standart SShA. Standartnye metody ispytanj dlja opredelenija sodержanija organicheskogo hloriga v syroj nefi. *Annual Book of ASTM Standards*. 2008. V. 5. 8 p.
5. **Gumerskij H. H., Mamedov Ju. B.** Rossijskaja nefljanaja promyshlennost' na poroge novogo veka: ocenki proshlogo, nastojashhego, budushhego. *Nefljanoe hozjajstvo*. 2000. N. 7. P. 22—26.
6. **Gazizov A. Sh., Lebedev N. A.** Issledovanie mehanizma vozdejstvija fiziko-himicheskikh metodov povyshenija nefteotdachi na neftevodonasyshhenyj kollektor. *Razrabotka i jekspluatacija nefljanyh mestorozhdenij*. 2000. N. 11. P. 16—19.
7. **Negreev V. F.** Korrozija oborudovanija nefljanyh promyslov. Baku, Aznefteizdat, 1969. 180 p.
8. **Rachev H., Stefanova S.** Spravochnik po korrozii. Per. s bolg. M.: Mir, 1982. 520 p.
9. **Ivahnjuk S. G., Mitjuhina A. D.** Opredelenie korozionnoaktivnyh jelementov v nefi metodom mass-spektrometrii s induktivno-svjazannoj plazmoj. *Problemy obespechenija vzryvobezopasnosti i protivodejstvija terrorizmu: Trudy Vos'moj Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoi konferencii*. SPb.: Liubavich, 2013. P. 180—184.
10. **Rukovodstvo EVRAHIM/SITAK.** Kolichestvennoe opisanie neopredelennosti v analiticheskikh izmerenijah. Per. s angl. SPb., 2002. 43 p.
11. **Grinin A. S., Novikov V. N.** Jekologicheskaja bezopasnost'. Zashhita territorii i naselenija pri chrezvychajnyh situacijah: Uchebnoe posobie. M.: FAIR — PRESS, 2002. 336 p.
12. **Rjazanov Ja. A.** Jenciklopedija po burovym rastvoram. Orenburg: Letopis', 2005. 664 p.

УДК 614.841.4: 629.562

**В. А. Подобед**, д-р техн. наук, доц., проф. кафедры, e-mail: v.a.podobed@mail.ru,  
**Н. Е. Подобед**, канд. техн. наук, доц., Мурманский государственный технический университет,  
**А. А. Панкратов**, зам. начальника Управления надзорной деятельности ГУ МЧС России по Мурманской области, Главное управление МЧС России по Мурманской области, соискатель

## Риски пожаров на рыболовных судах Северного бассейна

*Рассмотрены условия, причины и риски пожаров на рыболовных судах Северного бассейна за 1979—2007 гг. Приведены гистограммы распределения количества пожаров по годам, по месяцам в течение года; по месту нахождения судов в море, порту и на судоремонтном предприятии; по месту возникновения пожаров на судах, а также гистограммы распределения причин пожаров на судах, включая причины возникновения пожаров при эксплуатации электрооборудования.*

**Ключевые слова:** рыболовное судно, пожар, причины пожаров, риски, гистограммы, статистический анализ

### Введение

Пожары на рыболовных судах приносят большие материальные убытки и человеческие жертвы судовладельцам и компаниям. Ежегодно в море гибнет от пожаров по различным причинам в среднем около 20 % общего количества судов. Обилие воды за бортом не является гарантией того, что с огнем можно легко справиться, в особенности, если он охватил горючие материалы и груз или запасы топлива. Кроме того, специфика морских условий такова, что в большинстве случаев экипаж при возникновении пожара может рассчитывать только на себя. Независимо от того, что суда оснащены современными средствами обнаружения, предупреждения и тушения пожаров риски пожаров на рыболовных судах на несколько порядков выше допустимых, установленных нормативными документами. Практически все причины пожаров обусловлены человеческим фактором, а именно нарушением правил пожарной безопасности при выполнении огневых и других работ, а также нарушением пожарно-профилактического режима.

Анализ пожаров на рыболовных судах Северного бассейна проводился на основании статистических данных, представленных пожарно-технической инспекцией Мурманского морского рыбного порта и службой капитана Мурманского морского торгового порта за 1979—2007 гг.

### Условия возникновения пожаров

Пожар характеризуется образованием опасных факторов [1], воздействие которых приводит к травмам, отравлению или гибели человека, а также к материальному ущербу. К опасным факторам

пожара относят: открытый огонь и искры, повышенная температура воздуха и частей конструкций судна, токсичные продукты горения, дым, пониженная концентрация кислорода, обрушение судовых конструкций и взрыв.

Открытый огонь и искры являются сильным поражающим фактором для членов экипажа. При высокой температуре создаются условия для получения ожогов. Токсичные продукты горения (ядовитые газы и пары) могут создать в судовом помещении в течение 20...60 с опасные для жизни организма концентрации, которые приводят к гибели человека. При горении полимерных материалов, которые широко используются при современной отделке помещений, образуются сильно действующие токсические вещества. В связи с этим в последнее время резко возросло число пострадавших при пожарах со смертельным исходом. Дым, помимо отравляющего воздействия, сильно снижает видимость, что приводит к снижению эффективности разведки и тушения пожаров, осуществляемого специальными аварийными партиями. Пониженная концентрация кислорода в зоне пожара приводит к удушью, человек не может самостоятельно выбраться из помещения наружу, вследствие чего погибает.

Как показывает практика, температура развивающегося судового пожара достигает 1200 °С и более. При этом горючие конструкции и оборудование, нагреваясь, разрушаются полностью, а металлические конструкции теряют механическую прочность и под действием нагрузок от собственного веса разрушаются. Остаточная прочность металлических конструкций составляет около 10 % первоначальной.

Большую опасность представляют баллоны с горючими газами и помещения, где могут образо-



### Типичные условия возникновения пожаров на рыболовных судах

Жилые, служебные и вспомогательные помещения	Машинно-котельные отделения	Грузовые и кладовые помещения
<b>Горючее вещество</b>		
1. Предметы быта: одежда, книги, бумага, мебель, постельные принадлежности, личные вещи, теле-, радиоаппаратура 2. ЛВЖ (ацетон, бензин, спирт, одеколон) 3. Отделочные (декоративные) и тепло- и звукоизоляционные материалы переборок, палуб; краска 4. Изоляционные материалы радио-, электрооборудования	1. Топливо, масло и их пары 2. ЛВЖ, горючие жидкости и газы 3. Промасленная ветошь, пакля, пыль, мусор 4. Смолистые отложения в газовыпускных трубопроводах, вентиляционных каналах и на кабельных трассах 5. Изоляционные материалы электрооборудования, лаки, краска	1. Опасные грузы, в том числе рыбная мука, гофротара 2. Судовое снабжение 3. Зашивка и изоляция
<b>Источник зажигания</b>		
1. Горящие окурки, спички 2. Бытовые нагревательные приборы 3. Светильники 4. Искры при производстве огневых работ 5. Электрическая дуга при коротком замыкании в теле-, радио-, электроприборах, электропроводке 6. Самовозгорание 7. Разряд статического электричества	1. Открытое пламя в топке котла, форсунки, спички, окурки 2. Искры при производстве огневых работ 3. Нагретые части механизмов и электрооборудования, пускорегулирующей аппаратуры 4. Светильник и переносные лампы 5. Электрическая дуга при коротком замыкании в электрооборудовании 6. Электрическое искрение на переходном электрическом сопротивлении 7. Самовозгорание 8. Разряд статического электричества	1. Искры при ударах 2. Искры при производстве огневых работ 3. Искры от источников энергии (ДВС и т.п.) 4. Открытый огонь (пламя спичек, окурки) 5. Самовозгорание 6. Разряд статического электричества 7. Короткое замыкание в электроустановках

вываться взрывоопасные смеси газов, паров легко воспламеняющихся и горючих жидкостей (топливные и грузовые танки, насосные, компрессорные, аммиачные рефрижераторные отделения, аккумуляторные помещения, топки котлов, машинно-котельные помещения (МКО) и другие). Взрывы обладают большой разрушительной силой, способной вывести из строя оборудование, системы пожаротушения, нарушить управляемость судна и привести к травмам и человеческим жертвам.

По своей природе взрывы могут быть химическими и физическими. Химические взрывы характеризуются изменением состава веществ, причем агрегатное состояние веществ может не изменяться. Такие взрывы возможны при воспламенении паро- и газоздушных горючих смесей в топливных и грузовых танках, аккумуляторных помещениях, насосных, компрессорных и аммиачных рефрижераторных отделениях, пылевоздушных смесей и взрывчатых веществ. При физических взрывах изменения состава веществ не происходит, изменяется лишь их агрегатное состояние. Например, при взрывах паровых котлов, баллонов со сжиженными газами, находящимися под давлением, происходит переход жидкости в парообразное или газообразное состояние, но состав вещества не меняется.

В таблице приведены типичные условия, при которых возникают пожары на рыболовных судах (горючее вещество + источник зажигания + окислитель (воздух)).

### Результаты статистического анализа пожаров

В 1980-е годы общее число промысловых судов на Северном бассейне составляло свыше 1500 единиц. К началу 1990-х годов количество судов уменьшилось почти вдвое. А за время перестройки количество промысловых судов еще раз уменьшилось вдвое и сейчас их число составляет немногим больше 300 единиц. Причем полностью исчезли плавбазы, практически не осталось больших судов.

На рис. 1 приведена гистограмма распределения числа пожаров на рыбопромысловых судах на Северном бассейне по годам (1979—2007 гг.).

На рис. 2 приведен график распределения пожаров по месяцам в течение года. В зимний период года ежемесячное число пожаров практически одинаково и составляет примерно 8 % от общего числа пожаров за год. В летнее время число пожаров значительно меньше и составляет около 6 %. В переходные месяцы между сезонами (май, ноябрь) их число составляет 11...13 %. Снижение пожаров в летнее время объясняется уменьшением использования нагревательных элементов (обогревателей и т. п.) и уменьшением количества ремонтных работ, а в переходный период, наоборот, увеличением их использования и форсированием подготовки судов для промысла.

На рис. 3 приведена гистограмма распределения пожаров по месту нахождения судов:

- 1 — судоремонтные предприятия, плавучие мастерские;
- 2 — порт, плавучие причалы;
- 3 — море, рейд.

Почти около половины всех пожаров (42 %) происходит на судах, стоящих на судоремонтных пред-

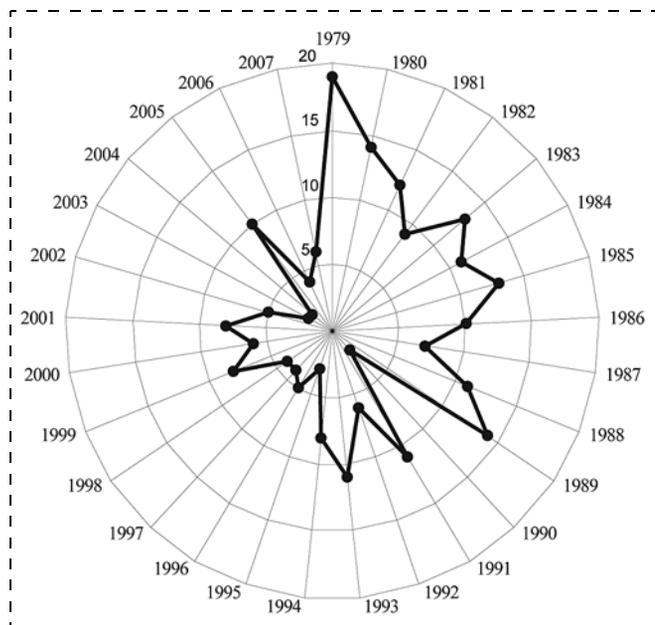


Рис. 1. Гистограмма распределения числа пожаров на рыбопромысловых судах на Северном бассейне по годам

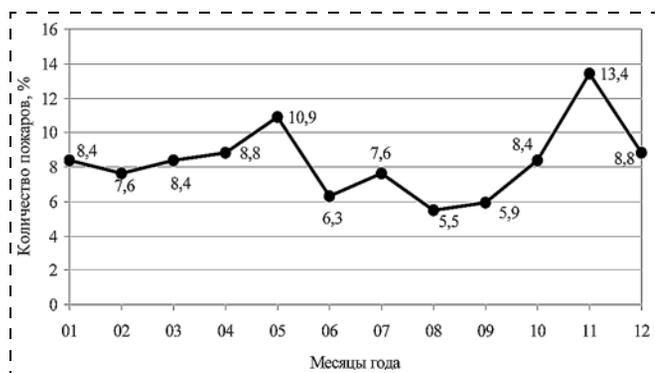


Рис. 2. Гистограмма распределения пожаров по месяцам в течение года

приятных и в плавамастерских. При этом основной причиной пожаров является нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ. В целом 75 % всех пожаров происходит при стоянке судов в порту и на судоремонтных предприятиях.

Существуют объективные причины увеличения числа пожаров, связанных с конструктивными недостатками противопожарной защиты машин, механизмов и оборудования, но есть и субъективные причины — это расслабление или "расхолаживание" экипажа при соблюдении требований пожарной безопасности в условиях берега.

На рис. 4 приведена гистограмма распределения пожаров по месту их возникновения на судах:

1 — жилые, служебные и другие вспомогательные помещения (кладовые, бани);

2 — машинно-котельное отделение, помещения для вспомогательных механизмов, мастерские;

3 — трюмы, рыбомучное отделение, рефотделение, рыбофабрика;

4 — палуба.

Примерно одинаковое количество пожаров возникает в жилых, служебных и других вспомогательных помещениях — кладовых, банях (38 %) и в машинно-котельных отделениях, помещениях для вспомогательных механизмов, мастерских (37 %).

Для первой группы помещений основными причинами пожаров являются нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ и неосторожное обращение с огнем, курение, работа нагревательных приборов без надзора.

Для второй группы помещений основными причинами пожаров являются нарушение правил пожарной безопасности при проведении огневых работ и воспламенение горючих жидкостей при попадании на раскаленные поверхности выхлопных коллекторов и нагретые части механизмов и элементов электрических машин.

Около половины (19 %) от указанных выше групп пожаров происходит в трюмах, рыбомучных отделениях, рефотделениях и рыбофабриках. Наряду с основной причиной возникновения пожаров в этих помещениях — нарушение требований пожарной безопасности при проведении огневых работ, причиной пожаров является самовозгора-

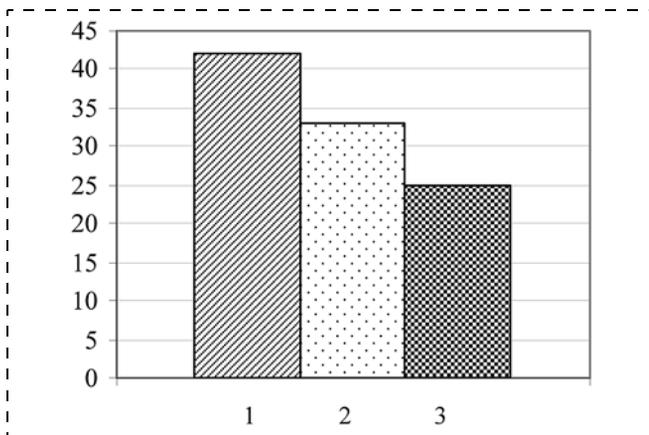


Рис. 3. Гистограмма распределения пожаров по месту нахождения судна в процентах

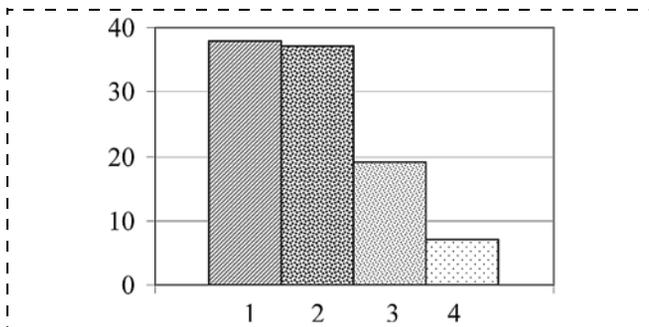


Рис. 4. Гистограмма распределения пожаров по месту их возникновения на судне в процентах

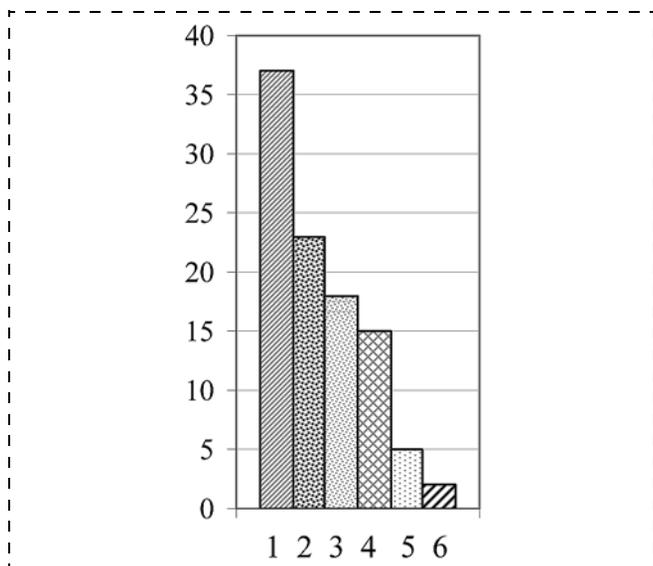


Рис. 5. Гистограмма распределения причин возникновения пожаров на судах в процентах

ние рыбной муки. Пожары на палубах связаны с нарушением требований пожарной безопасности при проведении электрогазосварочных работ.

На рис. 5 приведена гистограмма распределения причин возникновения пожаров на судах:

1 — нарушение правил ведения огневых работ;  
2 — неосторожное обращение с огнем, курение, работа нагревательных приборов без надзора;

3 — нарушение правил технической эксплуатации электрооборудования, неисправность электробытовых приборов и электропроводки, короткие замыкания;

4 — нарушение правил технической эксплуатации котельных установок, попадание горючесмазочных материалов на газовыхлопные коллекторы и другие горячие поверхности механизмов и электрооборудования, возгорания в выхлопных трактах и фальштрубах;

5 — нарушение правил складирования и хранения пожароопасных и горючих грузов и материалов, самовозгорание рыбной муки;

6 — воспламенение горючих газов и паров легковоспламеняющихся жидкостей.

Как видно из рис. 5, основной причиной пожаров на судах является несоблюдение требований пожарной безопасности при производстве огневых работ (37%). На втором месте неосторожное обращение с огнем, курение в неустановленных местах, работа нагревательных приборов без надзора (23%). На третьем месте нарушение правил эксплуатации электрооборудования (18%) и на четвертом — попадание горюче-смазочных материалов на раскаленные газовыхлопные коллекторы и другие горячие поверхности механизмов и электрооборудования, возгорание в выхлопных трактах и фальштрубах (15%). Причи-

нами пожаров в меньшей степени являются также неправильное складирование и хранение пожароопасных и горючих грузов и материалов, самовозгорание рыбной муки. Бывают случаи воспламенения паров горючих жидкостей в машинно-котельных помещениях при производстве электросварочных работ и горючих газов в аммиачных рефотделениях и аккумуляторных помещениях.

Из гистограммы, приведенной на рис. 6, видно, что свыше 30% всех пожаров на судах произошли в электроустановках:

1 — неисправность бытовых приборов (телевизоры, грелки, светильники и т. п.);

2 — короткие замыкания в электрооборудовании;

3 — короткие замыкания в кабельных трассах и электропроводке;

4 — пожары в электрических машинах и средствах управления (короткие замыкания, отказы автоматики, мойка с использованием ЛВЖ и т. п.);

5 — взрывы в аккумуляторных помещениях.

Первое место занимают причины возникновения пожаров из-за бытовых приборов (неисправность, отсутствие надзора за нагревательными приборами и т. п.). Далее идут короткие замыкания в электрооборудовании (кабельные трассы, электропроводка, электрические машины и т. п.). Причиной пожаров также является использование легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ) для мойки электрических машин. Имели место взрывы в аккумуляторных помещениях (два случая) с большими материальными убытками.

## Выводы

1. Сравнительный анализ статистических данных пожаров на рыбопромысловых судах Северного бассейна за 1979—2007 гг. показал, что пожары возникают независимо от местонахождения судна во все времена года, а также практически во всех помещениях судна, где есть горючие материалы и источник зажигания.

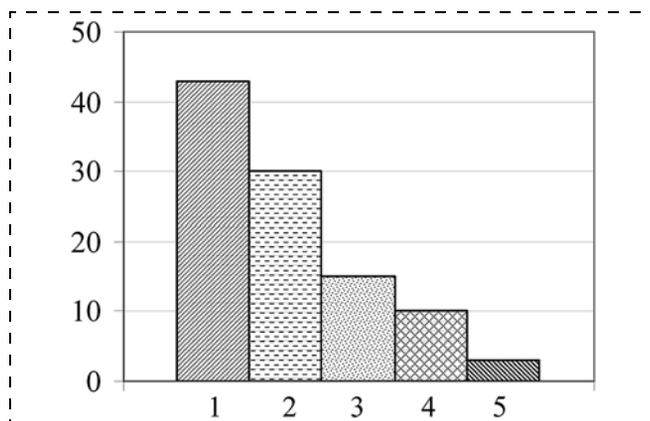


Рис. 6. Гистограмма распределения причин возникновения пожаров в электроустановках в процентах

2. Риск пожара в год на судах составляет около  $10^{-2}$ . Большая часть пожаров происходит в переходный период на стоянке судов в портах и на судоремонтных предприятиях. Основными местами пожаров являются машинно-котельные отделения, а также жилые, служебные и другие вспомогательные помещения.

3. Основными причинами пожаров на судах является нарушение требований пожарной безопасности при производстве огневых работ, неосторожное обращение с огнем, нарушение правил эксплуатации электрооборудования, топливной аппаратуры ДВС и котельных установок, а также нарушение правил складирования и хранения пожароопасных и горючих грузов и материалов, самовозгорание рыбной муки, нарушение требований безопасности в аккумуляторных помещениях.

4. Установлено, что причинами пожара являются как конструктивные недостатки противопожарной защиты машин, механизмов и оборудования, так и субъективные факторы — лица, ответственные за проти-

вожарное состояние помещений, оборудования, производство работ, складирование и хранение грузов.

5. Полученные результаты анализа пожаров на рыболовных судах Северного бассейна могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации рыбопромысловых судов для снижения рисков пожаров и соответственно убытков от них.

#### Список литературы

1. ГОСТ 12.1.004—91. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. — М., Госстандарт, 1996. — 104 с.
2. Подобед В. А., Подобед Н. Е. Пожарная безопасность на рыболовных судах: учебн. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2009. — 112 с.
3. Подобед В. А., Панкратов А. А. Анализ пожаров на судах рыбопромыслового флота Северного бассейна // Вестник МГТУ. — 2011. — Т. 14, № 4. — С. 706—711.
4. Подобед В. А., Панкратов А. А. Статистический анализ пожаров на рыболовных судах Северного бассейна. Конференция по строительной механике корабля памяти академика Ю. А. Шиманского. Тезисы докладов. СПб: ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, 2011. — С. 54—55.

V. A. Podobed, Associate Professor, Professor of Chair, e-mail: v.a.podobed@mail.ru,  
N. E. Podobed, Associate Professor, Murmansk State Technical University,  
A. A. Pankratov, Deputy Head of the Supervisory Activities of the MES of Russia in the Murmansk region, the Department of Emergency of Russia Murmansk region, the applicant

## The Risks of Fires at the Fishing Vessels of the Northern Fleet

*It was determined that fires occurred regardless of vessels position and during all seasons, as well as in almost all areas of the ship where combustible materials and ignition sources were located. A risk of fire on a ship is about  $10^{-2}$  per year. Most of the fires occur during the winter while the ships stay in ports and shipyards.*

*The main causes of fires on ships are violation of safety procedures during hot works, equipment operation, as well as wrong housekeeping and storage of flammable and combustible materials and cargoes.*

*The causes of fire are both design deficiencies of fire protection systems and "human factor".*

*The results determined can be used in the design, construction and operation of fishing vessels to reduce the risk of fires and minimize the losses.*

**Keywords:** fishing vessel, fire, the reasons of fires, risks, histograms, statistical analysis

#### References

1. ГОСТ 12.1.004—91 ССБТ. Fire safety. General requirements. M., State Standard, 1996, 104 p.
2. Podobed, V. A., Podobed N. E. Fire safety on fishing vessels: Training Textbook 2nd ed., revised and enlarged. Murmansk: MSTU, 2009. 112 p.

3. Podobed V. A., Pankratov A. A. Analysis of fires on vessels fishing fleet of the Northern Basin. *Vestnik MSTU*. 2011. V. 14. N. 4. P. 706—711.
4. Podobed V. A., Pankratov A. A. Statistical analysis of fires on fishing vessels of the Northern Basin. Conference on Structural Mechanics in memory of Academician Y. A. Shymanskiy. Abstracts. St. Petersburg: CSI of Academician A. N. Krylov, 2011. P. 54—55.

УДК 574.58:504.5(282.256.176)

**В. Д. Богданов**, чл.-корр. РАН, д-р биол. наук, проф., e-mail: bogdanov@ipae.uran.ru,  
**И. П. Мельниченко**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН, Екатеринбург

## Влияние разработки россыпных месторождений золота на воспроизводство сиговых рыб на Приполярном Урале

*Представлены результаты многолетних исследований воздействия разработок россыпных месторождений золота на воспроизводство сиговых рыб в реке Манье (Приполярный Урал). В реке размножаются пять видов сиговых рыб Обского бассейна. Состояние производителей и их распределение по нерестилищам определяется причинами, не связанными с последствиями горных работ, влияющими на состояние реки. Показано, что повышенное поступление мелкодисперсных взвесей приводит к нарушению условий инкубации икры ценных промысловых видов сиговых рыб в результате заиления нерестилищ.*

**Ключевые слова:** разработка месторождений, мелкодисперсные взвеси, сиговые рыбы, воспроизводство, инкубация икры

Добыча золота в долине притоков реки Маньи производится гидромеханизированным способом разработки месторождений. При этом уничтожается вся прибрежная растительность и почвенный покров, образуются техногенные отвалы и техногенные водоемы. В связи с тем, что при проведении горных работ наблюдается негативное воздействие на среду, Институт экологии растений и животных УрО РАН проводит мониторинг состояния экосистемы реки Маньи.

При разработке россыпных месторождений золота в бассейнах рек открытым гидромеханизированным способом мутность воды может возрастать в десятки и даже сотни раз [1—3]. Поступление эрозионного материала в реки продолжается и после прекращения разработок. Наиболее интенсивно аккумуляция наносов происходит вблизи полигонов, что приводит к формированию не характерных для горных рек песчаных биотопов. Повышение мутности воды и осаждение песчаных и глинистых фракций на грунтах приводят к глубоким изменениям в структуре донных биоценозов, вплоть до их гибели.

Цель работы — оценить современное состояние воспроизводства сиговых рыб реки Маньи в условиях влияния разработок россыпных месторождений золота.

### Характеристика района исследований

Район исследований расположен в предгорной части восточного склона Приполярного Урала с преобладающими высотами 400...700 м над уровнем моря. Реки территории имеют типичный горный характер, с большим количеством перекаатов, загроможденных крупными валунами.

Горные работы по разработке россыпных месторождений золота проводились в бассейне реки Маньи в долине притоков Няртаю и Яроташор в 1981—1984 гг., 1995—1997 гг. и в 2000—2011 гг.; в долине притока Хобею — с 2007 по 2011 гг. Разработка россыпей производилась бульдозерно-гидравлическим методом со строительством гидроотвалов-отстойников.

Исследованиями предыдущих лет [4—7] установлено, что при разработке россыпей гидравлическим методом основным источником загрязнения рек является сброс дисперсного грунта. Он происходит в результате эрозии промплощадок в процессе вскрытия и промывки золота, фильтрации через дамбы, руслоотводных работах, эрозии отработанных промплощадок или их необвалованных участков. Особенно активная эрозия промплощадок происходит в период дождей, особенно осенних паводков.

Река Манья (приток третьего порядка реки Северная Сосьва — притока Оби) относится к водотокам высшей рыбохозяйственной категории Обского бассейна. В ней находятся нерестилища тугуна и полупроходных сиговых рыб [8—9]. Река Манья берет начало в горах Приполярного Урала и впадает в реку Хулгу справа в 11 км от устья. Площадь водосбора составляет 4060 км<sup>2</sup>, длина водостока 123 км. Ширина реки в верховьях — 50...70 м, в среднем течении — 70... 80 м, в нижнем — 80...100 м; глубина реки — 0,8, 1,6 и 1,2 м соответственно. Часто встречаются ямы глубиной до 7 м и более. Скорость течения изменяется от 1 м/с и более в верховьях, до 0,3...0,4 м/с в низовьях.

Так как основное питание реки осуществляется тальми водами снежников и ледников гор, наблюдается большой перепад температуры воды от истока к

устью. Долина узкая, пойма слабо заболочена. По химическому составу вода реки Маньи и ее притоков слабоминерализованная, мягкая, гидрокарбонатного класса, кальциево-натриевой группы. Кислородный режим благоприятный, многолетние колебания величин кислорода составили 8,6...14,2 мг/л [10]. Содержание взвешенных веществ в воде в летнюю межень не превышает 5 мг/л, что обусловлено особенностями геологического строения региона и низкой русловой эрозией рек [7, 9—10]. В период летней межени минерализация увеличивается при среднегодовых колебаниях суммы ионов 19,5...61,7 мг/л. По существующей классификации активная реакция воды в течение всего периода наблюдения в верховьях реки Маньи и Няртаю слабокислая — нейтральная.

По классификации загрязненности водных объектов по химическим показателям вода в данных водотоках чистая — умеренно-загрязненная. Лимитирующие показатели — содержание взвешенного материала, концентрация аммонийного азота и показатель БПК<sub>5</sub>.

В долинах рек Няртаю и Хобею находятся поверхностные воды, включенные в технологическую цепь и отгороженные дамбами в отстойники, которые периодически промывает паводком.

Водная эрозия техногенных территорий, перемывание донных отложений вызывает изменения в химическом составе воды в результате поступления в нее растворимых солей или явлений частичной адсорбции ионов донными отложениями. Разработка золотоносных песков приводит к увеличению минерализации воды и содержания биогенных элементов.

В результате проведения горных работ в реке Няртаю вынос мелкодисперсных фракций (диаметром <0,01 мм) в нижние участки водотока составлял 723,4 т в год, после вторичной эрозии полигонов — 261 т в год [11]. Гранулометрический состав вскрышных пород содержит 10,5 % частиц диаметром от 0,01 до 0,001 мм. Ниже разработок мутность в разные годы изменялась от 6,0 до 95,6 мг/л, а в период паводка возрастала до 500...800 мг/л [10].

Химические свойства воды в период поступления техногенных взвесей изменяются незначительно. На сливе отстойников в воду рек попадают практически не осаждаемые методом отстаивания фракции взвесей и снижение их концентраций возможно фактически только разбавлением.

Разработка месторождения золота по рекам Няртаю и Хобею привела к изменению состава взвешенных наносов. Доминирующей фракцией в воде притоков становятся глинистые частицы. Максимальные значения содержания взвеси отмечаются ниже промплощадей в период увеличения уровня воды в реке Няртаю от 6 до 27 см.

Процесс активной аккумуляции взвешенного материала происходит в устьевой зоне притоков, на ко-

торых проводятся горные работы. При увеличении скорости потока воды они выносятся в русло реки Маньи. В составе мелкозема донных отложений увеличивается содержание пылевидно-глинистых фракций. Из-за высокого содержания в них органических веществ и соединений железа они ухудшают свойства донных отложений приводят к изменению их окислительно-восстановительных свойств. В период паводка и дождевого паводка донные отложения реки Маньи отмываются от пылевидно-глинистых частиц.

### Материал и методика исследования

Материал собран в период с 1979 по 2011 годы в районах верхнего и среднего течения реки Маньи. Сбор материала для оценки состояния нерестовых стад сиговых рыб осуществлялся в период подъема производителей на нерест. Отлов взрослых рыб проводили ставными сетями и неводом. Биологический анализ выполнен на свежей пойманной рыбе по общепринятым методикам [12]. Возраст рыб определен по чешуе. При сборе материала по дрейфу (пассивному стоку) икры и скату личинок сиговых рыб применяли метод учета стока [13—14].

### Результаты исследований и обсуждение

Ихтиофауна бассейна реки Маньи представлена 21 видом рыб и одним видом круглоротых. В горной части встречаются таймень, хариус, речной голяк, подкаменщик сибирский и голец сибирский. В предгорных районах к ним добавляются сиговые, карповые рыбы, щука, налим, ерш, окунь. Промысловое значение имеют 18 видов, из которых сиговые, таймень и хариус относятся к особо ценным, а карповые, окуневые, щука и налим — к важным промысловым объектам. Большинство из них не живут постоянно в бассейне этой реки, а мигрируют из реки Оби и Северной Сосьвы в определенные периоды жизни. Плотность рыб в реке резко повышается в осенне-зимний период за счет подъема сиговых рыб и налима на нерест и зимовку.

Таймень и нельма относятся к редким видам. Уральские популяции тайменя занесены в Красную книгу РФ [15] и Красную книгу Ханты-Мансийского автономного округа [16].

В реке Манье проходит нерест пяти видов сиговых рыб — пеляди, чира, сига-пыжьяна, тугуна и нельмы. Без учета тугуна — короткоциклового вида, по численности производителей на первом месте стоит пелядь, затем идут чир, сиг-пыжьян и нельма. По сравнению с другими нерестовыми реками (Сыня, Войкар, Сось, Харбей) бассейна Нижней Оби выживание икры сиговых рыб на нерестилищах в реке Манье



Таблица 1

**Роль реки Маньи в воспроизводстве сиговых рыб  
(% от общей численности вылупившихся личинок  
в бассейне реки Северной Сосьвы)**

Год	Пелядь	Чир	Сиг- пыжьян	Тугун
1984*	1,04	17,9	1,8	0,02
1985	0,01	80,1	1,0	0
1986	2,3	19,8	2,5	3,1
1987	21,2	15,2	22,2	2,0
1988	13,0	43,4	Около 100	43,2
1989	32,5	8,8	26,3	16,8
1993	0,7	65,0	1,8	0,7
1997*	6,0	21,0	—	6,7
1998	75,0	16,7	93,3	Около 100
2001*	7,0	5,3	7,0	0,7
2002*	11,8	Около 100	0,8	18,6
2003*	63,8	36,8	—	4,6
2004*	37,4	65,3	8,5	0,9
2005*	0	5,5	4,0	6,5
2006*	5,9	2,1	0,8	1,6
2007*	42,9	Около 100	18,8	9,9
2008*	22,8	1,3	0	0,2
Средняя	19,5	34,4	17,1	18,2

\* Годы разработки россыпных месторождений в бассейне реки Маньи

стабильно высокое (от 60 до 95 %) [17]. Поэтому численность покатных личинок прямо зависит от численности нерестящихся производителей. Величина нерестовых стад обуславливается численностью генераций, участвующих в нересте, условиями нагула и промысловой нагрузкой [18—19]. Многочисленные генерации участвуют в нересте несколько лет и вносят значительный вклад в воспроизводство. На динамику размерно-возрастной и половой структуры нерестящихся производителей проведение горных работ влияния не оказывает.

Основные нерестилища сиговых рыб в реке Манье находятся от устья притоков Народы до притока Кедрасью. Граница верхних нерестилищ проходит в районе устьев рек, в которых ведется разработка месторождений. Ежегодные границы нерестилищ меняются в зависимости от состояния производителей и гидрологических условий и не связаны с проведением горных работ. Роль горных участков нерестилищ в воспроизводстве сиговых рыб повышается в годы, когда происходит хороший нагул рыб в пойме реки Оби, и снижается в маловодные годы [8, 17]. Вклад реки Маньи в воспроизводство пеляди в отдельные годы изменялся от 0,01 до 75 %, в среднем за 17 лет исследований составляя 19,5 % от общей численности личинок, рожденных в бассейне реки Северной Сосьвы. Наиболее

Таблица 2

**Количество мертвой икры и мертвых личинок  
относительно живых личинок пеляди и чира в весеннем дрефте  
и реки Манья, %**

Годы	Пелядь		Чир	
	Мертвая икра	Мертвые личинки	Мертвая икра	Мертвые личинки
1980	0,3	0,6	2,1	1,6
1984	8,6	2,5	24,9	4,2
1985	0,6	0,3	0,8	0,8
1986	0,45	0,5	0,3	0,4
1987	0,1	0,2	3,1	0,6
1988	0,1	0,2	2,8	0,5
1989	1,2	0,8	0,8	0,3
1998	4,7	1,4	38,0	1,6
2001	0,1	0,3	0,3	0,5
2002	0,2	0,3	0,01	0,2
2003	0,65	0,65	0,6	0,6
2004	0,4	0,14	0,3	0,6
2005	0	0	1,3	0
2006	1,3	2,2	0	0
2007	1,4	1,5	0,02	0,9
2008	0,4	1,1	1,2	1,0

существенная роль реки Маньи (более 30 %) отмечена в 1989, 1998, 2003, 2004, 2007 гг. (табл. 1).

Доля чира, рожденного в реке Манье, более значительна, чем пеляди (средняя многолетняя — 34,4 %). Максимальный вклад реки Маньи в воспроизводство сига-пыжьяна отмечен в 1988 (около 100 %) и 1998 гг. (93,3 %). В остальные годы доля личинок сига-пыжьяна не превышала 26,3 %, составляя в среднем 6,4 %. В воспроизводстве тугуна река Манья редко играет существенную роль. За исключением 1988 и 1998 гг. (43,2 и около 100 % соответственно), здесь рождалось в среднем 4,8 % от всех личинок бассейна.

Влияние разработки россыпных месторождений на воспроизводство сиговых рыб проявляется через повышение гибели икры. Взвешенные вещества песчанистой фракции обычно оседают не далее 15-километрового участка ниже устьев водотоков, где проводятся горные работы, что за пределами границ основных нерестилищ.

Установлено, что выживание икры и покатных личинок в реке Манье связано в основном с естественными факторами. Влияние горных работ на выживание икры сиговых рыб за период наблюдений было существенным в 1984 и 1998 гг. (табл. 2). В 2001—2008 гг. технология проведения горных работ и соблюдение требований по защите водных объектов обеспечивали

незначительный вынос взвешенных веществ в реку Манью, поэтому отрицательное влияние на воспроизводство сиговых рыб было минимальным. Количество аномальных вылупившихся личинок за все годы наблюдений не превышало 5 экз. на 1000 особей.

Таким образом, установлено, что проведение горных работ на притоках Няртаю, Хобею и Средний Яроташор и сопутствующее локальное заилиение нерестилищ не препятствует размножению сиговых рыб в реке Манье. Численность появившихся личинок на нерестилищах определяется в основном фондом отложенной икры.

Судя по качественному составу дрефты в районах нерестилищ (доля мертвой икры и мертвых личинок, наличие аномальных покатных личинок) условия для развития икры и вылупления личинок на нерестилищах в реке Манье до 2008 г. сохранялись нормальными. Повышенная смертность икры в 1984 и 1998 гг. связана с авариями на отстойниках.

### Выводы

Проведение горных работ на притоках Няртаю, Хобею и Яроташор и сопутствующее локальное заилиение нерестилищ не препятствует размножению сиговых рыб в реке Манье. Численность вылупившихся личинок на нерестилищах определяется в основном фондом отложенной икры.

Условия для развития икры и вылупления личинок на нерестилищах в реке Манье до 2008 г. сохранялись в большинстве лет нормальными. Аварийные сбросы дисперсного грунта в реку Манью увеличивают донные отложения на нерестилищах и создают неблагоприятные условия для развития и выживания икры сиговых рыб. Смертность икры в этих случаях увеличивается на 4...5 % у пеляди и на 25...30 % у чира.

Роль реки Маньи в воспроизводстве сиговых рыб определяется численностью нерестящихся производителей, которая не зависит от современных масштабов проведения горных работ и связана с общей динамикой нерестовых стад в Обском бассейне.

Рациональное решение экологических проблем, связанных с разработкой месторождений золота, должно заключаться в нормировании допустимых попусков отработанных вод, содержащих взвешенные вещества, в меженный период. В качестве индикаторов загрязнения минеральными взвесями и влекомыми наносами в условиях горных рек можно использовать фактор смертности личинок и икры сиговых рыб.

*Работа выполнена при поддержке Программы Президиума УрО РАН: проект 12-М-23457-2041 и проект 12-П-47-2013.*

### Список литературы

1. Васильева-Кралина И. И., Габьшев В. А., Пшенникова Е. В. и др. Водоросли горных водоемов Верхоянья // Биол. внутренних вод. — 2004. — № 3. — С. 3—15.
2. Степанов Л. Н. Фауна донных беспозвоночных животных реки Хобею (Приполярный Урал) в условиях антропогенного воздействия // Водное хозяйство России. — 2011. — № 6. — С. 51—61.
3. Харитонов В. Г. Диатомовые (Bacillariophyta) техногенных водотоков Колымского нагорья // Бот. журн. — 2001. — Т. 86. — С. 34—41.
4. Накоряков А. В. Площади отработанных месторождений как специфический объект рекультивации // Восстановление техногенных ландшафтов Сибири. — Новосибирск, 1977. — С. 27—42.
5. Накоряков А. В. Почвообразование в техногенных ландшафтах отработанных россыпей Среднего Урала и возможности их рекультивации. — Новосибирск, 1980. — 22 с.
6. Лукьянец А. И., Ужегова И. А., Бердюгин К. И. Естественное зарастание территорий, нарушенных разработкой россыпных месторождений на Приполярном Урале // Устойчивость растительности к антропогенным факторам и биорекультивация в условиях Севера. — Сыктывкар, 1984. — С. 83—86.
7. Воронин Р. Н., Дегтева С. В. и др. Влияние разработки россыпных месторождений Приполярного Урала на природную среду. — Сыктывкар, 1994. — 171 с.
8. Богданов В. Д. Экология молоди и воспроизводство сиговых рыб Нижней Оби: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. — М.: ИЭМЖ, 1997. — 38 с.
9. Богданов В. Д., Добринская Л. А., Лугаськов А. В. и др. Аспекты изучения экосистемы р. Маньи: Препринт. — Свердловск, 1984. — 70 с.
10. Богданов В. Д., Добринская Л. А., Лугаськов А. В. и др. Экологическое изучение экосистемы реки Маньи: Препринт. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. — 66 с.
11. Картавов С. А. Антропогенное нарушение пойменных ландшафтов в результате добычи россыпного золота на Приполярном Урале // Развитие идей академика С. С. Шварца в современной экологии: Мат-лы конф. молодых ученых. — Екатеринбург: Изд-во "Екатеринбург", 1999. — С. 81—82.
12. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. — М.: Пищепромиздат, 1966. — 376 с.
13. Богданов В. Д. Изучение динамики численности и распределения личинок сиговых рыб реки Северной Сосьвы: Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 60 с.
14. Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. — М.: Наука, 1975. — 240 с.
15. Красная книга Российской Федерации (животные). — М.: Изд-ва "АСТ", "Астрель", 2001. — 863 с.
16. Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа (животные). — Екатеринбург: Издательский дом "Пакрус", 2003. — 374 с.
17. Богданов В. Д., Мельниченко И. П. Роль реки Маньи в воспроизводстве запасов сиговых рыб Нижней Оби // Аграрный вестник Урала. — 2010. — № 11-1 (77). — С. 49—52.
18. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. — М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. — 596 с.
19. Богданов В. Д. Современное состояние воспроизводства сиговых рыб Нижней Оби // Рыбоводство и рыбное хозяйство. — 2008. — № 9. — С. 33—37.



V. D. Bogdanov, Professor, e-mail: bogdanov@ipae.uran.ru,  
I. P. Melnichenko, Senior Researcher, Institute of Plant and Animal Ecology of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

## Influence of the Workings of Placer Gold Deposits on Reproduction of the Whitefishes in the Subpolar Urals

*The results of studies on the effects of long-term working of placer gold deposits on the reproduction of whitefish in the Manja river (Subpolar Urals) are presented. Despite holding mining activities in the river multiply five species of whitefishes of the Ob basin. Standing of producers and their distribution on the spawning grounds is defined reasons unrelated to the effects of mining activities affecting the state of the river. It is shown that an increased intake of fine sediment leads to a violation of the conditions of egg incubation valuable species whitefishes as a result of siltation of spawning grounds.*

**Keywords:** mining, fine mist, whitefish, reproduction, incubation of eggs

### References

1. Vasil'eva-Kralina I. I., Gabyshev V. A., Pshennikova E. V. i dr. Vodorosli gornyykh vodoemov Verkhoin'ia. *Biol. vnutrennikh vod.* 2004. N. 3. P. 3—15.
2. Stepanov L. N. Fauna donnykh bespozvonochnykh zhivotnykh reki Khobe-Iu (Pri poliarnyi Ural) v usloviakh antropogennogo vozdeistviia. *Vodnoe khoziaistvo Rossii.* 2011. N. 6. P. 51—61.
3. Kharitonov V. G. Diatomovye (Bacillariophyta) tekhnogennykh vodotokov Kolym'skogo nago'ia. *Bot. zhurn.* 2001. T. 86. P. 34—41.
4. Nakoriakov A. V. Ploshchadi otrabotannykh mestorozhdenii, kak spetsificheskii ob'ekt rekul'tivatsii. *Vosstanovleie tekhnogennykh landshaftov Sibiri.* Novosibirsk, 1977. P. 27—42.
5. Nakoriakov A. V. Pochvoobrazovanie v tekhnogennykh landshaftakh otrabotannykh rossypei Srednego Urala i vozmozhnosti ikh rekul'tivatsii. Novosibirsk, 1980. 22 p.
6. Luk'ianets A. I., Uzhogova I. A., Berdiugin K. I. Estestvennoe zarastanie territorii, narushennykh razrabotkoi rossypanykh mestorozhdenii na Pri poliarnom Urale. *Ustoichivost' rastitel'nosti k antropogennym faktoram i biorekul'tivatsiia v usloviakh Severa.* Syktyvkar, 1984. P. 83—86.
7. Voronin R. N., Degteva S. V. i dr. Vliianie razrabotki rossypanykh mestorozhdenii Pri poliarnogo Urala na prirodniuu sredu. Syktyvkar, 1994. 171 p.
8. Bogdanov V. D. Ekologiya molodi i vosproizvodstvo sigovykh ryb Nizhnei Obi: Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk. IEMZh. M., 1997. 38 p.
9. Bogdanov V. D., Dobrinskaia L. A., Lugas'kov A. V. i dr. Aspekty izucheniia ekosistemy r. Man'i: Preprint. Sverdlovsk, 1984. 70 p.
10. Bogdanov V. D., Dobrinskaia L. A., Lugas'kov A. V. i dr. Ekologicheskoe izuchenie ekosistemy reki Man'i: Preprint. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1982. 66 p.
11. Kartavov S. A. Antropogennoe narushenie poimennykh landshaftov v rezul'tate dobychi rossypanogo zolota na Pri poliarnom Urale. *Razvitiie idei akademika S. S. Shvartsa v soxremennoi ekologii: Mat-ly konf. molodykh uchenykh. Ekaterinburg:* Izd-vo "Ekaterinburg", 1999. P. 81—82.
12. Pravdin I. F. Rukovodstvo po izucheniiu ryb. M.: Pishchepromizdat, 1966. 376 p.
13. Bogdanov V. D. Izuchenie dinamiki chislennosti i raspredeleniia lichinok sigovykh ryb reki Severnoi Sos'vy: Preprint. Sverdlovsk: UNTs AN SSSR, 1987. 60 p.
14. Metodika izucheniia biogeotsenozov vnutrennikh vodoemov. M.: Nauka, 1975. 240 p.
15. Krasnaia kniga Rossiiskoi Federatsii (zhivotnye). M.: Izd-va "AST", "Astrel". 2001. 863 p.
16. Krasnaia kniga Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga (zhivotnye). Ekaterinburg: Izdatel'skii dom "Pakrus", 2003. 374 p.
17. Bogdanov V. D., Mel'nichenko I. P. Rol' reki Man'i v vosproizvodstve zapasov sigovykh ryb Nizhnei Obi. *Agrarnyi vestnik Urala*, 2010. N. 11-1 (77). P. 49—52.
18. Ekologiya ryb Ob'-Irtysk'skogo basseina. M.: T-vo nauchnykh izdaniy KMK. 2006. 596 p.
19. Bogdanov V. D. Sovremennoe sostoianie vosproizvodstva sigovykh ryb Nizhnei Obi. *Rybovodstvo i rybnoe khoziaistvo.* 2008. N. 9. P. 33—37.

УДК 371.2

**В. Н. Нелюбов**, Начальник, ГУ МЧС России по Иркутской области, Иркутск,  
**М. В. Погодаева**, канд. биол. наук, доц. кафедры,  
e-mail: margorog@rambler.ru, Евразийский лингвистический институт Московского  
государственного лингвистического университета, Иркутск,  
**Е. А. Божидомова**, учитель высшей категории СОШ № 39, Ангарск

## Дополнительное образование в области безопасности жизнедеятельности в регионах с высоким природным и техногенным риском

*Предложены направления развития системы дополнительного образования в области безопасности жизнедеятельности, по которой осуществляется подготовка детей и взрослых по программам пожарной безопасности, первой помощи пострадавшим, гражданской обороне, спасательному делу, экологической безопасности, безопасному отдыху и туризму. Рассмотрен опыт осуществляемой в Иркутской области подготовки учащихся в классах пожарно-спасательного профиля, подготовки детей к действиям в чрезвычайных ситуациях общественным движением "Школа безопасности" и модульным центром "Азбука выживания". Обсуждена эффективность различных форм обучения школьников безопасности жизнедеятельности для достижения поставленных целей.*

**Ключевые слова:** региональные риски, образование в области безопасности жизнедеятельности, дополнительное образование, профильное обучение, "школа безопасности", культура безопасности

В регионах, где риск природных и техногенных чрезвычайных ситуаций достаточно высок, а Иркутская область\* относится именно к таким регионам, особое внимание должно уделяться подготовке учащихся к действиям в чрезвычайных ситуациях. Такая подготовка должна осуществляться на всех уровнях образовательной системы, но в настоящий момент дополнительное образование имеет наиболее широкие возможности для углубления и расширения компетенций в области безопасности.

На современном этапе развития общества система дополнительного образования для детей и

\* Иркутская область относится к регионам с высоким риском природных и техногенных катастроф. Техногенные риски связаны с эксплуатацией расположенных на территории области многочисленных химически опасных, радиационно опасных, биологически опасных объектов; гидротехнических сооружений. В области имеется 46 пожаро- и взрывоопасных объектов. Наиболее часто аварии с взрывами и пожарами происходят на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей промышленности. Высокие природные риски на территории области связаны с опасностью землетрясений в южных районах. В ближайшие 50 лет, согласно установленному графику повторяемости, в регионе ожидается примерно 23 значительных землетрясения. Ежегодно повторяются весенние паводки. При вскрытии рек происходят мощные заторы льда. Для некоторых районов характерны сели, снежные лавины, сильные морозы зимой и аномальная жара летом. Вся территория области в период с апреля по октябрь подвержена лесным пожарам.

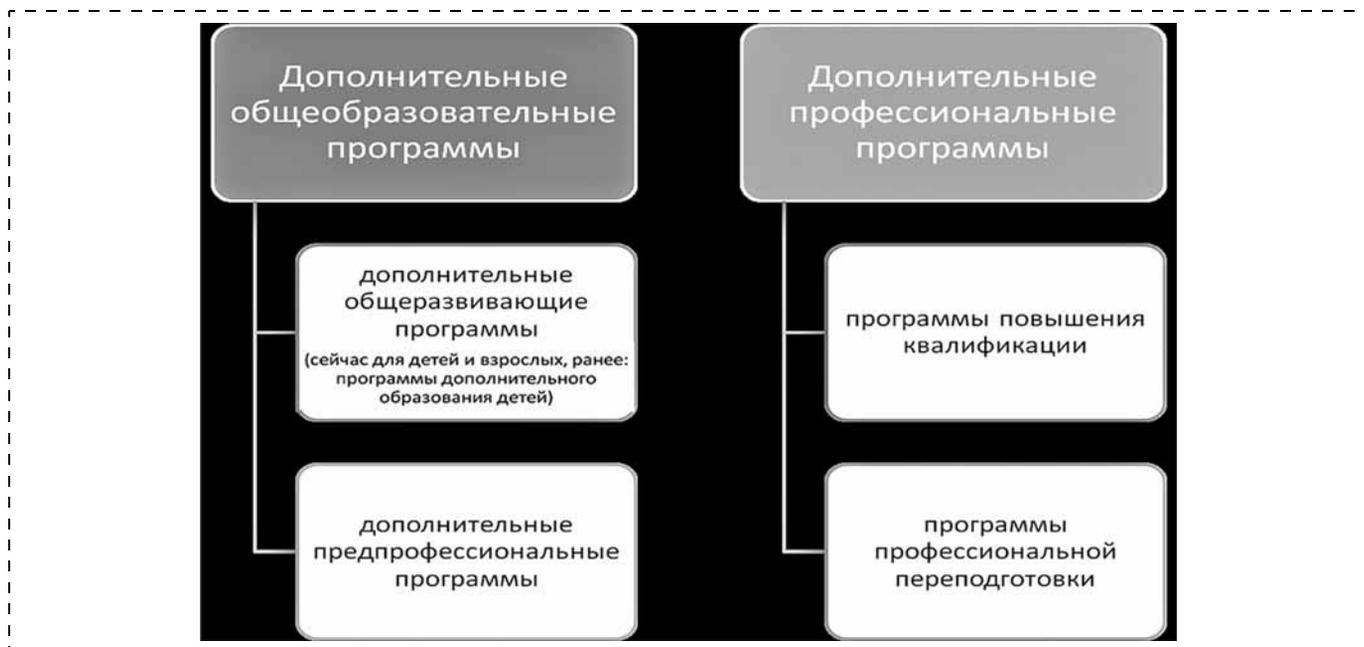
взрослых приобретает все большее значение в развитии всесторонне развитой личности, при подготовке квалифицированных кадров, в приобретении практических навыков социализации. Дополнительное образование — вид образования, которое направлено на всестороннее удовлетворение образовательных потребностей человека в интеллектуальном, духовно-нравственном, физическом и (или) профессиональном совершенствовании.

Сегодня ученые и практики могут дополнять данное определение с учетом специфики деятельности учреждения, образовательной программы и т. д., но определение, изложенное в Федеральном законе, является основополагающим [1]. В соответствии с Федеральным законом "Об образовании в Российской Федерации" к дополнительным образовательным программам относятся образовательные программы различной направленности, реализуемые:

— в общеобразовательных учреждениях и образовательных учреждениях профессионального образования, за пределами определяющих их статус основных образовательных программ;

— в образовательных учреждениях дополнительного образования [2].

Дополнительные общеобразовательные и профессиональные программы реализуются как для



**Дополнительные образовательные программы**

детей, так и для взрослых и могут быть как общеразвивающими, так и профессионально направленными (см. рисунок).

Пункт 5 статьи 14 закона об образовании [2] устанавливает, что содержание дополнительных образовательных программ в конкретном образовательном учреждении определяется образовательной программой, разрабатываемой, принимаемой и реализуемой этим образовательным учреждением самостоятельно.

Целями и задачами дополнительных образовательных программ в первую очередь является обеспечение обучения, воспитания, развития детей. В связи с этим содержание дополнительных образовательных программ должно соответствовать:

- достижениям мировой культуры, российским традициям, культурно-национальным особенностям регионов;

- соответствующему уровню образования (дошкольному, начальному общему, основному общему, среднему (полному) общему образованию);

- направленностям дополнительных образовательных программ (научно-технической, спортивно-технической, художественной, физкультурно-спортивной, туристско-краеведческой, эколого-биологической, военно-патриотической, социально-педагогической, социально-экономической, естественно-научной);

- современным образовательным технологиям, отраженным в принципах обучения (индивидуальности, доступности, преемственности, резуль-

тативности); формах и методах обучения (активных методах дистанционного обучения, дифференцированного обучения, занятиях, конкурсах, соревнованиях, экскурсиях, походах и т. д.); методах контроля и управления образовательным процессом (анализе результатов деятельности детей); средствах обучения (перечне необходимого оборудования, инструментов и материалов в расчете на каждого обучающегося в образовательном учреждении).

Таким образом, дополнительное образование детей выступает как социальное обязательство государства: государство берет на себя дополнительные обязательства в создании условий для развития личности ребенка; для социального, культурного и профессионального самоопределения, творческой самореализации ребенка, его интеграции в систему мировой и отечественной культуры [3].

Дополнительное образование дает широкие возможности для образования в области безопасности жизнедеятельности, формировании культуры безопасности. Для этого используются дополнительные общеразвивающие программы в области пожарной безопасности, экологии, безопасного отдыха и туризма, безопасности в ЧС и др.

Дополнительные профессиональные программы позволяют повысить квалификацию руководителей и сотрудников в области гражданской обороны, первой доврачебной помощи, пожарной безопасности, спасательных работ, экологической безопасности, охраны труда и др. Ежегодно по этим программам в МЦ ГО и ЧС ГУ МЧС России

по Иркутской области проходят обучение более 3000 специалистов и руководителей организаций и учреждений.

В Иркутской области программы дополнительно образования в области обеспечения безопасности жизнедеятельности в настоящее время реализуются в 23 общеобразовательных учреждениях. В трех общеобразовательных учреждениях (школа № 39 г. Ангарска, школа № 10 г. Иркутска и школе № 5 г. Усолье-Сибирское) функционируют классы пожарно-спасательного профиля (классы МЧС). Идея их создания находит свое начало в "Дружинах юных пожарных" или как их тогда называли ЮДП, которые были очень популярны в 70—80 годы XX века.

В школе № 39 г. Ангарска классы пожарно-спасательного профиля существуют с 2004 г. Цель создания пожарно-спасательного профиля — формирование личности безопасного типа, создание условий для осознанного профессионального выбора выпускников, популяризация профессии пожарный-спасатель, инспектор государственного пожарного надзора. Реализуется программа дополнительного профессионального обучения по учебному плану, в который включены следующие специальные дисциплины: "Пожарное дело", "Первоначальная подготовка спасателей", "ОБЖ и начальная медицинская подготовка", "Пожарно-прикладной спорт", "Строевая подготовка". Учебные программы реализуются при постоянном взаимодействии с территориальными подразделениями МЧС России по Иркутской области в г. Ангарске, Муниципальной бюджетной службой ГО и ЧС г. Ангарска, Учебным пунктом 3-ОФПС МЧС России по Иркутской области, филиалом "Ангара" ООО "Роснефть-Пожарная безопасность" и Музеем Победы г. Ангарска.

К преподаванию профильных дисциплин привлекаются высококвалифицированные специалисты из числа действующих сотрудников федеральной противопожарной службы МЧС, профессиональные спасатели, работники муниципальных служб. В учебно-воспитательном процессе используются современные подходы к формированию культуры безопасности, которые позволяют повысить эффективность обучения школьников [4].

Особое место в системе подготовки учащихся профильных классов занимают полевые сборы, которые проходят во второй половине сентября и в конце апреля каждого учебного года. Программа сборов предполагает психологические тренинги, коллективные творческие дела, обучение по программе "Школа безопасности" в условиях, максимально приближенных к естественным. Старшеклассники приобретают навыки оказания первой

помощи, использования спасательного оборудования и специального снаряжения, совершенствуют свою физическую форму.

За время функционирования классов в них прошли подготовку 130 человек. Из них шесть выпускников первого набора классов пожарно-спасательного профиля работают в структуре 3-ОФПС МЧС России по Иркутской области, 43 человека поступили в высшие учебные заведения по направлениям обеспечения безопасности.

Учащиеся профильных классов охвачены обширной внеклассной работой, участие в которой способствует формированию гражданской позиции школьника, ставит в условия морального выбора и ответственности. Таким образом, помимо обучения детей основам безопасности жизнедеятельности в ходе учебно-воспитательного процесса происходит формирование качеств личности безопасного типа: ответственности, творческой активности, саморегуляции; проводится планомерная подготовка выпускников общеобразовательной школы, обеспечивающая в будущем пополнение рядов сотрудников МЧС России неслучайными людьми, психологически и профессионально готовыми к выбранному делу.

Новое качество образования предполагает формирование у обучающихся ключевых компетенций, в частности, компетенции в сфере познавательной деятельности, основанных на усвоении способов самостоятельного приобретения профессиональных умений в различных областях знаний, в том числе о действиях в экстремальных ситуациях. Таким образом, был создан межшкольный модульный центр "Азбука выживания", основной идеей которого явилось создание единого образовательного пространства, обеспечивающего самоопределение, самореализацию, развитие потенциальных возможностей и способностей учащихся "группы риска" и детей из малообеспеченных семей в области корректного поведения в ЧС, их дальнейшего профессионального самоопределения.

"Азбука выживания" является новой комплексной моделью обучения несовершеннолетних культуре безопасного поведения, которая представлена следующими направлениями: "Туризм", "Медицина", "Пожарно-спасательное дело", "Пожарно-прикладной спорт". Данная форма работы предполагает участие учителей школ г. Ангарска "СОШ № 39" (направление "Туризм"), "СОШ № 5" (направление "Медицина") и сотрудников ОГПС г. Ангарска и Ангарского района ("Пожарно-спасательное дело", "Пожарно-прикладной спорт"). Новые педагогические технологии, используемые в учебном процессе, позволяют подросткам почув-



ствовать радость преодоления, пробудить чувство собственного достоинства, включиться в активную социальную деятельность [5].

Работа центра "Азбука выживания" направлена на решение следующих задач:

- воспитание у обучающихся мотивации к безопасному поведению;
- воспитание характера, выносливости, гражданской ответственности, активной социальной позиции, чувства патриотизма;
- формирование системы знаний, умений и навыков безопасного поведения;
- формирование коммуникативно-лидерских качеств;
- формирование экологической культуры;
- развитие социальной компетенции, в результате которой обучающиеся должны научиться безопасно организовывать свою жизнь с учетом представления о здоровом образе жизни;
- развитие личностных компетенций, которые помогут сформировать у ребят такие качества, как ответственность, целеустремленность, организованность;
- повышение уровня физической подготовки;
- привитие навыков здорового образа жизни;
- привитие интересов к родному краю.

Участники проекта "Азбука выживания" выступают во Всероссийских соревнованиях "Школа безопасности", Всероссийском турслете, во Всероссийских и областных соревнованиях "Юные туристы-спасатели". С целью развития базовых компетенций в данном направлении были организованы три выездных лагеря, в которых приняло участие более 200 ребят, проведены муниципальные мероприятия: "Пожарным можешь ты не быть...", выступление агитбригады в рамках месячника по пожарной безопасности.

В настоящее время практически во всех регионах России активно работают региональные отделения Всероссийского детско-юношеского общественного движения "Школа безопасности", с созданием в большинстве районов Иркутской области местных отделений движения, на более высокий уровень поднялась работа регионального отделения "Школа безопасности". Такая структура позволила более оперативно обмениваться информацией, проводить соревнования "Школа безопасности" в школах, в районах, на областном уровне и участвовать в межрегиональных и всероссийских соревнованиях. Основная цель этого молодежного патриотического движения — воспитание нового человека, активного гражданина нашей страны, который обладает всеми качествами личности безопасного типа. Это человек, способный смело,

грамотно и уверенно действовать в любых чрезвычайных ситуациях.

Комплексность данной программы делает упор на концентрацию усилий образовательно-воспитательного и тренировочного процессов в четырех основных направлениях.

1. Формирование разносторонне развитой личности.

2. Развитие самостоятельности воспитанников на базе создания благоприятных условий для проявления ими инициативы, развития творческого потенциала, ответственности и самовыражения личности в достижении общественно ценных и лично значимых целей.

3. Морально-волевая подготовка в процессе выполнения должностных функций каждым членом группы, преодоления различных сложностей, возникающих в экстремальных ситуациях.

4. Физическое воспитание и дополнительное образование средствами туризма и краеведения, приобщение к здоровому образу жизни.

После обучения по программе "Школа безопасности" участники движения приобретают знания, умения и навыки:

- в области пешеходного туризма: туристские путешествия, история развития туризма; нормативные документы по туризму; личное и групповое туристское снаряжение; организация туристского быта; привалы и ночлеги; подготовка к походу, обязанности членов туристской группы по должностям; питание в туристском походе; обеспечение безопасности в туристском походе, на тренировочных занятиях; тактика движения и техника преодоления естественных препятствий в походе; техника безопасности при преодолении естественных препятствий; движение в ночное время; топографическая съемка, корректировка карты;
- в области краеведения: туристские возможности родного края; музеи, памятники, достопримечательности родного края; районы края, подверженные наибольшей опасности возникновения чрезвычайных ситуаций природного и экологического характера; общественно полезная работа в путешествии, охрана природы;
- в области ориентирования: топографическая и спортивная карта; работа с компасом; измерение расстояний; способы ориентирования; ориентирование по местным приметам; ориентирование в ночное время; действия в случае потери ориентировки; основы гигиены и первая доврачебная помощь: личная гигиена туриста, профилактика различных заболеваний; походная медицинская аптечка, использование лекарственных растений; основные приемы

оказания первой доврачебной помощи; транспортировка пострадавшего;

- в области основ безопасности жизнедеятельности: экстремальные и чрезвычайные ситуации природного характера и действия в случае их возникновения; психологические основы выживания в природных условиях; психологические факторы, влияющие на безопасность группы в походе; ориентирование и сохранение движения без компаса и карты; изготовление временных укрытий в летний и зимний период; изготовление одежды и снаряжения из подручных средств; организация поисково-спасательных работ силами группы; единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Также обучающиеся проходят лыжную, физическую подготовку и участвуют в соревнованиях по туризму, ориентированию, "Школы безопасности" и лагерях "Юный спасатель".

Таким образом, дополнительное образование в области безопасности жизнедеятельности имеет широкие возможности. Оно позволяет формировать и укреплять традиции безопасной жизни,

взаимопомощи и взаимответственности, готовность к преодолению трудностей, опасных и непредвиденных ситуаций, гуманное взаимодействие с людьми и окружающей природой.

#### Список литературы

1. Березина В. А. Воспитание и дополнительное образование обучающихся в контексте нового Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации" // Внешкольник. — 2013. — № 1.
2. Федеральный закон от 29.12.2012 № 273-ФЗ (ред. от 04.06.2014, с изм. от 04.06.2014) "Об образовании в Российской Федерации".
3. Павлов А. В. Дополнительное образование детей как социальное обязательство государства // Дополнительное образование детей в изменяющемся мире: перспективы развития востребованности, привлекательности, результативности: материалы Международной научно-практической конференции. В 2-х ч. Ч. 1 / Челябинск — Москва / Под ред. А. В. Кислякова, А. В. Шербакова. — Челябинск: ЧИППКРО, 2013. — 340 с.
4. Тараканов А. Ю., Норсеева М. Е. О подходах к формированию культуры безопасности жизнедеятельности // Безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 5. — С. 52—55.
5. Буйлова Л. Н. Современные педагогические технологии в дополнительном образовании детей. — Москва: Центр развития детей, 2002. — 69 с.

V. N. Nelyubov, Head, EMERCOM headquarters on Irkutsk area, Irkutsk,

M. V. Pogodaeva, Associate Professor, Senior Lecturer, e-mail: margopog@rambler.ru, Eurasian Linguistic Institute of Moscow State Linguistic University, Irkutsk

E. A. Bozhidomova, Teacher of Higher Category, Secondary School № 39, Angarsk

## Additional Education in the Field of Life Safety in the Region with High Natural and Anthropogenic Risk

*On the territories with the high natural and anthropogenic risk the special attention should be given to the preparation of the pupils' for the actions in emergency. This preparation is carried out at all levels of educational system, including system of additional education. In Irkutsk area the additional education system carries out preparation of children and adults under programs of fire safety, first aid to sufferers, a civil defence, and life saving affair, ecological safety, safe rest and tourism. The experience of pupils' preparation in classes of a fire-saving profile, preparation of children for actions in extreme situations by social movement "Safety School" and modular centre "ABC survival" is considered. The efficiency of various forms of pupils' training the personal and social safety for achievement of objects in view is discussed.*

**Keywords:** regional risk, education in the field of personal and social safety, security culture, additional education, core training, "Safety School", culture safety

#### References

1. Berезина В. А. Воспитание и дополнительное образование обучающихся в контексте нового Федерального закона "Об образовании в Российской Федерации". *Vneshkol'nik*. 2013. N. 1.
2. Федеральный закон от 29.12.2012 N. 273-FZ "Об образовании в Российской Федерации".
3. Павлов А. В. Дополнительное образование детей как социальное обязательство государства. *Dopolnitel'noe obrazovanie detej v*

*izmenjajushhemsja mire: perspektivy razvitiya vostrebovanosti, privlekatel'nosti, rezul'tativnosti: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskij konferencii*. Cheljabinsk: ChIPPKRO, 2013, 340 p.

4. Tarakanov A. Ju., Norseeva M. E. О подходе к формированию культуры безопасности жизнедеятельности. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*. 2013. N. 5. P. 52—55.
5. Bujlova L. N. Sovremennye pedagogicheskie tehnologii v dopolnitel'nom obrazovanii detej. M., 2002. 69 p.



**25-26 МАРТА 2015 г.**



Ямало-Ненецкий автономный округ

**г. НОВЫЙ УРЕНГОЙ**  
ДЦ "ЯМАЛ", ул. Юбилейная, 5

Межрегиональная специализированная выставка

# **ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ**

Выставка пройдет в рамках  
Новоуренгойского газового форума



**Организатор выставки:**  
Администрация г. Новый Уренгой

**Оператор выставки:**

**СИБЭКСПО SERVICE**

Выставочная компания "СибЭкспоСервис-Н",  
г. Новосибирск

Тел.: (383) 335 63 50 – многоканальный,  
e-mail: ses@avmail.ru, www.ses.net.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, Стромынский пер., 4**

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

**Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru**

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Т. В. Пчелкина*

Сдано в набор 30.10.14. Подписано в печать 16.12.14. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ115.

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

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1. Сайт: [www.aov.ru](http://www.aov.ru)