



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

**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.  
ЦЗЯН МИНЦЮНЬ, д.т.н.,  
проф. (Китай)  
ШВАРЦБУРГ Л. Э., д.т.н., проф.

**8(176)  
2015****СОДЕРЖАНИЕ****ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ**

- Леонтьев Г. В., Малаян К. Р., Русак О. Н., Фаустов С. А. Снижение класса условий труда при использовании средств индивидуальной защиты: обоснованная реальность или миф... 3  
Яговкин Г. Н., Мельникова Д. А. основополагающие принципы обеспечения безопасности человека при построении системы управления профессиональными рисками... 9  
Аполлонский С. М. Роль природных экранов в снижении электромагнитной нагрузки в урбанизированном пространстве... 14  
Оброков А. Ф. Применение методов биологической обратной связи для коррекции стрессовых состояний... 21

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

- Катин В. Д., Вольхин И. В., Березуцкий А. Ю. Способ повышения безопасности работы инъекционных горелок при сжигании нефтезаводских газов переменного состава... 24

**ОТРАСЛЕВАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

- Ульянов В. А. Концепция развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте... 28

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

- Хлюпин А. С. Анализ методов обеспечения безопасности автомобилей при перестроении... 31

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

- Долгова В. О., Кодолов О. М. Роль культурного ландшафта в обеспечении экологического пространства человека... 35  
Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сенник Е. В. Оценка риска подтопления автомобильных тоннелей... 40  
Сорокин А. В., Сотникова Е. В., Графкина М. В., Рухович Д. И., Калинина Н. В. Экологические критерии воздействия автотранспорта на депонирующие среды рекреационных зон... 45  
Беззапонная О. В., Дальков М. П., Спиридонов М. А., Акулов А. Ю. Вторичное загрязнение поверхностных водных объектов соединениями тяжелых металлов... 52  
Кирсанов В. В. Расчет основных параметров биосистемы в условиях биодеструкции токсичных загрязняющих веществ с меняющейся концентрацией в производственных сточных водах... 57  
Мингазетдинов И. Х., Галимова А. Р. Разработка рациональной схемы ионообменного фильтра... 61

**ОБРАЗОВАНИЕ**

- Панкин К. Е., Крылов А. Ф., Кабанов О. В. Разработка учебной программы по дисциплине "Физико-химические основы развития и тушения пожаров"... 64

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.  
SHVARTSBERG L. E.,  
Dr. Sci. (Tech.)

8(176)  
2015

## CONTENTS

### LABOUR PROTECTION AND POPULATION HEALTH

- Leontiev G. V., Malayan K. R., Rusak O. N., Faustov S. A.** Reduction Class of Working Conditions when Using of Personal Protection Equipment: Grounded Reality or Myth . . . . . 3  
**Yagovkin G. N., Melnikova D. A.** The Fundamental Principles of Human Security in the Construction of Professional Risk Management . . . . . 9  
**Apollonskiy S. M.** The Role of Natural Screens to Reduce Electromagnetic Load in an Urban Space . . . . . 14  
**Obrokov A. F.** Application of the Methods of Biofeedback for the Correction of Stress Conditions . . . . . 21

### INDUSTRIAL SAFETY

- Katin V. D., Volhin I. V., Berezutskiy A. Y.** Ways to Improve the Safety of Injection Burner when Burning Refinery Gases Variable Composition . . . . . 24

### BRANCH SAFETY

- Ulyanov V. A.** The Concept of Development of Prospective Directions of Improvement of Technological Safety in Railway Transport . . . . . 28

### ROAD SAFETY

- Hlyupin A. S.** Analysis of Methods to Ensure Vehicle Safety Maneuvering . . . . . 31

### ECOLOGICAL SAFETY

- Dolgoval V. O., Kodolov O. M.** The Role Cultural Landscape in Ensuring Environmental Space Man . . . . . 35  
**Ksenofontov B. S., Taranov R. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Flood Risk Assessment of Automobile Tunnels . . . . . 40  
**Sorokin A. V., Sotnikova E. V., Grafkina M. V., Ryxovich D. I., Kalinina N. V.** Ecological Criteria's for Assessing the Impact of Transport on Depositing Environment Recreational Area . . . . . 45  
**Bezzaponnaia O. V., Dalkov M. P., Spiridonov M. A., Akulov A. U.** Secondary Pollution of Surface Water Bodies by Heavy Metal Compounds . . . . . 52  
**Kirsanov V. V.** The Calculation of the Basic Parameters of the Biosystem in Terms of Biodegradation of Toxic Pollutants with Varying Concentration of Industrial Wastewater . . . . . 57  
**Mingazetdinov I. H., Galimova A. R.** Development of a Rational Scheme of Ion Exchange Filter . . . . . 61

### EDUCATION

- Pankin K. E., Krylov A. F., Kabanov O. V.** The Development of "Physico-Chemical Basis of Fire and Firefighting" Education Program . . . . . 64

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

УДК 613.62

**Г. В. Леонтьев**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, зам. председателя, **К. Р. Малаян**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, проф., **О. Н. Русак**<sup>3</sup>, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, **С. А. Фаустов**<sup>2</sup>, канд. мед. наук, доц., e-mail: faustov-sa@mail.ru

<sup>1</sup> Крымский союз воинов-интернационалистов, Симферополь

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский лесотехнический университет

## Снижение класса условий труда при использовании средств индивидуальной защиты: обоснованная реальность или миф

*Статья содержит критику идеи формального улучшения условий труда при применении средств индивидуальной защиты (СИЗ) и критику методики определения их эффективности, принятой Минтрудом России. Приведены данные по методу разработки программы респираторной защиты — более адекватному и полному документу, позволяющему действительно оценить правильность выбора и применения средств индивидуальной защиты органов дыхания.*

**Ключевые слова:** специальная оценка рабочих мест, средства индивидуальной защиты, снижение класса условий труда, программа респираторной защиты

В журнале "Безопасность жизнедеятельности", № 12 за 2014 год опубликована статья, посвященная критике принятого Закона "О специальной оценке условий труда" [1]. В дополнение к этой статье предлагаем критическое мнение авторов по поводу процедуры снижения класса условий труда при использовании на рабочем месте "эффективных" средств индивидуальной защиты (СИЗ). Принят Приказ Минтруда России от 05.12.2014 № 976н "Об утверждении методики снижения класса (подкласса) условий труда при применении работниками, занятыми на рабочих местах с вредными условиями труда, эффективных средств индивидуальной защиты, прошедших обязательную сертификацию в порядке, установленном соответствующим техническим регламентом" [2]. Эта методика предусматривает, что снижение класса условий труда при применении СИЗ, прошедших обязательную сертификацию в порядке, установленном техническим регламентом Таможенного союза "О безопасности средств индивидуальной защиты" (Р ТС 019/2011), осуществляется в ходе проведения специальной оценки условий труда и состоит из следующих процедур:

— оценка соответствия наименования СИЗ и норм их выдачи, предусмотренным Типовыми нормами;

— оценка наличия документов, подтверждающих соответствие СИЗ требованиям Технического регламента;

— оценка комплектности СИЗ и наличия эксплуатационной документации и маркировки СИЗ, соответствующих требованиям технического регламента;

— оценка эффективности выбора СИЗ;

— оценка эффективности применения СИЗ.

Реализация данных процедур осуществляется экспертом организации, проводящей специальную оценку условий труда, в отношении каждого работника, занятого на рабочем месте.

К сожалению, авторы идеи о снижении класса условий труда, т. е. формального улучшения условий труда при использовании СИЗ, не учли следующие аргументы.

Во-первых, не существует никаких научно обоснованных предпосылок для вывода об улучшении условий труда при применении средств индивидуальной защиты. Это все равно, что считать безногого инвалида вполне здоровым на том основании, что у него есть протез. Все средства индивидуальной защиты в большей или меньшей степени отягощают трудовую деятельность, вызывая дополнительное напряжение функциональных систем организма. Особенно это характерно для средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), обладающих сопротивлением дыханию, снижающих поле зрения, оказывающих влияние на голову массой и давлением лицевой части, а также заставляющих вдыхать очищенный воздух (в случае применения фильтрующего



СИЗОД) с повышенным содержанием в нем диоксида углерода. Применение изолирующих автономных СИЗОД на химически связанном кислороде заставляет пользователя вдыхать воздух повышенной температуры, зачастую весьма длительное время.

Во-вторых, средства индивидуальной защиты органов дыхания, особенно дыхательные аппараты, СИЗ для защиты от шума, вибрации, электромагнитных полей, являясь более или менее сложными техническими устройствами, не могут обеспечить стопроцентную надежность своего функционирования. Всегда есть опасность каких-то неполадок, снижающих защитные свойства или даже сводящих их на нет. Это особенно важно, если учесть, что отраслевые нормы выдачи спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты содержат положение о необходимости использовать некоторые СИЗ "до износа". Это относится к защитным очкам, лицевым щиткам и т. д. Ни в одном документе нет указаний на то, что считать износом: износ можно представить в виде небольшого дефекта, а можно в виде полного разрушения изделия. Совершенно очевидно, что незаметное отверстие в очках, защитном щитке или в маске (полумаске) респиратора делает их непригодным для использования в силу резкого снижения защитных свойств, хотя по методике Минтруда еще вчера они могли быть оценены как "эффективные" СИЗ.

В-третьих, авторы методики не учли, что такие средства индивидуальной защиты, как фильтрующие СИЗОД, в реальных условиях их применения проявляют гораздо более низкие защитные свойства, чем те, которые они показали в стандартных условиях лабораторных испытаний, в том числе для целей сертификации.

В-четвертых, следует помнить, что упомянутая в методике оценка правильности выбора СИЗ зачастую недоступна лицу, не обладающему специальными знаниями в области выбора средств индивидуальной защиты. В отраслевых нормах обеспечения спецодеждой, спецобувью и другими средствами индивидуальной защиты содержатся виды СИЗОД без указания на их марки и защитные свойства. Например, в этих нормах указана необходимость выдачи противогазовых СИЗОД без указания на их марку и степень защиты. Это означает, что формальное следование отраслевым нормам совсем не обязательно приводит к адекватному выбору СИЗОД. На практике очень непросто выбрать СИЗОД с необходимыми защитными свойствами в полном соответствии с имеющейся концентрацией вредных веществ в воздухе рабочей зоны и учетом характера трудовой деятельности.

Рассмотрим более подробно некоторые из приведенных аргументов.

Основным документом, регламентирующим набор средств индивидуальной защиты, являются отраслевые нормы обеспечения работников спецодеждой, спецобувью и другими СИЗ. Эти нормы имеют несколько существенных недостатков, затрудняющих адекватный выбор средств защиты. Первый недостаток: приведение наименований изделий без указания их защитных свойств. Например, наименование "защитный щиток" не содержит указаний на его марку и на то, какими защитными свойствами он должен обладать. Второй недостаток: до сих пор в нормах указывается количество изделий, которые следует выдавать на год. При более щедром снабжении средствами защиты, чем предусматривают нормы, предприятие оплачивает их приобретение из прибыли. Из этого следует, что на многих предприятиях работники не обеспечиваются СИЗ в необходимом количестве, поскольку затруднена их поставка сверх нормы.

Документ об оценке соответствия свидетельствует только об одном: защитные и иные свойства СИЗ укладываются в требования Технического регламента. Использование сертифицированного изделия на практике может сопровождаться проявлением таких свойств, которые невозможно учесть при оценке соответствия. Например, промышленный противогаз с безукоризненными защитными свойствами, имеющий высокое сопротивление воздушному потоку и значительное давление лицевой части на мягкие ткани лица и головы, вызывает негативное отношение пользователя. Отечественные нормативные документы на СИЗОД требуют разработки специальных режимов труда и отдыха, если сопротивление воздушному потоку на вдохе превышает 100 Па. Совершенно очевидно, что предприятие, даже если и захочет выполнить упомянутое требование, будет не в состоянии это сделать без помощи сторонних специалистов.

Научные данные, приведенные в работе [3], свидетельствуют, что реальные защитные свойства противопылевых респираторов, определенные в производственных условиях при высокой концентрации пыли (сотни ПДК), соответствовали номинальной защите только в 2 % случаев. Паро- и газообразные вредные вещества, сорбированные фильтром, при хранении противогаза между рабочими сменами скапливались у его выходного отверстия и попадали во вдыхаемый воздух при использовании изделия в очередную смену [4]. Доказано, что реальные условия эксплуатации респиратора, как правило, сопровождаются изменением его положения

на лице пользователя (сползанием) и приводят к резкому снижению защитных свойств за счет подсоса загрязненного воздуха через полосу обтюрации [5].

Большой проблемой до сих пор остается индикация снижения защитных свойств СИЗОД по мере отработки фильтра. Например, если вредное вещество не имеет вкуса, цвета и запаха, то какой-либо визуальный или иной органолептический признак отработки обычных фильтров применить не удастся. Поэтому всегда остается опасность использования СИЗОД с несоответствующими защитными свойствами. Существующие фильтры с индикацией их отработки за счет изменения цвета сорбента, к сожалению, не могут найти широкого применения из-за очень ограниченной номенклатуры таких сорбентов. Фильтр СИЗОД для защиты от монооксида углерода для оценки сохранения защитных свойств должен подвергаться взвешиванию до начала смены и по ее окончании. Совершенно очевидно, что подобные манипуляции не всегда скрупулезно выполняются.

Негативное влияние средств индивидуальной защиты на пользователя может быть очень выраженным. Например, испытания в лабораторных условиях противогазов с сопротивлением воздушному потоку на входе 274 Па при физической нагрузке вызвало у половины испытуемых такие изменения функционального состояния организма, которые привели к невозможности продолжать эксперимент, т. е. к отказу пользователей от применения противогазов. Их резервы адаптации к физической нагрузке, отягощенной применением противогазов, оказались исчерпанными на четвертом часу работы [6]. Между тем в реальных условиях значительные физические нагрузки весьма характерны для условий загрязнения воздушной среды, особенно в условиях ликвидации аварий и катастроф.

Таким образом, применение СИЗ никак не гарантирует стопроцентную защиту работника, а также оказывает на него негативное воздействие.

С 1 декабря 2013 г. в России действует ГОСТ Р 12.4.279—2012 "ССБТ. СИЗОД. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию" [7]. Похоже, что авторы методики снижения класса условий труда не имеют о нем никакого представления. Между тем этот стандарт предлагает новый подход к организации обеспечения и использования средств индивидуальной защиты органов дыхания. Он содержит рекомендации по разработке на предприятии, где применяются СИЗОД, так называемой программы респираторной защиты (ПРЗ). Под этим подразумевается локальный нормативный акт, регламентирующий

применение средств индивидуальной защиты органов дыхания. Программа респираторной защиты состоит из следующих частей:

- идентификация и оценка вредных и опасных производственных факторов;
- оценка рисков в соответствии с действующими документами по гигиене и охране труда;
- выбор адекватных и применимых СИЗОД;
- обучение пользователей СИЗОД и лиц, имеющих отношение к программе респираторной защиты;
- обслуживание СИЗОД согласно инструкциям изготовителя и действующей нормативной и технической документации;
- ведение документации, отражающей принципы респираторной защиты (порядок разработки и внедрения ПРЗ, оценка рисков, адекватность и применимость СИЗОД, обучение и инструктаж персонала, правила ухода за СИЗОД);
- порядок аудиторской проверки исполнения ПРЗ;
- административное управление выполнением ПРЗ.

Ниже перечислены принципы и цели программы респираторной защиты, которые разрабатывают и документально оформляют лица, ответственные за респираторную защиту:

- принципы и цели ПРЗ направлены на защиту здоровья и жизни работников и адекватны существующим угрозам;
- принципы ПРЗ должны быть понятны всем, на кого она распространяется;
- при необходимости работодатель может привлечь к созданию ПРЗ разработчиков СИЗОД;
- работодатель несет ответственность за правильный выбор, обслуживание и предоставление СИЗОД нуждающимся в них работникам, а также за организацию и руководство обучением правильному применению на рабочих местах в соответствии с инструкцией по их эксплуатации;
- ответственные лица должны иметь документ, подтверждающий, что они обладают соответствующими знаниями, опытом и профессиональной подготовкой для создания и выполнения ПРЗ;
- работодатель должен регулярно или по мере необходимости проверять исполнение ПРЗ и достижение поставленных перед ней целей;
- контроль исполнения ПРЗ осуществляют не реже одного раза в год; ответственное лицо должно разработать график проверки исполнения ПРЗ на всех уровнях организации в пределах ответственности администрации;



- в соответствии с ПРЗ работодатель обязан бесплатно обеспечить персонал СИЗОД, прошедшими в установленном порядке сертификацию;
- пользователи, участвующие в ПРЗ, соблюдают все установленные процедуры и несут ответственность за ее выполнение в пределах своей компетенции;
- пользователи применяют СИЗОД в строгом соответствии с инструкциями изготовителя, включая их проверку перед началом работы;
- пользователи обязаны сообщать руководителю работ обо всех неисправностях и проблемах, с которыми они сталкиваются при ношении или использовании СИЗОД.

Программа респираторной защиты предусматривает, что работодатель организует оценку рисков при наличии опасных веществ в производственной среде или возможном появлении угроз для здоровья и жизни. Для этого учитывается природа вредного или опасного фактора, источники и уровень его воздействия, состояние производственной среды и производственных сооружений, квалификация персонала, наличие и эффективность принятых или планируемых превентивных мер, обеспеченность пользователей СИЗОД, а также возможные последствия при непринятии защитных мер.

Важной особенностью ПРЗ является учет возможного формирования так называемой атмосферы, мгновенно опасной для жизни. При этом работодатель должен включить в ПРЗ мероприятия, предусматривающие использование СИЗОД, обеспечивающих адекватную защиту, например, изолирующих самоспасателей. Результаты оформляют документально и пересматривают через определенные интервалы времени, но не менее одного раза в год, или сразу после изменения технологического процесса или получения свидетельств того, что результаты оценки рисков утратили достоверность.

При планировании использования СИЗОД предусматривается процедура оценки рисков, учитывающая следующие факторы:

- токсичность и возможное время воздействия вредных и опасных веществ, присутствующих в воздухе рабочей зоны;
- величину объемной доли кислорода в атмосфере в течение всего времени выполнения работ или воздействия вредного (опасного) фактора;
- содержание вредных и опасных веществ, присутствующих в воздухе рабочей зоны, а также их физические и химические свойства;

- агрегатное состояние и форму, в которой присутствуют вредные и опасные факторы в воздухе: аэрозоли, микроорганизмы, газы, пары, радиоактивные вещества;
- принцип воздействия вредных веществ на организм;
- максимальное значение концентраций вредных и опасных веществ, которое может образовываться в воздухе;
- значения ПДК вредных и опасных веществ;
- наличие других вредных и опасных производственных факторов, связанных с данным технологическим процессом и влияющих на выбор СИЗОД.

Важным этапом разработки программы респираторной защиты является определение адекватности и применимости СИЗОД:

- СИЗОД считают адекватным, если оно способно снизить воздействие вредного и (или) опасного фактора до уровня ПДК или концентрации, указанной в нормативной документации для конкретного случая и марки СИЗОД;
- СИЗОД, которое применяют в атмосфере, представляющей мгновенную опасность для жизни или здоровья, должно быть укомплектовано аварийным дыхательным устройством, обеспечивающим требуемый уровень защиты в течение времени, достаточного для того, чтобы пользователь при необходимости мог покинуть опасную зону;
- для оценки адекватности СИЗОД определяется возможность защиты при максимальной величине вредных и (или) опасных веществ в атмосфере на рабочем месте.

Применимость СИЗОД характеризуется их пригодностью для предполагаемых целей и способностью обеспечивать требуемый уровень защиты пользователей в течение всего времени использования. При оценке применимости учитываются:

- наименование изготовителя, торговая марка или другая информация для идентификации изготовителя или поставщика;
- соответствие СИЗОД требованиям нормативной документации;
- адекватность СИЗОД;
- соответствие назначения СИЗОД производственной среде, выполняемой в нем работе и индивидуальным особенностям пользователя;
- совместимость СИЗОД с другими используемыми СИЗ.

Выбранное СИЗОД должно быть пригодным для использования в конкретных условиях на рабочем

месте. При оценке применимости СИЗОД учитывают влияние следующих факторов:

- дефицит или избыток кислорода в воздушной среде;
- присутствие или вероятность внезапного появления опасных веществ и их возможных концентраций;
- наличие атмосферы, представляющей мгновенную опасность для здоровья и жизни;
- взрывоопасность атмосферы или возможность ее возникновения;
- коррозионную активность атмосферы или возможность ее возникновения;
- проникающую способность загрязняющих веществ (например, через фильтры или фильтрующую полумаску);
- агрегатное состояние вредных и опасных веществ (газы, пары, аэрозоли);
- наличие веществ, ухудшающих эксплуатационные характеристики СИЗОД (например, пыли, забивающей фильтры и соответственно повышающей сопротивление дыханию);
- температуру и влажность воздуха;
- гарантийные сроки хранения и эксплуатации;
- объем воздуха (кислорода), поступающего в зону дыхания.

При оценке применимости СИЗОД должна быть учтена зависимость эффективности защиты от характеристик окружающей среды, например, от температуры.

Выбранное СИЗОД должно быть пригодно для применения в производственных операциях, выполняемых пользователем, в том числе при различных нагрузках. Для этого учитываются следующие факторы:

- габаритные размеры и масса;
- температура вдыхаемой газовой смеси;
- относительная влажность и газовый состав вдыхаемой газовой смеси (воздуха);
- степень ограничения слуха, зрения и речи;
- механическое давление на мягкие ткани головы, в том числе при различных физических нагрузках;
- интенсивность работы;
- требования к видимости;
- требования к подвижности, включая пространственные параметры рабочей среды;
- требования к поддержанию речевой коммуникации между пользователями СИЗОД в процессе выполнения рабочего задания;
- тепловая нагрузка на пользователя СИЗОД;
- используемый в работе инструмент;

- другие средства индивидуальной защиты, применяемые помимо СИЗОД;
- время продолжительности использования СИЗОД.

Выбранное СИЗОД должно быть пригодно для персонала предприятий, для чего необходимо учесть влияние следующих факторов:

- физическое состояние пользователя по медицинским показателям;
- соответствие антропометрическим данным пользователя;
- возможность для пользователя осуществлять свою деятельность;
- характерные особенности лица пользователя (включая наличие волосяного покрова, бороды или длинной прически);
- физические особенности пользователя;
- ношение очков и контактных линз;
- оценка плотности прилегания СИЗОД к лицу пользователя.

Как видно из изложенного, программа респираторной защиты представляет собой сложный документ, учитывающий все возможные аспекты применения средств индивидуальной защиты органов дыхания. Методика же определения эффективности СИЗ Минтруда не отличается ни полнотой, ни адекватностью и основана на административном подходе к оценке.

Авторы ограничились примерами в отношении только тех средств, использование которых оценивается при специальной оценке условий труда. Многочисленные СИЗ для защиты от травм (костюмы, рукавицы, перчатки, ботинки, шитки, каски, СИЗ от падения с высоты и т. д.), а также изолирующие костюмы в данной статье не принимаются во внимание из-за того, что процедура специальной оценки условий труда не оценивает этот важный аспект условий труда. Между тем применение таких СИЗ во многих случаях очень серьезно отражается на состоянии пользователя. Достаточно упомянуть крайне выраженное напряжение тепловой регуляции при применении изолирующих костюмов и костюмов для защиты от термического воздействия электрической дуги в теплое время года.

Вывод: идея о формальном улучшении условий труда при использовании средств индивидуальной защиты выдвинута без достаточных на то оснований, а методика оценки эффективности СИЗ не учитывает современные представления об их влиянии на человека и особенностях выбора и применения.



## Список литературы

1. **Федеральный закон** от 28.12.2013 № 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда".
2. **Приказ** Минтруда России от 05.12.2014 № 976н "Об утверждении методики снижения класса (подкласса) условий труда при применении работниками, занятыми на рабочих местах с вредными условиями труда, эффективных средств индивидуальной защиты, прошедших обязательную сертификацию в порядке, установленном соответствующим техническим регламентом".
3. **Janssen L., Nelson T., Cuta K.** Workplace Protection Factors for an 95 Filtering Facepiece Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007. — Vol. 44, № 9. — P. 698. (Цит. по Кириллов В. Ф., Чиркин А. В. О средствах индивидуальной защиты органов дыхания от пыли // Медицина труда и промышленная экология. — 2011. — № 8).
4. **3M Corporation:** Reus of Organic Vapor Chemical Cartridges (Technical Data Bulletin № 142) — St. Paul; Minnesota, 3M, 1999 (Цит. по Капцов В. А., Чиркин А. В. Правильное использование противогазов в профилактике профзаболеваний // Гигиена и санитария. — 2013. — № 3).
5. **Чиркин А. В.** Снижение вредного воздействия загрязненного воздуха на рабочих с помощью СИЗ органов дыхания // Материалы XII Всероссийского конгресса "Профессия и здоровье". — М., 2013.
6. **Фаустов С. А., Андреев К. А.** Возможность разработки режима труда и отдыха при использовании тяжелых средств индивидуальной защиты органов дыхания // Медицина труда и промышленная экология. — 1999. — № 3.
7. **ГОСТ Р 12.4.279—2012** ССБТ. СИЗОД. Рекомендации по выбору, применению и техническому обслуживанию.

**G. V. Leontiev**<sup>1</sup>, Professor, Vice-President, **K. R. Malayan**<sup>2</sup>, Professor, **O. N. Rusak**<sup>3</sup>, Professor, Head of Chair, **S. A. Faustov**<sup>2</sup>, Associate Professor, e-mail: faustov-sa@mail.ru

<sup>1</sup> Crimean Union of warriors-internationalists, Simferopol'

<sup>2</sup> Saint-Petersburg Polytechnic University

<sup>3</sup> Saint-Petersburg Forest Technic University

## Reduction Class of Working Conditions when Using of Personal Protection Equipment: Grounded Reality or Myth

*The article contains criticism of idea for improvement of working conditions by use of personal protection equipment by special mark of working conditions and criticism of method for definition of their effectiveness received Ministry of labor. There are facts about program respiratory protection — more full document, which can appreciate choice and using of respiratory protective devises.*

**Keywords:** improvement of working conditions, personal protection equipment, special mark of working conditions, program respiratory protection

## References

1. **Federaljnihiy zakon** ot 28.12.2013 N. 426 "O special'noy oцenke usloviy truda".
2. **Prkaz** Mintruda Rossii ot 05.12.2014 N 976n "Ob utverzhenii metodiki snizheniya klassa (podklassa) usloviy truda pri primenenii rabotnikami, zanyatimi na rabochikh mestakh s vrednimi usloviyami truda, ehffektivnikh sredstv individual'noy zashitih, proshedshikh obyazatel'nuyu sertifikatsiyu v poryadke, ustanovlennom sootvetstvuyutim tekhnicheskim reglamentom".
3. **Janssen L., Nelson T., Cuta K.** Workplace Protection Factors for an 95 Filtering Facepiece Respirator. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2007. Vol. 44, N. 9. P. 698 (Cit. po Kirillov V. F., Chirkin A. V. O sredstvakh individual'noy zashitih organov dihkhaniya ot pihli. *Medicina truda i promishlennaya ehkologiya*. 2011. N. 8).
4. **3M Corporation:** Reus of Organic Vapor Chemical Cartridges (Technical Data Bulletin N. 142). St. Paul; Minnesota, 3M, 1999 (Cit. po Kapcov V. A., Chirkin A. V. Pravilnoe ispolzovanie protivogazov v profilaktike profzabolevaniy. *Gigiena i sanitariya*. 2013. N. 3).
5. **Chirkin A. V.** Snizhenie vrednogo vozdeystviya zagryaznennogo vozdukha na rabochikh s pomothjyu SIZ organov dihkhaniya. *Materialih XII Vserossiyskogo kongressa "Professiya i zdorovje"*. M., 2013.
6. **Faustov S. A., Andreev K. A.** Vozmozhnostj razrabotki rezhima truda i otdihka pri ispolzovanii tyazhelikh sredstv individual'noy zashitih organov dihkhaniya. *Medicina truda i promishlennaya ehkologiya*. 1999. N. 3.
7. **ГОСТ R 12.4.279—2012** ССБТ. СИЗОД. Rekomendacii po vihbory, primeneniyu i tekhnicheskomu obsluzhivaniyu.

Г. Н. Яговкин, д-р техн. наук, проф., e-mail: bjd@list.ru, Д. А. Мельникова, асп., Самарский государственный технический университет

## Основополагающие принципы обеспечения безопасности человека при построении системы управления профессиональными рисками

*Сформулированы основные принципы обеспечения безопасности человека при формировании системы управления профессиональными рисками, связанными со снижением влияния человеческого фактора на уровень профессионального риска, идентификацией опасностей, количественной оценкой риска и принятием решения по его минимизации. Сформулированы цель и основные задачи контролирующих органов предприятия для идентификации опасностей. Предложена универсальная методика количественной оценки профессионального риска. Разработана методика поддержки принятия управляющих решений. Принципы обеспечения безопасности идентифицированы.*

**Ключевые слова:** профессиональный риск, человеческий фактор, профессиональный отбор, профессиональная подготовка, контроль, опасность, поддержка принятия решений, работоспособность, эффективность, безопасность

Наиболее эффективным мероприятием по снижению аварийности и травматизма является система управления профессиональными рисками [1]. Она включает в себя документацию, регламентирующую безопасное производство работ [2], и в соответствии с изложенными в ней требованиями по обеспечению безопасности труда управляющие воздействия по устранению аварийности и травматизма, которые эффективны только в том случае, если носят системный характер (охватывают все аспекты безопасной деятельности и выполняются в установленной последовательности).

Формирование эффективной системы управления профессиональными рисками предполагает использование ряда основополагающих принципов. Первоначально все используемое оборудование и инструмент необходимо привести в соответствие с требованиями обеспечения безопасности труда.

На первом этапе формирования необходимо снизить влияние человеческого фактора за счет повышения надежности человека путем проведения профессионального отбора, профессиональной подготовки и введения рационального режима труда и отдыха.

На втором этапе производится идентификация опасности, количественная ее оценка и разработка наиболее эффективных мероприятий по ее устранению.

Профессиональный отбор позволяет установить соответствие физических и психофизиологических характеристик человека выполняемой работе [1]. Следует различать готовность и

пригодность к работе по той или иной профессии. Профессиональная готовность определяется исходя из уровня образования, опыта и подготовки исполнителя. Профессиональная пригодность устанавливается с учетом степени соответствия индивидуальных психофизиологических качеств данного человека конкретному виду деятельности.

Профессиональная пригодность — это положительная мотивация к данной специальности; порог ощущения опасности; хороший глазомер; устойчивость; концентрация; распределение внимания; нормальное состояние двигательного аппарата; высокая пропускная способность анализаторов и т. п.

Профессиональная непригодность: наличие хронического заболевания и травм; низкий порог ощущения опасности; плохое зрение; невнимательность; рассеянность; отсутствие положительной мотивации к данной работе и т. п.

Профессиональная пригодность определяется на основе профессиограмм, с помощью которых производится оценка профессионально важных свойств и качеств. В профессиограммах объективные особенности трудового процесса — технические, технологические, организационные находят выражение в физиологических, психических и социально-психологических показателях. Показатели делятся на физические, психосенсорные, психомоторные, интеллектуальную сферу, определяющие темперамент, характер и социально-психологические.

*Физические показатели* характеризуют возможность мышечной энергии, выносливость



к физическим усилиям и другие факторы, необходимые для выполнения предполагаемой работы. К *психосенсорным показателям* относятся острота зрения, восприятие пространства и др. К *психомоторным* — ритм, скорость двигательной реакции, точность движения и др.

*Интеллектуальная сфера* характеризуется наблюдательностью, зрительной и слуховой памятью и т. п. К *характеристикам темперамента и характера* относятся целеустремленность, настойчивость, эмоционально-волевые и т. п. К *социально-психологическим показателям* относятся чувство коллективизма, отношение к труду и т. п. Состав показателей определяется видом трудовой деятельности. Первые три группы определяются при медицинском освидетельствовании, а все остальные по результатам тестирования.

Профессиональная подготовка к безопасной деятельности является способом выработки навыков безопасного труда [1]. Среди ошибок принятия решений выделяются:

1) ошибки в задачах с ограничением выбора (когда нужно выбрать одно из известного ряда возможных действий);

2) ошибки в задачах с открытым концом (в этих задачах тоже есть ряд путей, но при выборе любого из них возникают новые задачи).

Принятию правильного решения в первом случае обучить значительно легче, чем во втором. Содержание подготовки должно формировать:

знания — способность узнавать, идентифицировать отдельные явления;

понимания — способность объяснить данное явление;

применение — способность прилагать и использовать знания и понимание в конкретных практических ситуациях;

анализ — способность разложить данное явление на его компоненты;

синтез — способность воспроизвести каждое явление по его составляющим;

оценки — способность критически осмыслить данное явление.

Подготовка к безопасному труду неразрывно связана с общим профессиональным образованием.

Алгоритм подготовки персонала можно представить в следующем виде: знания — решения — навыки.

Основная цель подготовки — формирование системы знаний у работающих об оборудовании (конструкция, режимы, управляемость), приемах его безопасной эксплуатации и оптимизации действий в аварийной ситуации. Особое внимание уделяется переходу от знаний к решениям при дефиците времени и эмоциональной напряженности. Для

обучения способам принятия решений используются алгоритмические описания (карты наблюдения, деревья оценки ситуации, планы действий), а также ситуационные игры (упорядочение, дополнения, фильтрация и многошаговое уточнение различных составляющих алгоритмических описаний), которые проводятся по специально подготовленным сценариям.

Режим труда и отдыха определяет работоспособность человека. Инциденты на производстве чаще всего происходят в периоды неустойчивости работоспособности [2]. Для восстановления работоспособности предназначены перерывы в работе. Они бывают трех видов: микропаузы, обеденный перерыв, перерывы на отдых.

Микропаузы — перерывы на отдых длительностью в несколько секунд, возникающие самопроизвольно между операциями и движениями. Исключение их приводит к быстрому развитию утомления и снижению работоспособности.

Перерыв на обед целесообразно устраивать в середине рабочего дня с отклонениями в пределах до одного часа.

Перерыв целесообразно предоставлять на начальной стадии развития утомления. Время введения перерыва устанавливается на основе обследования динамики работоспособности [2] и составляет 5...10 мин.

Следующим этапом является идентификация опасностей, которая осуществляется при проведении контролирующей деятельности [2].

Основными видами контроля являются:

— оперативный со стороны руководителей работ и других должностных лиц;

— выполняемый службой охраны труда в силу должностных обязанностей работников службы;

— производственный, выполняемый службой промышленной безопасности;

— административно-общественный (раньше назывался трехступенчатым).

Контроль как функция социального управления людьми представляет собой систему проверки соответствия объекта контроля принятым управленческим решениям — законам, нормам, стандартам и т. д., а также оценивания результатов воздействия на объект и отклонений от принятых управленческих решений.

Контролируемыми являются такие элементы управляемой системы и характеристики объектов управления, которые обеспечивают безопасность работающего, исправность машин и прочие параметры обеспечения безопасности. Основными функциями контроля являются функции:

— анализа, необходимые для выявления влияния ключевых параметров внешней и внутренней среды на безопасность деятельности;

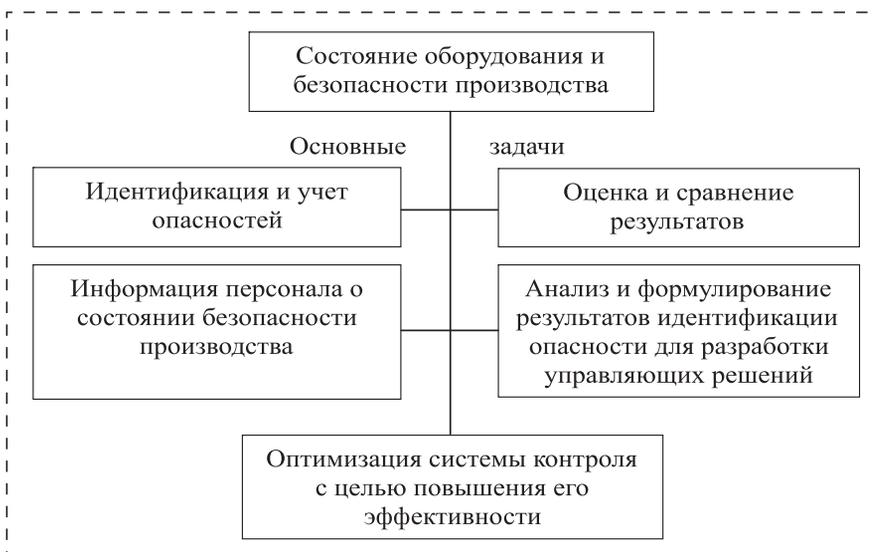
- планирования, заключающиеся в разработке системы показателей для позиционирования производства в области обеспечения безопасности;
- учета — для стратегического и управленческого учета показателей безопасности;
- организации — для разработки поддержки принятия управленческих решений в области обеспечения безопасности;
- контроля за процессом достижения заданных целей путем выявления отклонений контролируемых показателей от нормируемых по местам их возникновения, причинам и виновникам.

Основные задачи контроля приведены на рисунке.

После идентификации опасности производится количественная оценка профессионального риска. Можно выделить два наиболее общих методологических подхода к оценке: методы имитационного моделирования технических систем поведения человека при взаимодействии с ними и условиями внешней среды; оценка по общим критериям, учитывающим все прямые и косвенные факторы, определяющие профессиональный риск системы [3].

Кроме того, известны попытки совмещения двух описанных подходов, например, при оценке риска по параметрам условий труда. В этом случае комплексные, интегральные методы применяются для оценки условий труда, а затем исходя из априорно принятой зависимости профессионального риска от условий труда, определяется его количественный уровень.

Каждый из этих подходов имеет определенные достоинства и недостатки, ограничивающие сферу их применения. Универсальная методика заключается в следующем.



Основные задачи контроля за состоянием безопасности труда на производстве

Анализ зарубежных и отечественных литературных источников позволил сформулировать следующее утверждение. Профессиональный риск складывается из следующих составляющих [4]:

- возможной аварийности объекта;
- неблагоприятных условий труда, определяемых по результатам специальной оценки;
- выполнения текущей работы, в том числе повышенной опасности;
- отсутствия или несоответствия выполняемой работе средств индивидуальной защиты.

В этом случае интегральная оценка профессионального риска определяется как совокупность независимых случайных величин в баллах, которая в аддитивной форме позволяет задавать относительную важность каждого из этих показателей. Такая оценка позволяет более просто и наглядно, без потери информации, осуществлять количественную оценку профессионального риска.

Управленческие решения по улучшению состояния безопасности объекта должны учитывать значительное количество зачастую в явном виде неопределенных факторов, характеризующих окружающую среду, систему и ее составные части. Решают эту проблему применением интеллектуальных систем поддержки принятия решений, обработка информации в которых основана на методах системного анализа разнородных, разноплановых данных значительного объема. Эффективность их применения в значительной степени зависит от выявления опасных факторов, вытекающих из прошлых, настоящих или планируемых видов деятельности организации, с тем, чтобы определить наиболее существенные воздействия на условия, обеспечивающие безопасность.

В случае малого объема или отсутствия статисти-

стического материала, что имеет место при обеспечении безопасности, выявления значимости факторов при формировании управляющего воздействия в системах поддержки принятия решений производится путем экспертных оценок с использованием метода попарных сравнений [5]. Результаты сравнения оформляются в виде таблицы, имеющей вид квадратной матрицы  $V_{ij}$  (табл. 1).

Оценка результатов парных сравнений  $V_{ij}$  производится на основе приведенных в табл. 2 шкал качественных и количественных оценок предпочтительности элементов по отношению друг к другу.

Весовые коэффициенты элементов представляются в виде вектора



Таблица 1

Матрица результатов попарных сравнений

№ п/п	Факторы	Факторы						
		1	2	...	$j$	...	...	$L$
1		$B_{11}$	$B_{12}$	...	$B_{1j}$	...	...	$B_{1L}$
2		$B_{21}$	$B_{22}$	...	$B_{2j}$	...	...	$B_{2L}$
...		...	...	...	...	...	...	...
$i$		$B_{i1}$	$B_{i2}$	...	$B_{ij}$	...	...	$B_{iL}$
...		...	...	...	...	...	...	...
$L$		$B_{L1}$	$B_{L2}$	...	$B_{Lj}$	...	...	$B_{LL}$

$N = \langle v_1, v_2, \dots, v_L \rangle$ , который удовлетворяет уравнению:

$$\|C\|N = L_{\max}N,$$

где  $\|C\| = \|B\| \cdot \|A\|$  — матрица значений парных сравнений коэффициентов значимости элементов системы;

$\|B\|$  — значение матрицы, приведенной в табл. 1;

$\|A\|$  — матрица, сопряженная с матрицей  $\|B\|$ ;

$L_{\max}$  — наибольшее собственное значение матрицы  $\|C\|$ .

Алгоритм итерационной процедуры состоит в следующем.

1. Составление матрицы  $\|A\|$ , сопряженной с  $\|B\|$ .

2. Вычисление матрицы  $\|C\| = \|B\| \cdot \|A\|$ .

3. Составление характеристической матрицы

$$\|C - L \cdot \|E\| \| \cdot \|N\| = 0,$$

где  $L$  — собственное значение матрицы  $\|C\|$ ;

$\|E\|$  — единичная матрица.

4. Решение характеристического уравнения на основе рекуррентной процедуры

$$\|N(k)\| = \|C\| \cdot \|N(k-1)\|,$$

где  $\|N(0)\| = \|E\|$ ;  $k$  — номер шага итерации.

Условие окончания итерационного процесса

$$\|N(k)\| - \|N(k-1)\| < \Delta,$$

где  $\Delta$  — требуемая точность вычислений.

Вектор  $\|N(k)\| = \langle v_1, v_2, \dots, v_L \rangle$  представляет собой искомые значимости факторов.

Принципы формирования системы управления профессиональными рисками можно идентифицировать как 5 П:

— П<sub>1</sub> — профосмотр;

— П<sub>2</sub> — профессиональная подготовка;

— П<sub>3</sub> — перерывы в работе;

— П<sub>4</sub> — профессиональный риск (идентификация и количественная оценка);

— П<sub>5</sub> — поддержка и принятие управляющего решения.

Таблица 2

Шкалы качественных и количественных оценок предпочтительности элементов

Качественная оценка степени важности показателя	Объяснение	Количественная оценка результата сравнения
Одинаковая значимость	Два сравниваемых показателя вносят одинаковый вклад в решение задачи	0,4...0,6
Некоторое преобладание значимости первого из сравниваемых показателей перед вторым (слабая значимость)	Опыт и суждение дают легкое предпочтение первому из сравниваемых показателей перед вторым	0,6...0,7
Обратное некоторое преобладание (обратная слабая значимость). Небольшое преобладание значимости второго показателя перед первым	Опыт и суждение дают легкое предпочтение второму из сравниваемых показателей перед первым	0,3...0,4
Сильная значимость или очевидная значимость первого перед вторым. Превосходство практически явно	Предпочтение первого из сравниваемых показателей перед вторым является сильным	0,7...0,9
Обратная сильная значимость. Превосходство второго перед первым практически явно	Предпочтение второго из сравниваемых показателей перед первым является явным	0,1...0,3
Абсолютная значимость. Предпочтение первого из сравниваемых показателей перед вторым абсолютно	Свидетельство в пользу первого из сравниваемых показателей в высшей степени убедительно	0,9...1,0
Обратная абсолютная значимость. Предпочтение второго перед первым абсолютно	Свидетельство в пользу второго из сравниваемых показателей в высшей степени убедительно	0,0...0,1

Эти принципы были положены в основу систем управления профессиональными рисками на двух крупных предприятиях нефтегазовой отрасли Самарской области, которые показали высокую эффективность.

### Список литературы

1. Мельникова Д. А., Яговкин Г. Н. Теоретические аспекты формирования систем управления профессиональным риском на опасных производственных объектах: Монография. — Самара, ООО "Медиа-книга", 2014. — 120 с.

2. Яговкин Г. Н. Основы обеспечения безопасности жизнедеятельности на машиностроительных предприятиях: Учеб. пособ. Самара: изд. Самар. гос. техн. ун-та, 2005. — 214 с.
3. Мельникова Д. А. Качество жизни населения и экология. Пенза: изд. МНИЦ ПГСХА, 2014. — 191 с.
4. Яговкин Н. Г., Кривова М. А., Мельникова Д. А. Оценка профессионального риска опасного производственного объекта: балльный метод экспертных оценок // Безопасность жизнедеятельности. — 2013. — № 9. — С. 39—43.
5. Батищев В. И., Яговкин Н. Г. Методология поддержки принятия решений при управлении интегральными крупномасштабными производственными системами. — Самара: Российская Академия наук, Самарский научный центр, 2008.

G. N. Yagovkin, Professor, e-mail: bjd@list.ru, D. A. Melnikova, Postgraduate, Samara State Technical University

## The Fundamental Principles of Human Security in the Construction of Professional Risk Management

*The main principles of human security in the formation of professional risk management. They are associated with a reduction in the influence of the human factor on the level of occupational risk, hazard identification, risk assessment and quantitative decision making to minimize it. The human factor drops sharply if they held professional selection and training of high quality and favorable conditions of work and rest. Formulated the goal and major tasks of supervising bodies of the enterprise to identify hazards. To propose an effective method of quantitative evaluation of occupational risk. The technique of making support management decisions. Principles of safety are identified.*

**Keywords:** professional risk, the human factor, professional selection, training, control, danger, decision support, performance, efficiency, safety

### References

1. Melnikova D. A., Yagovkin G. N. Teoreticheskie aspekty formirovaniya sistem upravleniya professionalnym riskom na opasnykh proizvodstvennykh ob'ekтах: Monografiya. Samara: ООО "Media-книга", 2014. 120 p.
2. Yagovkin G. N. Osnovy obespecheniya bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti na mashinostroitel'nykh predpriyatiyakh: Uchebn. posob. Samara: izd. Samar. gos. tehn. un-ta, 2005. 214 p.

3. Melnikova D. A. Kachestvo zhizni naseleniya i ekologiya. Penza: izd. MNITs PGSHA, 2014. 191 p.
4. Yagovkin N. G., Krivova M. A., Melnikova D. A. Otsenka professional'nogo riska opasnogo proizvodstvennogo ob'ekta: bal'nyy metod ekspertnykh otsenok. *Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti*. 2013. N. 9. P. 39—43.
5. Batischev V. I., Yagovkin N. G. Metodologiya podderzhki prinyatiya resheniy pri upravlenii integralnyimi krupnomasshtabnyimi proizvodstvennyimi sistemami. Samara: Rossiyskaya Akademiya nauk, Samarskiy nauchnyy tsentr, 2008.

### Анонс

В следующем номере журнала № 9—2015 в этом разделе будет опубликована статья автора Н. А. Евдокимовой "Сравнительная оценка состояния условий труда по методикам проведения аттестации рабочих мест и специальной оценки условий труда".



С. М. Аполлонский, д-р техн. наук, проф., Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

## Роль природных экранов в снижении электромагнитной нагрузки в урбанизированном пространстве

*Рассмотрена роль природных экранов (воздуха, воды, грунта и растительности) в снижении электромагнитной нагрузки в урбанизированном пространстве. Приведены примеры расчета эффективности экранирования методами теории длинных линий дифференциальных уравнений математической физики. Даются рекомендации, которые могут способствовать снижению уровня напряженностей электромагнитного поля и тем самым способствовать обеспечению электромагнитной безопасности технических средств и человека.*

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, окружающая среда, водяная среда, древесина, грунты, электромагнитная безопасность технических средств, электромагнитная безопасность человека, электромагнитная нагрузка, урбанизированное пространство

### 1. Введение

В связи с продолжающейся электрификацией всех областей человеческой деятельности увеличивается электромагнитная нагрузка на высокочувствительные технические средства и человека.

В настоящее время активное использование электромагнитного ресурса, связанное с развитием радиосвязи и различных систем передачи и дистанционной обработки информации, телевидения, мобильной связи, радиолокации и радионавигации, приводит к появлению дополнительного электромагнитного фона.

Большой вклад в общую электромагнитную нагрузку на среду создает электрифицированный транспорт: наземный и подземный; особенно с переходом на повышенные напряжения в тяговых сетях, с необходимостью использования полупроводниковой техники и т. д.

Особенно сложная электромагнитная обстановка складывается в крупных городах, где источниками низкочастотного электромагнитного поля (ЭМП) является вся производственная и бытовая электроэнергетическая система (ЭЭС), а радиочастотного диапазона — радиоцентры связи, вещания, телевидения, радиолокационные станции, средства сухопутной подвижной радиосвязи и другие источники.

СВЧ область электромагнитного спектра занимает диапазон частот от 300 МГц до 30 ГГц. Длинноволновые радары работают на частотах около 450 МГц; UHF телевизионные каналы — от 470 до 870 МГц; сотовые мобильные телефоны — около 900 МГц; спутниковые навигационные системы (GPS, ГЛОНАС) — выше 1 ГГц; космические

телеметрические системы — около 2 ГГц; станции тропосферной связи — свыше 2 ГГц; радары для управления движением самолетов — свыше 3 ГГц; различные радиорелейные системы — около 4 ГГц. Коммуникационные спутниковые системы используют диапазон частот от 4 до 7 ГГц; контроль воздушного пространства осуществляется на частотах около 10 ГГц; милицейские радары работают на частотах 24 ГГц и 10,25 ГГц. Частоты от 20 до 30 ГГц предназначены для перспективных спутниковых коммуникационных систем.

Диапазон частот от 30 до 300 ГГц характеризуется повышенным поглощением атмосферой. ЭМП различной частоты используются в качестве приемно-передающего, управляющего или энергетического канала, разделенного во времени и по частоте с помощью радиотехнических устройств и локализованного в пространстве с помощью антенных устройств и экранов.

ЭМП радиочастотного диапазона от радиоэлектронных средств отличаются от естественного фона по своим частотным и мощностным характеристикам и вносят дополнительное воздействие на биологические объекты. Зачастую реакции биообъектов трудно предсказуемы и носят комплексный характер.

При этом особо актуальной проблемой является подавление нежелательных (паразитных) ЭМП, возникающих из-за несовершенства конструкций излучающих блоков, оказывающих наиболее сильное влияние на человеческий организм вследствие незначительного удаления от источников излучения и образующих дополнительный электромагнитный канал утечки информации. Актуальность разработки высокоэффективных, широкополосных,

технологичных и удобных в эксплуатации экранирующих и радиопоглощающих материалов обуславливается не только проблемами биологического воздействия ЭМП, а также и высокой потребностью в таких материалах при разработке и усовершенствовании конструкций изделий радиоэлектроники, устройств защиты информации и всех видов техники, использующих электронные системы.

Для снижения воздействия ЭМП на технические объекты и биосферу в целом служит экранирование. При разработке конструкций экранов или поглотителей электромагнитных волн (ЭМВ) используются различные материалы, обладающие способностью отражать или поглощать ЭМП в определенном диапазоне частот. Следует отметить, что в природе не существует ни идеально отражающих, ни идеально поглощающих электромагнитную энергию материалов, поэтому подавление ЭМП чаще всего обеспечивается за счет обоих процессов.

Способность среды поглощать ЭМП определяется ее электрическими и магнитными свойствами, к которым относятся удельная электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости. Эти характеристики используются при описании процесса распространения ЭМВ и в общем случае являются нелинейными, тензорными, комплексными величинами. Поглощение электромагнитной энергии происходит за счет диэлектрических, магнитных потерь и потерь на проводимость, которые пытаются максимизировать для достижения максимума эффективности экранирования. Отражение ЭМВ происходит на любых неоднородностях в материале, а при конструировании экранов определяется различием волновых сопротивлений среды распространения волны и экрана. Довольно часто используют рассеивание плоского фронта ЭМВ на различных неоднородностях структуры радиопоглощающего материала или конструкции для достижения более полного поглощения электромагнитной энергии и уменьшения уровня отраженного сигнала.

Сложный механизм распространения и поглощения ЭМП, а также технологические сложности синтеза материалов с заранее заданными электромагнитными свойствами в широком диапазоне частот обуславливают большое разнообразие существующих экранов.

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы. Чаще всего используются железо, сталь, медь, латунь, алюминий. Металлические экраны известны уже давно и широко используются. Они отличаются высокой эффективностью на радиочастотах, которая увеличивается при повышении частоты электромагнитных излучений (ЭМИ), и технологически выполняются

в виде сплошных и перфорированных листов, сеток, решеток, трубок и могут быть нанесены в виде тонкопленочных покрытий.

В конструкциях поглощающих ЭМП экранов и покрытий используются явления рассеивания ЭМВ, потери на проводимость при использовании проводящих материалов, а также магнитные и диэлектрические потери в среде, прямо пропорциональные значениям относительной диэлектрической ( $\epsilon_r$ ) и магнитной ( $\mu_r$ ) проницаемостей материала. В идеальном случае величины  $\epsilon_r$  и  $\mu_r$  должны быть максимизированы и равны между собой, чтобы уменьшить уровень отраженной волны. Для получения поглотителей ЭМВ используются ферриты, ферромагнитные материалы и диэлектрики. Также ведутся разработки новых радиопоглощающих покрытий на основе сегнетоэлектриков, однако, их эффективность невысока, и они далеки от практического использования.

В связи с развитием технологии получения композиционных материалов, свойства которых могут варьироваться в широких пределах путем подбора материала связующего и наполнителя, особое внимание уделяется гетерогенным радиопоглощающим средам. Материалы для поглотителей ЭМИ получают методами порошковой металлургии и с использованием технологии композиционных материалов. В качестве исходного сырья применяются неорганические порошки и волокна, закрепленные в связующем на основе неорганических (оксидов алюминия, титана и др.) или органических (смолы, полимеры, пластмассы, парафины) материалов. Такие материалы обладают как высокой эффективностью экранирования, так и большим значением коэффициента поглощения ЭМВ, однако часто их применение ограничено узким частотным диапазоном.

Последние исследования в области разработки композиционных материалов направлены на расширение частотного диапазона электромагнитных экранов и получение многофункциональных конструкций. Использование дисперсных растворов с управляемыми магнитными свойствами также представляется перспективным, однако еще далеко от практического применения из-за сложности синтеза, низкой технологичности, относительно невысокой стабильности или токсичности существующих магнитных жидкостей.

Экраны предназначаются для локализации в некотором объеме пространства полей, создаваемых источниками электромагнитной энергии, с целью ослабления или исключения их воздействия на высокочувствительные электронные системы (рецепторы). В зависимости от назначения различают экраны с внутренним возбуждением ЭМП, в которых обычно помещается источник



помех, и экраны внешнего ЭМП, во внутренней полости которых помещаются рецепторы.

В первом случае экран предназначен для локализации поля в некотором объеме, во втором — для защиты от воздействия внешних полей помех. Обе эти задачи часто формулируют как задачу экранирования от полей помех. Ее решение связано со всеми особенностями и закономерностями электромагнитных волн. К этой же задаче примыкает и экранирование ЭМП помех, создаваемых отдельными блоками или электрическими цепями, близко расположенными друг к другу. В таких случаях может идти речь о полях, создаваемых проводами, по которым протекает ток высокой частоты. Подобную задачу формулируют как задачу "экранирования от токов помех". Такое разделение задач экранирования от высокочастотных помех обычно делается как в целях систематизации методов решения задач, так и в интересах упрощения расчета экранов. Обе задачи объединяются тем, что при их решении в самом общем случае должны быть применены электромагнитные экраны, одинаково хорошо защищающие рецептор от электрических и магнитных полей помех. Практическая реализация таких экранов возможна лишь в ограниченном количестве случаев (как правило, для однородных ЭМП помех, однородных по форме и материалам экранов).

Экранирование как техническое мероприятие призвано обеспечить надежность работы рецепторов: подавить до требуемого уровня влияние ЭМП помех, препятствующих эффективному функционированию рецепторов. Определение назначения экрана в каждом отдельном случае производится с учетом характера источника помех и рецепторов, их размеров, пространственного размещения, вида подводимых коммуникаций и допустимой величины воздействия экрана на экранируемые элементы.

При создании эффективных экранирующих систем, как правило, применяются дорогостоящие материалы, благодаря чему существенно удорожаются устройства.

С целью удешевления мероприятий по экранированию ЭМП можно рекомендовать использование природных экранов: водной и воздушной среды; грунтов и зеленых насаждений. Особенно это важно при внедрении новых видов электрифицированного железнодорожного транспорта (на магнитной подвеске, размещенного на заглубленных в грунт путях или поднятого на эстакаду).

Из природных экранов в дальнейшем будем рассматривать среды: водную, воздушную, грунтовые и зеленые насаждения. Исследования показывают [1], что такие среды могут существенно уменьшать электромагнитную нагрузку на окружающую среду, поскольку обладают вполне

удобоваримыми электромагнитными свойствами: электрической проводимостью  $\gamma$ , магнитной  $\mu$  и диэлектрической  $\epsilon$  проницаемостями, и тем самым способствовать улучшению окружающей среды селитебных территорий.

Естественные экранирующие среды можно разделить на две группы. К первой группе отнесем сплошные среды: воду, воздух и грунт. Ко второй группе — дискретные среды. К ним, в первую очередь, отнесем разные виды зеленых насаждений. Для каждой группы природных экранов применима своя методика расчета эффективности экранирования.

## 2. Методика расчета эффективности сплошных природных экранов

Экранирование имеет свои специфические особенности, обусловленные его физической сущностью, принципами действия и конкретными условиями применения экранов. Это находит свое выражение в количественной оценке эффективности экранирования.

В настоящее время широко используется способ оценки эффективности экранирования с помощью экранирующих функций, среди которых наиболее распространены функции экранирования и обратного действия.

Пусть экран разделяет пространство на две области:  $D_1$  — область до экрана,  $D_2$  — область за экраном. Будем считать, что в области  $D_1$  размещены источники, которые создают ЭМП с напряженностями  $\vec{E}^{(0)}$ ,  $\vec{H}^{(0)}$ . Через экран проходит ЭМП с напряженностями  $\vec{E}^{(2)}$ ,  $\vec{H}^{(2)}$ .

Эффективность экранирования по координате распространения поля определяется в виде [2, 3]:

$$S^F = \frac{F^{(0)}}{F^{(2)}}, \quad (1)$$

где  $F \in [E, H]$ ;  $E, H$  — электрическая и магнитная напряженности ЭМП. Эффективность экранирования изменяется в пределах  $S^F \geq 1$ .

В ряде случаев эффективность экранирования или иначе — экранное затухание представляют в логарифмических единицах — децибелах (дБ):

$$\mathcal{E}^F = 20 \lg S^F. \quad (2)$$

Как правило, эффективность экранирования рассчитывается, используя методы теории поля — по интегральным или дифференциальным уравнениям математической физики.

Иногда с точностью, достаточной для инженерных приложений, можно использовать более простой способ определения эффективности

экранирования, разработанный С. А. Шелкуновым [4] по аналогии с распространением электромагнитных волн в электрически длинных двухпроводных линиях. Эти волны распространяются вдоль проводящих линий ТЕМ-волнами (электромагнитными волнами с векторами  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  напряженностей ЭП и МП, ориентированными перпендикулярно к направлению распространения), так что разработанные для них формальные методы нетрудно перенести на плоские волны в свободном пространстве.

Подобно тому, как волны в неоднородных линиях частично отражаются, частично пропускаются и затухают из-за потерь, электромагнитные волны в свободном пространстве отражаются от неоднородностей и ослабляются внутри материала.

Стенка экрана, расположенная поперек направления распространения плоской волны, обуславливает эффекты, сравнимые с теми, которые имеют место в линии с потерями и малым волновым сопротивлением, последовательно включенной с длинной электрической линией без потерь с большим волновым сопротивлением.

Общий коэффициент затухания электромагнитной волны (дБ) в экране определяется как [4]:

$$\mathcal{E}^F = P^F + \Pi^F + \sum_i^{\nu} B_i^F \approx P^F + \Pi^F, \quad (3)$$

где  $F \in [H, E]$ ;  $P^F$  — коэффициент затухания вследствие отражения на граничных плоскостях;  $\Pi^F$  — коэффициент затухания из-за поглощения в стенке экрана (преобразование электромагнитной энергии в тепло из-за тепловых потерь);  $\sum_i^{\nu} B_i^F$  — сумма ( $i \in [1, \nu]$ ) учитываемых корректирующих коэффициентов, которые учитывают многократные отражения внутри экрана. При расчетах природных экранов в инженерных оценочных задачах коэффициентами  $\sum_i^{\nu} B_i^F$  можно

пренебречь, вследствие того, что  $\sum_i^{\nu} B_i^F \ll \Pi^F$ .

Коэффициент затухания вследствие отражения на граничных плоскостях  $P^F$  при условиях: а) экранирующая среда расположена в дальней зоне источника помехи; б) толщина экранирующей среды превышает глубину проникновения для соответствующей частоты помехонесущего ЭМП, может быть получен в виде

$$P^F = 108 - 10 \lg \frac{\mu_r f}{\sigma_r}, \quad (4)$$

где  $f$  — частота, МГц;  $\sigma_r$  — относительная удельная электропроводность (за базовую принята электропроводность меди):

$$\sigma_r = \frac{\sigma}{5,8 \cdot 10^7}.$$

Коэффициент  $P^F$  одинаков как для магнитной составляющей ЭМП, так и для электрической.

Коэффициенты затухания из-за поглощения в стенке экрана  $\Pi^F$  (дБ), хотя и различаются по величине для магнитных ( $P^H$ ) и электрических напряженностей ( $P^E$ ) ЭМП, но незначительно, поэтому могут быть рассчитаны по общей формуле:

$$\Pi^F = 13,14d\sqrt{f\mu_r\sigma_r}, \quad (5)$$

где  $d$  — толщина экранирующей среды, м.

Результаты расчетов общего коэффициента затухания для сплошных природных сред, выполненные с помощью предложенной методики, не всегда совпадают с результатами эксперимента, но вполне удовлетворительны для приближенного анализа. Расхождения результатов можно объяснить тем, что при выводе формул (3)—(5) не учтены конечные размеры экранирующей среды, отклонение угла падения волны от прямого, многократные отражения волны внутри экрана, влияние щелей и углов в реальном экране. Все эти факторы в значительной степени влияют на общий коэффициент затухания. Чтобы получить результаты расчетов, близкие к экспериментальным, метод теории проводимостей должен уточняться путем введения в формулу (3) новых членов  $B_i^F$  ( $i = 1, 2, 3...$ ).

### 3. Методика расчета эффективности дискретных природных экранов

Рассмотрим методику расчета дискретных природных экранов на примере использования зеленых насаждений.

Пусть поперек пути распространения ЭМП имеются многорядные посадки деревьев: всего рядов  $n$ , в каждом ряду  $m$  деревьев и находятся они на расстоянии (м)  $a$  друг от друга, между рядами расстояния (м) одинаковые и равны  $b$ . Размеры деревьев для упрощения усредним: высота (м) каждого  $h$  (считаем, что  $h > h_0$ , где  $h_0$  — вертикальный размер источника излучения); средний радиус сечения дерева (м)  $r_0^*$ .

Используется следующий подход к расчету эффективностей экранирования многорядными посадками деревьев.

Каждый  $i$ -й ряд деревьев можно рассматривать в качестве сплошного слоя с толщиной (м)

$$\Delta_i = \frac{2mr_0^*}{(m-1)b + 2mr_0^*}, \quad (6)$$

и электромагнитными параметрами  $\sigma_i$ ,  $\mu_i$ ,  $\epsilon_i$ .



Таким образом, получаем  $i$ -й экран ( $i \in [1..v]$ ), находящийся на пути распространения ЭМП, коэффициент экранирования магнитных напряженностей ЭМП которым рассчитывается в виде [2, 3]:

$$\mathcal{E}_r^H = \prod_{i=1}^{i=v} \mathcal{E}_r^{H(i)} \left[ 1 + \left( \frac{\xi_i}{\xi_{i+1}} \right)^3 \right], \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_r^{H(i)} = p [1 - q \exp(-2\alpha\Delta_i)]^{-1} \exp(-\alpha\Delta_i), \quad (8)$$

где  $p = 4k^2/(1+k)^2$  — коэффициент первичного отражения;  $q = (1-k)^2/(1+k)^2$  — коэффициент переотражений;  $\alpha = (1+i)/\delta$  — комплексный коэффициент прохождения;  $k = Z_W/\eta$ ;  $Z_W$  — полное волновое сопротивление;  $\eta = (1+i)\delta$  — внутреннее полное сопротивление материала;  $\delta = [2/(\omega\mu_1\sigma_1)]^{1/2}$  — глубина поверхностного слоя;  $\xi_i$  — расстояние до  $i$ -го экрана, м.

Полное волновое сопротивление можно записать в виде:

$$Z_W \approx i\omega\mu_0 z/3,$$

где  $z$  — расстояние до точки, в которой измеряются характеристики ЭМП, м.

В формуле (8) член  $p$  определяет первичное отражение от обеих поверхностей, член  $[1 - q\exp(-2\alpha\Delta_i)]$  — все последующие отражения и переотражения; член  $\exp(-\alpha\Delta_i)$  — затухание при прохождении через экран.

#### 4. Результаты расчетов эффективности природных экранов

Эффективность экранов во многом зависит от электромагнитных параметров составляющих их сред. В табл. 1 приводятся электромагнитные параметры распространенных природных сред. Здесь:  $\mu_r = \mu/\mu_0$ , где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$ , где  $\epsilon_0 = (1/36\pi) \cdot 10^{-9}$  Ф/м.

Используя данные табл. 1, выполним расчет эффективности экранирования для некоторых природных сред.

**Экранирование с использованием водной среды.** Рассмотрим два варианта экранирующей среды.

1. Пресная вода с параметрами:  $\epsilon_r = 81$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma_r = 0,66 \cdot 10^{-12}$ ; толщина водной преграды  $d = 1$  м;  $f = 1$  МГц.

2. Морская вода с параметрами:  $\epsilon_r = 80$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma_r = 0,057 \cdot 10^{-6}$ ; толщина водной преграды  $d = 1$  м;  $f = 1$  МГц.

Расчет  $\mathcal{E}^F$  выполнен по формулам (3)—(5), результаты расчетов сведены в табл. 2.

Эффективными могут оказаться биологические экраны со слоем соленой воды и другие среды,

Таблица 1

#### Электромагнитные параметры природных сред

№ п/п		Электромагнитные параметры		
		$\epsilon_r$	$\sigma_r$	$\mu_r$
I. Водяная среда				
1	Вода пресная	81	$0,66 \cdot 10^{-12}$	$\approx 1$
2	Вода морская	$\approx 80$	$0,057 \cdot 10^{-6}$	$\approx 1$
3	Снег	3..8	$0,172 \cdot 10^{-8}$	$\approx 1$
4	Лед	73..95	$0,061 \cdot 10^{-12}$	$\approx 1$
II. Воздушная среда				
1	Воздух обычный	$\approx 1$	$1,72 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
2	Воздух (предгрозовый)	$\approx 1$	$0,172 \cdot 10^{-10}$	$\approx 1$
III. Тип грунта				
1	Торф, чернозем, глина	3..4	$\approx 0,069 \cdot 10^{-8}$	$\approx 1$
2	Лесс, супеси, суглинки	4,5..7,2	$\approx 0,051 \cdot 10^{-8}$	$\approx 1$
3	Песок, песок с галькой	7,5..8,7	$\approx 0,051 \cdot 10^{-8}$	$\approx 1$
4	Мерзлый грунт	7..8	$\approx 1,72 \cdot 10^{-12}$	$\approx 1$
5	Садовая земля	4,2	$\approx 4,3 \cdot 10^{-10}$	$\approx 1$
IV. Древесина (вдоль волокон)				
1	Сосна	3..4	$\approx 0,569 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
2	Ель	2..3	$\approx 0,569 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
3	Береза	$\approx 2,5$	$1,72 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
4	Ольха	$\approx 2,0$	$0,276 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
5	Липа	$\approx 2,0$	$\approx 0,276 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
6	Осина	$\approx 2,0$	$\approx 0,276 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$
7	Бук	2,2..3,2	$1,03 \cdot 10^{-16}$	$\approx 1$
8	Дуб	3,5	$0,241 \cdot 10^{-14}$	$\approx 1$

в которых существенную экранирующую роль будут играть токи переноса. Так, для транспортных объектов, перемещающихся в проводящих средах и рассеивающих ЭМП столь же широкого частотного диапазона в окружающей среде (например, в морской воде с воздействием на ее флору и фауну), могут представить интерес задачи по оптимизации внешней оболочки транспортного средства не только с учетом достаточных прочностных характеристик, но и с минимизацией воздействия на окружающую среду.

Таблица 2

**Коэффициенты экранирования**

Вид преграды	Коэффициенты затухания ЭМП, дБ		Общий коэффициент затухания, дБ
	$P^F$	$\Pi^F$	
I. Водяная среда			
Вода пресная	1,02	3,31	4,33
Вода морская	3,62	29,5	33,1
II. Воздушная среда			
Воздух обычный	$6,02 \cdot 10^{-2}$	$1,44 \cdot 10^{-1}$	$2,42 \cdot 10^{-1}$
Воздух (предгрозово́й)	6,06	11,5	17,56
III. Тип грунта			
Лесс, супеси, суглинок	5,03	14,2	19,23
Садовая земля	5,62	16,28	21,9
IV. Древесина (вдоль волокон)			
Сосна	2,74	15,7	18,44
Дуб	2,51	14,6	17,11

**Экранирование с использованием воздушной среды.** Рассмотрим два варианта экранирующей среды.

1. Воздух обычный с параметрами:  $\epsilon_r = 1$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma_r = 1,72 \cdot 10^{-14}$ ; толщина преграды  $d = 1$  м;  $f = 1$  МГц.

2. Воздух (предгрозово́й) с параметрами:  $\epsilon_r = 1$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma_r = 0,172 \cdot 10^{-10}$ ; толщина преграды  $d = 1$  м;  $f = 1$  МГц.

Если провести расчеты по упрощенной методике С. А. Щелкунова, то окажется, что при постоянных электромагнитных параметрах воздушной среды затухание электрических и магнитных напряженностей ЭМП не зависит от частоты. Это связано с тем, что при использовании упрощенной методики считается, что затухание магнитной и электрической напряженностей ЭМП происходит примерно одинаково, поэтому можно пренебречь составляющими  $P$  и  $B$  ( $P = B \approx 0$ ).

В реальности следует считаться с более существенным снижением напряженностей ЭМП в воздушной среде. Если воспользоваться строгим решением задачи с использованием дифференциальных уравнений математической физики, то получим затухание (дБ) в следующем виде [5]:

$$\mathcal{E}_r^E = \sqrt{\sum_{p=1}^{p=n} \left[ 20 \lg \left( \frac{r}{r_0} \right)^{-p-2} \right]^2};$$

$$\mathcal{E}_r^H = \sqrt{\sum_{p=1}^{p=n} \left[ 20 \lg \left( \frac{r}{r_0} \right)^{-p-1} \right]^2},$$

(9)

где  $p \in [1, n]$  — порядок пространственной гармоники ( $p = 1$  — дипольная,  $p = 2$  — квадрупольная и т. д.);  $r_0$  — максимальный радиус сечения выпуклого тела, описанного около источника поля. В формулах (9) использована для удобства круговая цилиндрическая система координат  $r, \varphi, z$ .

Результаты расчета, выполненные при  $r = 10r_0$  и учете  $p = 1, 2$  и электромагнитных параметров, указанных в табл. 1, сведены в табл. 2.

**Экранирование с использованием грунтов.** Рассмотрим два варианта экранирующей среды.

1. Лесс, супеси, суглинок с параметрами:  $\epsilon_r = 7,2$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma_r = 0,051 \cdot 10^{-8}$ ; толщина преграды  $d = 1$  м;  $f = 1$  МГц.

2. Садовая земля с параметрами:  $\epsilon_r = 4,2$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma_r = 4,3 \cdot 10^{-10}$ ; толщина преграды  $d = 1$  м;  $f = 1$  МГц.

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

При определенных условиях можно использовать экранирующие свойства грунтов для снижения электромагнитной нагрузки на отдельные технические устройства и производственные помещения. Для расчета снижения электрических и магнитных напряженностей за пределами защиты из грунтов можно использовать общеизвестные формулы, в которые подставляются электромагнитные свойства грунтов и соответствующие геометрические размеры.

Учет экранирующих свойств грунтов производится в настоящее время при решении различных вариантов обратных задач сейсмологии, определении надежности, прочности и сейсмостойкости конструкций сложных технических систем, применяемых в различных областях, при воздействии неблагоприятных факторов внешней среды. Исследуемые перспективные пути связаны с выделением качественной информации о важных закономерностях взаимодействия сейсмических волн со слоисто-неоднородными грунтами, фундаментами и основаниями, конструкциями зданий и сооружений различного назначения, трубопроводных систем.

Полученные результаты и установленные закономерности могут быть применены для решения широкого круга задач в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства, в области создания скоростного электротранспорта и др. Для эффективного решения возникающих при разработке современных проектов высокоскоростного электрифицированного транспорта необходимы знания закономерностей взаимодействия сейсмических волн со сложнопостроенными структурами. Среди этих задач можно отметить, например, учет влияния физико-механической и геометрической структуры неоднородных грунтов на интенсивность сейсмических волн; изучение свойств грунтов и природных экранирующих систем; разработка эффективных искусственных сейсмозащитных систем (сейсмозащитных



структурно-неоднородных экранов, оснований, фундаментов зданий и сооружений различного назначения, экранирующих поясов и т. п.); оптимизация выбора распределения неоднородностей в конструкциях ограждений с целью обеспечения их наиболее эффективной сейсмоустойчивости.

**Экранирование с учетом зеленых насаждений.** Рассмотрим два варианта экранирующей среды.

1. Для соснового леса с электромагнитными параметрами:  $\epsilon_r = 4$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma = 0,33 \cdot 10^{-6}$  1/Ом·м; толщина преграды  $d = 1$  м;  $d = r$ ;  $f = 10^6$  Гц;  $\dot{\gamma} = 2,07(1 + j) \cdot 10^{-3}$  1/м;  $Z_0 = 377$  Ом;  $Z_1 = 16,3(1 + j) \cdot 10^3$  Ом.

2. Для дубового бора с электромагнитными параметрами:  $\epsilon_r = 3,5$ ,  $\mu_r = 1$ ,  $\sigma = 0,14 \cdot 10^{-6}$  1/Ом·м; толщина преграды  $d = 1$  м;  $d = r$ ;  $f = 10^6$  Гц;  $\dot{\gamma} = 10,86(1 + j) \cdot 10^{-2}$  1/м;  $Z_0 = 377$  Ом;  $Z_1 = 36,3(1 + j)$  Ом.

Выполнены расчеты коэффициентов экранирования для магнитных напряженностей ЭМП для соснового леса. Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Было установлено, что на затухание магнитных напряженностей ЭМП частотой  $f = 50$  Гц ( $\omega = 2\pi f = 314$  с<sup>-1</sup>) зеленые насаждения практически не влияют. Ощутимое влияние начинается с частот  $f > 1000$  Гц. Что же касается частот  $f > 10^6$  Гц, то они затухают, проходя через зеленые насаждения, полностью.

## 5. Заключение

Проведенные ориентировочные расчеты экранирующих характеристик природных сред дают представление об их эффективности. В условиях густонаселенной местности использование природных

экранов может оказаться полезным для снижения электромагнитной нагрузки на среду. К тому же это не требует больших финансовых затрат.

Так, при озеленении урбанизированного пространства предпочтение следует отдавать многолетним деревьям и кустарниковым растениям с хорошими электромагнитными свойствами. Наряду с тем, что они снижают электромагнитную нагрузку на окружающую среду, многолетние зеленые насаждения, как показывают исследования (см., например, в работе [5]), воздействуют оздоравливающе на человека своими биоэнергетическими полями. Среди наиболее энергетически полезных деревьев, произрастающих в средних широтах, называют ясень, клен, дуб, липу и каштан. Среди деревьев, которые особенно хороши для городского озеленения, называют рябину, калину и черемуху. Отмеченные растения значительно полезнее и дешевле для городского бюджета, чем однолетние цветы, запленившие улицы наших городов (например, Санкт-Петербурга и Москвы).

## Список литературы

1. **Аполлонский С. М.** Электромагнитное экранирование: Т. I. Теория электромагнитного экранирования: Монография. — Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. — 486 с.
2. **Аполлонский С. М.** Электромагнитное экранирование: Т. II. Экранирование в инженерной практике: Монография. — Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. — 180 с.
3. **Аполлонский С. М.** Справочник по расчету электромагнитных экранов. — Л.: Энергоатомиздат, 1988. — 224 с.
4. **Schelkunoff S. A.** Electromagnetic waves // D. van Nostrand Company. — New York; Toronto; London, 1948. P. 188–241.
5. **Аполлонский С. М., Каляда Т. В., Синдаловский Б. Е.** Безопасность жизнедеятельности человека в электромагнитных полях: Учеб. пособие. — СПб.: Политехника, 2006. — 263 с.

**S. M. Apollonskiy**, Professor, e-mail: smapollon@yahoo.com, St. Petersburg University of the Fire Service of Emercom of Russia

## The Role of Natural Screens to Reduce Electromagnetic Load in an Urban Space

*The role of natural screens (air, water, soil and vegetation) in reducing electromagnetic load in an urban space. Are examples of the calculation of effective screens with helping of methods theory long lines of differential equations of mathematical physics. Makes recommendations that may help to reduce the electromagnetic field strengths and thus contribute to the electromagnetic safety of technical equipment and human.*

**Keywords:** electromagnetic field, environment, water environment, wood, soil, electromagnetic safety of technical equipment, electromagnetic human security, electromagnetic load, urbanized space

### References

1. **Apollonskiy S. M.** Elektromagnitnoe ekranirovanie: T. I. Teoriya elektromagnitnogo ekranirovaniya: Monografiya. Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. 486 p.
2. **Apollonskiy S. M.** Elektromagnitnoe ekranirovanie: T. II. Ekranirovanie v inzhenernoj praktike: Monografiya. Saarbrücken (Germany): Palmarium Academic Publishing, 2013. 180 p.
3. **Apollonskiy S. M.** Spravochnik po raschjotu elektromagnitnykh ekranov. L.: Energoatomizdat, 1988. 224 p.
4. **Schelkunoff S. A.** Electromagnetic waves // D. van Nostrand Company. New York; Toronto; London, 1948. P. 188–241.
5. **Apollonskiy S. M., Kaljada T. V., Sindalovskij B. E.** Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti cheloveka v elektromagnitnykh polyakh: Ucheb. posobie. SPb.: Politehnika, 2006. 263 p.

**А. Ф. Оброков**, канд. биол. наук, доц. кафедры, e-mail: alexobr47@mail.ru,  
Томский государственный архитектурно-строительный университет

## Применение методов биологической обратной связи для коррекции стрессовых состояний

*Описаны признаки профессионального стресса, а также причины его возникновения. Рассмотрены методы коррекции стрессовых состояний и их последствий. Основное внимание уделено методам биологической обратной связи. Наиболее подробно рассмотрен метод биологической обратной связи с использованием кожно-гальванической реакции.*

**Ключевые слова:** профессиональный стресс, коррекция стрессовых состояний, биологическая обратная связь, кожно-гальваническая реакция, стрессоустойчивость

В настоящее время основными причинами снижения производительности труда у работников многих профессий являются различные виды профессионального стресса. Стресс является причиной ухудшения как физического, так и психического состояния здоровья работников.

В классическом смысле стресс — это неспецифическая общая реакция организма на внешние воздействия с целью адаптации к этому воздействию [1]. Если сила действия стрессового фактора, а также длительность его действия не превышают определенных пределов, значения которых индивидуальны для каждого человека, то стресс является для него полезным. Происходит тренировка механизмов адаптации, и человек становится устойчивым к последующим стрессам. Однако превышение порогов стресса по силе действия либо по времени приводит к истощению и срыву адаптационных механизмов. Следствием этого является возникновение различного рода функциональных нарушений. Чаще всего это нервно-психические дисфункции: быстрая утомляемость, раздражительность, повышенная тревожность, депрессия, астения. Это крайне отрицательное проявление стресса в научной литературе получило название дистресса [2]. Впоследствии, если уровень стрессового фактора не снижается, могут развиваться более серьезные патологии, например, такие как гипертония, ишемическая болезнь сердца, инфаркт, инсульт [3].

В настоящее время состояние стресса часто возникает у человека при выполнении им своих производственных обязанностей. Такой стресс назван профессиональным [4]. Патологические последствия профессионального стресса, как правило, возникают, когда интеллектуальная и психоэмоциональная нагрузка при выполнении производственных обязанностей превышает возможности мозга и психики человека, или же производственная

деятельность в течение длительного времени вызывает у человека отрицательные эмоции.

Появившийся в последнее время термин "синдром менеджера" [5], симптомы которого практически полностью совпадают с симптомами профессионального стресса, указывает на вид деятельности, наиболее часто приводящий к возникновению стресса.

Причинами профессионального стресса могут являться: высокий темп работы, необходимость переработки больших объемов информации за ограниченный промежуток времени, высокая ответственность за допущенную ошибку, несоответствие вида деятельности уровню знаний и навыков работника, необходимость работы в ночное время, межличностные конфликты в коллективе [4]. В результате возникновения стресса ухудшаются психофизиологические характеристики человека, что приводит к снижению производительности труда, способности принимать ответственные решения и т. п. Наступает психическое и физическое утомление.

Для поддержания работоспособности человека, сохранения его здоровья было предложено множество методов коррекции стрессовых состояний. Все существующие методы можно подразделить на несколько видов. Важнейшие из них перечислены ниже.

1. Медикаментозные. Применяются фармацевтические препараты различных групп, воздействующие на биохимические процессы в центральной нервной системе. Недостатком этих методов является то, что некоторые из применяемых препаратов (транквилизаторы, антидепрессанты) могут вызвать привыкание, вследствие чего появляются проблемы при их отмене, возникает патологическая зависимость [6].

2. Психотерапевтические. Применяются с участием другого человека, психотерапевта. Нужно



отметить, что эффективность психотерапии во многом зависит от квалификации психотерапевта, а также от метода, который он использует [7].

3. Психофизиологические. В этих методах воздействие осуществляется на физиологические процессы, происходящие в головном мозге и организме в целом. Психофизиологические методы можно подразделить на следующие два вида:

— методы, не использующие технические средства; к ним можно отнести такие широко применяемые методы, как аутотренинг и медитацию;

— методы, использующие технические средства; по мнению автора, наиболее перспективным из них является метод биологической обратной связи (БОС).

Биологическая обратная связь (в англоязычной литературе — biofeedback) представляет собой метод, с помощью которого человек может самостоятельно регулировать свои физиологические функции и процессы, обычно не поддающиеся произвольному управлению. К ним можно отнести частоту пульса, температуру кожи, электрическое сопротивление участка кожи, уровень напряжения гладких мышц, соотношение частот основных ритмов электрической активности мозга и многие другие физиологические параметры. Для осуществления регуляции уровень физиологического параметра определяется с помощью специального датчика, сигнал с которого преобразовывается и передается на устройство отображения информации в виде определенных образов.

Для преобразования и отображения информации обычно применяется компьютер с монитором. Человек наблюдает за образом сигнала, вид которого соответствует величине физиологического параметра, и пытается привести его к желательному состоянию. Таким образом, с помощью технических средств формируется дополнительная для организма обратная связь через внешнюю среду. Выведение изменений физиологических функций на уровень сознания позволяет обучить человека сознательному, волевому управлению этими функциями [8, 9].

Важнейшим качеством метода БОС является то, что человек из пассивного объекта врачебного вмешательства превращается в активный субъект, который сам управляет своим психофизиологическим состоянием, прилагая волевые усилия для его изменения в нужном направлении.

Метод БОС по своему механизму действия индивидуален для каждого человека. Сознательная волевая саморегуляция физиологических параметров происходит на основе специфических свойств центральной нервной системы и особенностей психических процессов человека, производящего саморегуляцию. Если в методе аутотренинга информация об изменениях значений

физиологических параметров отражается в сознании в виде неясных ощущений, то в методе БОС информация представлена в виде четких визуальных образов. Вследствие этого метод БОС можно рассматривать как развитие метода аутотренинга, позволяющий достичь большей эффективности.

Экспериментально доказано, что метод БОС эффективен при коррекции состояний, вызванных длительной психоэмоциональной нагрузкой, таких как тревога, страх, депрессия, эмоциональная нестабильность и т. д. [10].

В настоящее время разработаны методы БОС, позволяющие произвольно регулировать множество физиологических процессов. Для коррекции стрессовых состояний, снятия эмоционального напряжения и тревоги чаще всего используются: 1) БОС по электромиограмме (ЭМГ) мимических мышц лица; 2) БОС по температуре кистей рук; 3) БОС по кожно-гальванической реакции (КГР).

*БОС по ЭМГ мимических мышц лица.* Известно, что мимические мышцы лица непроизвольно напрягаются при тревоге и эмоциональном напряжении. Снижение их тонуса с помощью метода БОС по ЭМГ мышц в результате их управляемой релаксации приводило к нормализации психоэмоционального состояния человека [11].

*БОС по температуре кистей рук.* В состоянии стресса происходит спазм периферических артерий, и температура кожи кистей рук снижается. Для снятия стрессового состояния, используя второй метод БОС, человек внушает себе, что кисти его рук теплеют, наблюдая за подъемом температуры на экране монитора [4].

*БОС по кожно-гальванической реакции (КГР).* Одним из наиболее информативных и в то же время простых для регистрации физиологических параметров является кожно-гальваническая реакция [12]. Она определяется по изменению электрического сопротивления кожи на ладонях и пальцах рук. В настоящее время вместо термина КГР иногда используют новый термин — электрическая активность кожи (ЭАК) [13]. Кожно-гальваническая реакция позволяет регистрировать изменения психоэмоционального состояния человека, возникновение тревоги и стресса и определять степень их выраженности. Важным преимуществом БОС по КГР является то, что при простоте регистрации, метод КГР является высокочувствительным к изменениям психоэмоционального состояния человека. Это обусловлено тем, что в управлении потовыми железами, определяющими КГР, наряду с вегетативной нервной системой участвуют глубокие структуры мозга — гипоталамус и ретикулярная формация, а также кора больших полушарий [13]. Вследствие этого БОС по КГР наиболее часто используется для коррекции стрессовых состояний [14, 15]. Целесообразность

и эффективность использования метода БОС для снятия психоэмоционального напряжения и коррекции стрессовых состояний в настоящее время уже не вызывает сомнений.

В то же время существует ряд проблем, касающихся использования метода БОС и требующих своего решения. Одной из таких проблем является повышение эффективности метода. Такая попытка была предпринята автором работы [16]. Им была использована модификация БОС по КГР с помощью отрицательного эмоционального подкрепления. Результаты экспериментов показали увеличение эффективности применения БОС. Нормализация психоэмоционального состояния испытуемых при использовании дополнительного воздействия достигалась при меньшем количестве сеансов БОС-регуляции. Представляется целесообразным дальнейший поиск способов повышения эффективности данного метода.

Еще одной задачей является сохранение эффекта стрессоустойчивости в промежутках между сеансами БОС. Сохранение и увеличение длительности полученных результатов позволит увеличить работоспособность людей, имеющих низкий порог стрессоустойчивости. Для решения этой проблемы представляет интерес применение метода БОС в сочетании с медикаментозным и психотерапевтическим методами снятия психоэмоционального напряжения.

#### Список литературы

1. Селье Г. Стресс без дистресса. — М.: Прогресс, 1979. — 126 с.
2. Маклаков А. Г. Общая психология. — СПб.: Питер, 2008. — 583 с.
3. Гринберг Дж. Управление стрессом. — СПб.: Питер, 2002. — 496 с.
4. Щербатых Ю. В. Психология стресса. — М.: Эксмо, 2008. — 304 с.

5. Лысенко Н. Б. Синдром менеджера. [Электронный ресурс] // Медицинский центр XXI век. Медицина каждого дня. 2013. URL: <http://www.mc2.ru> (дата обращения 20.04.2015).
6. Решетова Т. В., Мазурок В. А., Березина Н. Н., Отвагина Т. В. Вредные привычки у врачей: лечение и профилактика // Безопасность жизнедеятельности. — 2014 — № 4. — С. 14—20.
7. Лаутербах В. Эффективность психотерапии: критерии и результаты оценки // Психотерапия: от теории к практике. Материалы I съезда Российской Психотерапевтической Ассоциации. — СПб., изд. Психоневрологического института им. В. М. Бехтерева, 1995. — С. 28—41.
8. Захарова В. В., Колл Р., Сохадзе Э. М., Штарк М. Б. Биоуправление. Итоги и перспективы развития // Биоуправление-2. Теория и практика. Сборник научных трудов. — Новосибирск, 1993. — С. 13—19.
9. Биологическая обратная связь // Психологическая энциклопедия. СПб.: Питер, 2006. — 1096 с.
10. Королев А. Д. Динамика угасания фобических реакций в ходе тренингов с обратной связью // Прикладная психология как ресурс социально-экономич. развития России в условиях преодоления глобального кризиса: мат. II научно-практ. конф. — М., 2010, книга 3. — С. 108—110.
11. Черникова Л. А., Некрасова Е. М., Торопова Н. Г. Применение биологической обратной связи по электромиограмме в клинике нервных болезней // Биоуправление-2. Теория и практика. Сборник научных трудов. — Новосибирск, 1993. — С. 125—128.
12. Смирнов И. В., Безносок Е. В., Журавлев А. Н. Психотехнологии. — М.: Прогресс, 1996. — 416 с.
13. Психфизиология / Под ред. Ю. И. Александрова. — СПб.: Питер, 2014. — 464 с.
14. Борсуков А. В., Гельт Т. Д. Возможности применения тренажеров стрессоустойчивости в психосоматической медицине [Электронный ресурс] // Математическая морфология. Электрон. математич. и медико-биол. журнал. 2010., Т. 9. Вып. 1. URL: <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-25.html> (дата обращения 24.04.2015).
15. Глазкова В. А. Некоторые результаты использования навыка саморегуляции в процессе операторской деятельности // Биоуправление-2. Теория и практика. Сборник научных трудов. — Новосибирск, 1993. — С. 77—80.
16. Адамчук А. В. Технология повышения психической стрессоустойчивости на основе БОС-тренинга // Известия Южного федерального ун-та. Технич. науки. — 2008. — № 6. — С. 44—47.

A. F. Obrokov, Associate Professor, e-mail: alexobr47@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building

## Application of the Methods of Biofeedback for the Correction of Stress Conditions

*In article is given the generally accepted concept of stress. The effects of the action of stress on the human body, if the force exceeds the allowable stress for the individual threshold have been described. It described the symptoms of occupational stress and its causes. Methods of correction of stress conditions and their consequences have been considered. Briefly have been described the drug and psychotherapeutic methods. The focus is on the methods of correction using biofeedback. The mechanism of action of the biofeedback have been described. Biofeedback using galvanic skin response have been described most thoroughly. The ways to increase the effectiveness of this method have been considered.*

**Keywords:** occupational stress, correction of stress, biofeedback, galvanic skin response, stress resistance

#### References

1. Selye H. Stress bez distressa. M.: Progress, 1979. 126 p.

2. Maklakov A. G. Obshaia psihologiiia. SPb.: Piter, 2008. 583 p.
3. Grinberg G. Upravlenie stressom. SPb.: Piter, 2002. 496 p.
4. Sherbatyh U. V. Psihologiiia stressa. M.: Eksmo, 2008. 304 p.



5. **Lysenko N. B.** Sindrom menedzhera. Medicinskiy tsentr XXI vek. Medicina kazhdogo dnja.: 2013. URL: <http://www.mc21.ru> (data accessed 20.04.2015).
6. **Reshetova T. V., Mazurok V. A. Berezina N. N., Otvagina T. V.** Vrednye privychki u vrachev: lechenie i profilaktika. *Bezopasnost' zhinedejatel'nosti*. 2014. N. 4. P. 14–20.
7. **Lauterbah V.** Jefferktivnost' psihoterapii: kriterii i rezul'taty otsenki. *Psihoterapiia: ot teorii k praktike. Materialy 1 s'ezda Rossijskoj Psihoterapevt. Assotsiatsii*. SPb., izd. Psihonevrol. Institute im. V. M. Behtereva, 1995. P. 28–41.
8. **Zaharova V. V., Koll R., Sohadze E. M., Shtark M. B.** Bioupravlenie. Itogi i perspektivy razvitiia. *Bioupravlenie-2. Teoria i praktika. Sb. nauchnykh trudov*. Novosibirsk. 1993. P. 13–19.
9. **Biologicheskaja obratnaja svyaz'**. *Psihologicheskaja entsiklopedia*. SPb.: Piter, 2006, 1096 p.
10. **Kopolev A. D.** Dinamika ugasanii fobicheskikh reaktsiy b hode treningov s obratnoy svyaz'iu. *Prikladnaja psihologija kak resurs sotsial'no-ekonomich. Razvitiia Rossii v usloviiah preodoleniia global'nogo krizisa: mat. 2 nauchno-prakt. konf.* M., 2010, kn. 3. P. 108–110.
11. **Chernikoba L. A., Necrasova E. M., Toropva N. G.** Primenenie biologicheskoy obratnoy svyazi po jelektromiogramme v klinike nervnykh bolezney. *Bioupravlenie-2. Teoria i praktika. Sb. nauchnykh trudov*. Novosibirsk, 1993. P. 125–128.
12. **Smirnov I. V., Beznosuk E. V., Zhuravlev A. N.** Psihotehnologii. M.: Progress, 1996. 416 p.
13. **Psihofiziologija**. Pod red. U. I. Aleksandrova. SPb.: Piter, 2014. 464 p.
14. **Borsukov A. V., Gel't T. D.** Vozmozhnosti primeneniia trenazherov streccouctoychivosti v psihosomaticheskoy medicine. *Matematich. Morfologija. Jelektronn. Matematich. i medico-biol. zhurnal*. 2010. T. 9. V. 1. URL: <http://sgma.alpha-design.ru/MMORPH/N-25-html> (data accessed 24.04.2015).
15. **Glazkova V. A.** Nekotorye rezul'taty ispol'zovaniia navyka samoreguliacii v processe operatorskoy deiatel'nosti. *Bioupravlenie-2. Teoriia i praktika. Sb. nauchnykh trudov*. Novosibirsk, 1993. P. 77–80.
16. **Adamchuk A. V.** Tehnologija povysheniia psihicheskoy stressoustoychivosti na osnove BOS-treninga. *Izvestiia Iuzhnogo federal'nogo un-ta. Tehnich. Nauki*. 2008. N. 6. P. 44–47.

## ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ INDUSTRIAL SAFETY

УДК 662.93:665.6

**В. Д. Катин**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф. кафедры, **И. В. Вольхин**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц. кафедры, **А. Ю. Березуцкий**, вед. инженер<sup>2</sup>, асп.<sup>1</sup> кафедры,  
e-mail: [BerezutskyAY@yahoo.com](mailto:BerezutskyAY@yahoo.com)

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск,  
<sup>2</sup> АО "ННК-Хабаровский НПЗ"

### Способ повышения безопасности работы инжекционных горелок при сжигании нефтезаводских газов переменного состава

*Рассмотрены технологические особенности сжигания попутных нефтезаводских газов с изменяющим-ся химическим составом в действующих газовых инжекционных горелках трубчатых печей. Приведены составы и теплофизические свойства газов нефтепереработки, применяемых в качестве топлива и вырабатываемых на одной из технологических установок Киришского НПЗ в различные периоды года. Показаны особенности горения водородсодержащих газов с точки зрения безопасности эксплуатации горелочных устройств инжекционного типа. Выявлены эксплуатационные трудности при работе газовых инжекционных горелок, установленных на трубчатых печах. Обосновано практическое применение числа Воббе при сжигании в горелке различных нефтезаводских газов переменного состава, указывающего на их взаимозаменяемость. Рекомендованы апробированные в заводских условиях способы настройки нормальной работы инжекционных горелочных устройств и повышения их безопасной эксплуатации и экологической эффективности при сжигании нефтезаводских газов с изменяющимся составом.*

**Ключевые слова:** трубчатые печи, нефтеперерабатывающие заводы, газовые инжекционные горелки, нефтезаводские газы, водородсодержащие газы, переменный состав, число Воббе, способы повышения безопасности эксплуатации

#### Введение

Одной из особенностей работы трубчатых печей на НПЗ является использование в них

в качестве топлива попутных газов нефтепереработки, химический состав которых значительно колеблется в зависимости от назначения технологической установки. В связи с этим

полученные топливные газы можно условно разделить на газы установок гидроочистки, риформинга и первичной переработки нефти [1, 2]. Различный химический состав нефтезаводских газов определяет переменную теплоту сгорания топлива, составляющую 20,2...100 МДж/м<sup>3</sup>. При этом газы установок гидроочистки содержат в своем составе значительное количество водорода (до 81 % об.), так называемые водородсодержащие газы (ВСГ) с теплотой сгорания  $Q_H^P = 20...30$  МДж/м<sup>3</sup>. На установках риформинга содержание водорода в газах уменьшается до 30 %, но увеличивается в составе содержание углеводородов. Нефтезаводские газы установок первичной переработки нефти (АТ и АВТ) содержат в основном пропан-бутановые фракции с теплотой сгорания, достигающей 100 МДж/м<sup>3</sup> и более.

Очевидно, что использование в трубчатых печах природного газа наиболее целесообразно, если район расположения НПЗ газифицирован. Благодаря постоянству состава газа можно успешно решать технологические и экологические проблемы, возникающие при эксплуатации печей, а именно: эффективно управлять процессом горения топлива и свести до минимума выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Однако на большинстве заводов отрасли трубчатые печи технологических установок работают на попутном газообразном и жидком топливе, и проблема эффективного сжигания переменных по составу нефтезаводских газов без использования природного газа является до сих пор актуальной.

### Составы нефтезаводских газов и особенности их сжигания

Авторами в работах [2, 3] были проанализированы составы топливных газов, вырабатываемых на одной и той же технологической установке Киришского НПЗ в различные периоды года (см. таблицу).

Анализ табличных данных позволяет сделать вывод, что состав, плотность и теплота сгорания топливного газа, вырабатываемого на одной и той же установке, подвергаются заметным колебаниям: содержание водорода возрастает от нуля до 31,6 % об.; теплота сгорания газа изменяется от 67,2 до 103,1 МДж/м<sup>3</sup>, плотность газа колеблется от 1,45 до 2,29 кг/м<sup>3</sup>.

Непостоянство состава во времени и содержание большого количества водорода затрудняют эффективность и полноту сжигания топливных газов в печах, оборудованных стандартными инжекционными горелками типа ГИК, ГЭВК и ГГМ и других конструкций ВНИИнефтемаша [4]. Существенные колебания теплоты сгорания газа приводят к перерасходу топлива, так как практически становится невозможным поддерживать оптимальный коэффициент избытка воздуха. Все это требует определения путей рационального использования попутных топливных газов на НПЗ. Особенно проблематична технология сжигания ВСГ, которая имеет свои специфические особенности [5]. Скорость горения водорода в 2–5 раз выше скорости горения углеводородных газов. Следовательно, скорость подачи газовой смеси для ВСГ в камеру сгорания должна быть минимум в 2 раза больше, чем для углеводородных газов. Стабильное горение ВСГ может быть тогда, когда достигается интенсивное турбулентное перемешивание его с достаточным количеством воздуха. В печах, оснащенных существующими газовыми инжекционными горелками, газ смешивается с воздухом в топочной камере, что создает нестабильное пламя из-за слабой турбулизации потока ВСГ и воздуха, что объясняется недостаточной инжекцией воздуха вследствие неудачной аэродинамической схемы перемешивания, когда газовые струи выходят из сопел горелки параллельно потоку воздуха. Имеют место случаи проскока пламени в горелку и локального взрыва газовой смеси, что небезопасно для

Составы нефтезаводских газов (% об.) и их теплофизические характеристики в различные периоды года

Месяцы	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>
Май	—	0,02	2,80	9,90	44,28	38,32	4,68	2,26	100,60
Июнь	16,0	0,04	11,79	30,94	28,54	11,37	1,32	1,45	67,2
Июль	31,6	—	8,40	11,0	21,90	21,30	5,80	1,45	68,5
Август	—	—	6,10	13,20	33,30	32,70	14,70	2,29	103,1
Сентябрь	21,0	—	12,70	20,0	20,50	17,70	8,10	1,55	70,3



операторов, обслуживающих печи. Взрывоопасная смесь водорода с воздухом образуется при содержании воздуха 15 % об. Поэтому необходимо обеспечить безопасность эксплуатации газовых инжекционных горелок (ГИК-2, ГЭВК-500 и др.) при сжигании газов с изменяющимся компонентным составом. В связи с этим авторами разработан и рекомендован способ повышения безопасности эксплуатации инжекционных горелок подобного типа.

### Способ повышения безопасности работы горелок

Для нормального и безопасного сжигания различных по составу топливных газов в инжекционных горелках необходимо, чтобы основные характеристики (теплота сгорания и плотность) не изменялись в значительных пределах. Зависимость между теплотой сгорания газа и его плотностью определяется числом Воббе  $W_o$  [6], которое позволяет судить о взаимозаменяемости различных газов. Равенство чисел Воббе для двух различных газов указывает на их взаимозаменяемость, т. е. на возможность сжигания этих газов в одной горелке без внесения изменений в ее конструкцию:

$$W_{o1} = W_{o2} = \frac{Q_{H_1}^p}{\sqrt{\rho_1}} = \frac{Q_{H_2}^p}{\sqrt{\rho_2}} = \text{const}, \quad (1)$$

где  $Q_{H_1}^p$ ,  $\rho_1$  — низшая теплота сгорания и относительная (по воздуху) плотность для одного газа;  $Q_{H_2}^p$ ,  $\rho_2$  — то же для другого газа.

Число  $W_o$  характеризует тепловую мощность инжекционных горелок при постоянном давлении. Следует отметить, что взаимозаменяемость различных газов допустима также при условии постоянства значений следующих критериев: тепловой нагрузки, подсоса первичного воздуха, отрыва и проскока пламени, образования оксида углерода и других вредных компонентов в продуктах горения. По данным работы [6] в некоторых случаях удается достигнуть взаимозаменяемости двух газов за счет некоторого изменения давления газа перед горелкой, используя так называемое расширенное число Воббе:

$$W_{o1} = W_{o2} = Q_{H_1}^p \sqrt{\frac{P_1}{\rho_1}} = Q_{H_2}^p \sqrt{\frac{P_2}{\rho_2}} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $P$  — давление газа перед горелкой при сжигании газа с  $Q_H^p$  и  $\rho$ . Индексы 1 и 2 относятся соответственно к заменяемому и заменяющему нефтезаводским газам.

Взаимозаменяемость газов без существенных нарушений нормальной работы инжекционных горелок и печей в целом возможна при

колебаниях числа Воббе в пределах 5...7 % номинального значения. Использование числа  $W_o$  представляет практический интерес, так как оно дает универсальную оценку различных по составу нефтезаводских газов с точки зрения их безопасного сжигания.

Авторами данной статьи предлагается способ повышения безопасности обслуживания и устойчивости работы газовых инжекционных горелок при сжигании нефтезаводских газов переменного состава. Сущность метода заключается в использовании числа  $W_o$ , позволяющего оценить нормальное и безопасное горение различных по составу топливных газов. В соответствии с ГОСТ 21204—97 "Горелки газовые промышленные. Общие технические требования" горелки инжекционного типа могут не иметь регулируемых или сменных элементов для работы на газах с отклонениями чисел Воббе от расчетных, если фактическая тепловая мощность горелки при этом изменяется в пределах, не превышающих (0,95...1,1) от номинальной тепловой мощности. Следовательно, рекомендуемый авторами способ настройки нормального режима работы инжекционной горелки без изменения ее конструктивных размеров состоит в определении расчетного давления газообразного топлива перед горелочным устройством. Давление газа, которое необходимо поддерживать перед горелкой, соответствующее разрешенному по ГОСТ 21204—97 диапазону изменения номинальной тепловой мощности горелки, можно определить расчетным путем из выражения [2]:

$$P_2 = (0,9...1,1) P_1 \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \left( \frac{Q_{H_1}}{Q_{H_2}} \right)^2. \quad (3)$$

В случае изменения действительной тепловой мощности горелки в пределах, превышающих указанные отклонения номинальной теплопроизводительности, при переходе на газ другого состава необходимо изменить диаметр газового сопла горелки. В отличие от известных аналогов при реализации рекомендуемого авторами способа не требуется дополнительных материальных затрат, конструктивной переделки элементов инжекционной горелки и даже ее замены. Данный способ прост и удобен в практическом осуществлении, повышает эффективность и безопасность сжигания нефтезаводских газов с различным компонентным составом, включая ВСГ.

Эффектом от применения предлагаемого способа является устранение нарушений устойчивой работы инжекционных горелок, повышение безопасности их эксплуатации, а также уменьшение потерь теплоты от химического недожога

топлива и сокращение выбросов загрязняющих веществ с продуктами сгорания топлива. Данные рекомендации успешно используются на практике энергетическими службами Ачинского, Киришского и Хабаровского НПЗ [3, 7]. Предлагаемый в статье способ корректировки давления газа перед инжекционной горелкой позволил снизить выбросы оксида углерода и углеводородов и устранить случаи проскока пламени в горелку при сжигании нефтезаводских газов переменного состава.

### Выводы

Таким образом, предлагаемый в статье метод настройки работы инжекционных горелок можно реально рекомендовать к внедрению и на других предприятиях отрасли при сжигании газов переменного состава. Это обеспечит безопасность сжигания топливных газов в горелочных устройствах инжекционного типа с минимальными выбросами токсичных продуктов сгорания.

### Список литературы

1. **Равич М. Б.** Газ и эффективность его использования в народном хозяйстве. — М.: Недра, 1997. — 246 с.
2. **Березуцкий А. Ю., Катин В. Д.** Теплофизические свойства нефтезаводских газов, применяемых в качестве топлива в трубчатых печах и особенности их сжигания // Тр. Всерос. молодежной науч.-практ. конф. / под ред. А. Ф. Серенко. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2013. — С. 208—211.
3. **Катин В. Д., Вольхин И. В.** Малоотходные и энерго-сберегающие технологии сжигания топлива на НПЗ. — Владивосток: Дальнаука, 2013. — 199 с.
4. **Горелки для трубчатых печей.** Информация о новых разработках ВНИИнефтемаша. — М.: АООТ "ВНИИнефтемаш", 1999. — 40 с.
5. **Катин В. Д., Келарев В. И.** Технологические проблемы совместного и раздельного сжигания нефтезаводских газов и мазута в горелочных устройствах печей // Техническая безопасность и охрана труда в химической и нефтехимической промышленности: Экспресс-информация. — М.: НИИТЭхим, 2001. — Вып. 2. — С. 32—36.
6. **Иссерлин А. С.** Основы сжигания газового топлива. — СПб.: Недра, 1997. — 336 с.
7. **Катин В. Д., Киселев И. Г.** Результаты исследований экологотехнического уровня эксплуатации горелок котельно-печного парка Ачинского НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. — 1999. — № 2. — С. 38—41.

**V. D. Katin<sup>1</sup>**, Professor, **I. V. Volhin<sup>1</sup>**, Associate Professor,  
**A. Y. Berezutskiy**, Leading Engineer<sup>2</sup>, Postgraduate<sup>1</sup>,  
e-mail: BerezutskyAY@yahoo.com

<sup>1</sup> Dalnevostochny State Transport University, Khabarovsk,

<sup>2</sup> AO "NOC-Khabarovsk Oil Refinery"

## Ways to Improve the Safety of Injection Burner when Burning Refinery Gases Variable Composition

*The article describes the technological features of flaring refinery gases with varying chemical composition by gas injection tube furnace burners. Lists the compositions of refinery gases and their thermal properties, are used as fuel and produced on the same production apparatus Kirishi refinery at different times of the year. The features of the combustion of hydrogen-containing gas from the point of view of safety of operation of burners injection type. Identified operational difficulty with the injection gas burners installed in tubular furnaces. Reasonably practical application Wobbe index from the combustion in the burner various refinery gases of variable composition, indicating their interchangeability. Recommended tested at the factory methods to configure the normal operation of the injection burners and enhance their safe operation and environmental efficiency of the combustion of refinery gases of varying composition.*

**Keywords:** tube furnaces, refineries, gas injection burners, refinery gases, hydrogen gas, variable composition, Wobbe index, ways to improve the safety of operation

### References

1. **Ravich M. B.** Gaz i jeffektivnost' ego ispol'zovanija v narodnom hozjajstve. M.: Nedra, 1997. 246 p.
2. **Berezuckij A. Ju., Katin V. D.** Teplofizicheskie svojstva neftezavodskih gazov, primenjaemyh v kachestve topliva v trubchatyh pechah i osobennosti ih szhiganiya. Tr. Vseross. molodezhnoj nauch.-prakt. konf. / pod red. A. F. Serenکو. Habarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2013. P. 208—211.
3. **Katin V. D., Vol'hin I. V.** Malootходnye i jenergosberegajushhie tehnologii szhiganiya topliva na NPZ. Vladivostok: Dal'nauka, 2013. 199 p.
4. **Горелки длja трубчатых печей.** Informacija o novyh razrabotkah VNIIneftemasha. M.: AOOT "VNIIneftemash", 1999. 40 p.
5. **Katin V. D., Kelarev V. I.** Tehnologicheskie problemy sovместного i razdel'nogo szhiganiya neftezavodskih gazov i mazuta v gorelочnyh ustrojstvah печей. *Tehnicheskaja bezopasnost' i ohrana truda v himicheskoj i neftehimicheskoj promyshlennosti: Jekspress-informacija.* M.: NIITJehim, 2001. Vyp. 2. P. 32—36.
6. **Isserlin A. S.** Osnovy szhiganiya gazovogo topliva. SPb.: Nedra, 1997. 336 p.
7. **Katin V. D., Kiselev I. G.** Rezul'taty issledovanij jekologotehnicheskogo urovnja jekspluatacii gorelok kotel'no-pechnogo parka Achinskogo NPZ. *Neftepерerabotka i neftehimija.* 1999. N. 2. P. 38—41.

УДК 614.8.01

**В. А. Ульянов**, канд. техн. наук, e-mail: wlad0909@yandex.ru, Начальник отдела, Центральная дирекция по ремонту пути, филиал ОАО "РЖД", г. Москва

## Концепция развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте

*Повышение безопасности и эффективности работы железнодорожного транспорта, стратегия развития железнодорожного транспорта Российской Федерации, принципы обеспечения безопасности, система менеджмента безопасности движения, концепция развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте.*

**Ключевые слова:** технологическая безопасность, методы и принципы управления безопасностью, концепция развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте

В Стратегии обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге "РЖД" [1] реализованы основные инициативы по внедрению элементов риск-менеджмента, факторных количественных моделей оценки рисков, технического аудита, управления рисками, связанными с безопасностью движения на инфраструктуре железнодорожного транспорта и др. Однако, как показала практика, они нуждаются в дальнейшем системном развитии.

Следует отметить, что безопасность железнодорожного транспорта — это состояние железнодорожного транспорта в целом, определяемое через состояние его подсистем и их взаимодействия между собой, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу; окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений, при условии соблюдения установленных правил нахождения объектов и людей в зоне действия железнодорожного транспорта [2].

Повышение безопасности и эффективности работы железнодорожного транспорта в России осуществляется на основе целенаправленной научно-технической политики отрасли. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [3] сконцентрирована на пяти основных направлениях:

- управляющие информационные системы и новые технологии;
- новые технические средства;
- совершенствование финансовой, экономической и маркетинговой работы;

- безопасность движения;
- социальная защищенность.

Для реализации основных направлений Стратегии развития железнодорожного транспорта следует выдерживать уже существующие, заложенные ранее, и разрабатывать новые принципы обеспечения безопасности.

Проведенным анализом состояния безопасности движения установлено, что действующая система обеспечения безопасности движения в ОАО "РЖД" уже не дает существенной динамики снижения относительного числа нарушений. Причем наблюдаемая в последние годы стагнация в снижении уровня нарушений безопасности не зависит от увеличения выделяемых материальных средств на технологию, обучение персонала, инвестиции [4].

Более того, как и прежде, главным фактором обеспечения безопасности движения остается административный контроль, т. е. ставка делается на управленческий аппарат. В осуществлении административного контроля задействовано огромное число руководителей ОАО "РЖД" разного уровня, что приводит к непроизводительным потерям управленческого ресурса.

Следует отметить, что увеличение контролирующих органов и усиление административного воздействия на владельцев перевозочного процесса и исполнителей для повышения уровня безопасности движения приведет к возрастанию негативного влияния на персонал, снизит его инициативу и эффективность. Опыт многих зарубежных и отечественных компаний показывает, что это приводит к еще большему искажению и сокрытию информации о допущенных нарушениях безопасности и существующих проблемах.

Есть мнение, что существующие методы управления безопасностью движения выходят за пределы возможностей. Это выражается в том, что стабильности и существенной динамики снижения аварийности не происходит.

Для существенного повышения уровня безопасности движения необходимо проведение целевых мероприятий, которыми является работа по развитию и преобразованию системы менеджмента безопасности движения, как базовой системы менеджмента, реализующей управленческие технологии применительно к процессам, связанным с безопасностью движения.

Из вышеизложенного следует, что существующую систему управления безопасностью движения на железнодорожном транспорте нельзя рассматривать как постоянную и неизменяемую систему. Необходимо пересматривать отдельные составляющие элементы этой системы и вносить корректирующие изменения и осуществлять действия для совершенствования системы с учетом современных требований, предъявляемых к обеспечению безопасности.

Основу любого вида безопасности создает технологическая безопасность — состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз при реализации используемых или проектируемых технологий [6], и, следовательно, на ее обеспечение должны быть нацелены управляющие воздействия индивида, общества и государства.

Для эффективного управления технологической безопасностью на железнодорожном транспорте необходимо осуществление постоянного мониторинга уровня технологической безопасности в целях оперативного реагирования на изменение факторов, влияющих на состояние защищенности объекта и персонала, и проведения необходимых превентивных мероприятий, направленных на предупреждение техногенных аварий и несчастных случаев.

Это обуславливает целесообразность разработки и практического применения новых принципов, направленных на повышение уровня безопасности в рамках существующей системы управления безопасностью на железнодорожном транспорте, и прежде всего — технологической безопасности.

В целом, для совершенствования системы управления безопасностью на железнодорожном транспорте ОАО "РЖД" планирует реализовать следующие принципы, направленные на повышение уровня безопасности:

— принцип достоверности данных по случаям нарушений безопасности;

— принцип справедливости в отнесении случаев нарушений безопасности по отдельным службам железной дороги;

— принцип результативности технического обучения и повышения квалификации персонала;

— принцип соблюдения координации действий всех участников перевозочного процесса;

— принцип вовлечения персонала в работу по улучшению безопасности;

— принцип постоянной поддержки ответственности в вопросах обеспечения безопасности движения.

Соответственно, чтобы обеспечить жизнедеятельность и стабильное функционирование этих принципов, необходимо произвести их синтез с составляющими элементами технологической безопасности, как основы безопасности.

Таким образом, можно сформулировать концепцию развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте (см. рисунок) как системы обеспечения технологической безопасности, основанной на идентификации объекта железнодорожного транспорта как объекта технического регулирования.

Такая система включает следующие подсистемы:

- Контроль за сертификацией технических устройств (средств), применяемых на железнодорожном транспорте.
- Контроль за сертификацией сооружений железнодорожного транспорта.
- Мониторинг состояния нормативно-правовой базы, регламентирующей процесс перевозки пассажиров и грузов, в том числе и опасных грузов с корректировкой нормативных документов.
- Контроль за выполнением действующих нормативно-правовых актов, регламентирующих процесс перевозки пассажиров и грузов, в том числе и опасных грузов.
- Мониторинг состояния технических средств, предназначенных для ликвидации аварийных и чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.
- Мониторинг готовности аварийно-спасательных подразделений железнодорожного транспорта к действиям по ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте.
- Мониторинг за подготовкой персонала, участвующего в процессе перевозки пассажиров и грузов, в том числе и опасных грузов.

Концепция развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте в качестве основных составляющих должна включать в себя:

— мониторинг состояния технических средств и сооружений железнодорожного транспорта;

— мониторинг состояния технологической безопасности на объектах железнодорожного транспорта;

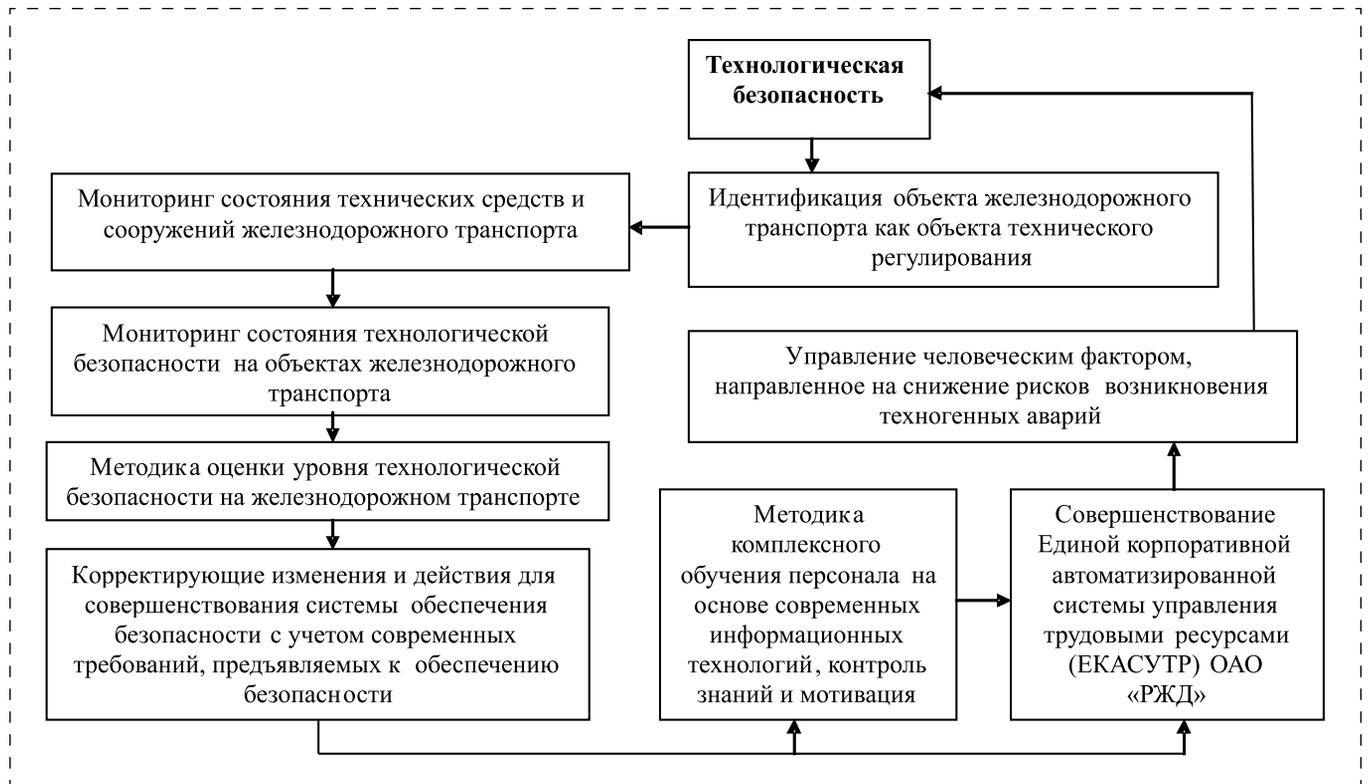


Схема концепции развития перспективных направлений повышения технологической безопасности на железнодорожном транспорте

— методику оценки уровня технологической безопасности на железнодорожном транспорте;

— методику комплексного обучения персонала, связанного с эксплуатацией объектов повышенной опасности железнодорожного транспорта, на основе современных информационных технологий;

— методику подготовки различных категорий работников железнодорожного транспорта, непосредственно связанных с перевозочным процессом, по вопросам обеспечения безопасности перевозок опасных грузов;

— управление человеческим фактором, направленное на снижение рисков возникновения производственного травматизма и техногенных аварий;

— культуру безопасности;

— мотивацию персонала в области обеспечения безопасности;

— постоянное совершенствование Единой корпоративной автоматизированной системы управления трудовыми ресурсами (ЕКАСУТР) ОАО "РЖД" в части контроля за деятельностью персонала и учета периодичности его обучения с применением современных информационных технологий;

— корректирующие изменения и действия для совершенствования системы обеспечения

безопасности с учетом современных требований, предъявляемых к обеспечению безопасности.

Комплекс корректирующих изменений и действий, направленный на управление человеческим фактором в системе обеспечения безопасности, позволит повысить уровень технологической безопасности, снизить риск возникновения производственного травматизма и техногенных аварий на железнодорожном транспорте.

### Список литературы

1. **Стратегия** обеспечения гарантированной безопасности и надежности перевозочного процесса в холдинге "РЖД". Утверждена распоряжением ОАО "РЖД" от 28 января 2013 г. № 197р.
2. **Терешина Н. П., Галабурда В. Г., Трихунков М. Ф.** и др. Экономика железнодорожного транспорта: Учеб. для вузов ж.-д. транспорта. — М.: УМЦ ЖДТ, 2006.
3. **Стратегия** развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 17.06.2008 г. № 877-р.
4. **Тишанин А. Г.** Новые принципы управления безопасностью движения // Евразия-Вести. — 2001. — № 1. — С. 4—5.
5. **Безопасность** в Евразии — 2002 / Под ред. В. Н. Кузнецова. — М.: Книга и бизнес, 2003. — 540 с.
6. **Лебедев О. Т.** Основы менеджмента: Учеб. пособие. — СПб.: Издательство СПбГТУ, 2001. — 388 с.

V. A. Ulyanov, Head of Division, e-mail: wlad0909@yandex.ru, Central Directorate for track repair — branch of JSC "RZD", Moscow

## The Concept of Development of Prospective Directions of Improvement of Technological Safety in Railway Transport

*Improving the safety and efficiency of railway transport development Strategy of railway transport of the Russian Federation, principles of safety management system traffic safety, the concept of development of promising areas for improving process safety in railway transport.*

**Keywords:** process safety, methods and principles of safety management, the concept of development of promising areas for improving process safety in railway transport

### References

1. **Strategiya** obespecheniya garantirovannoi bezopasnosti i nadezhnosti perevoznogo protessa v kholdinge "RZhD". Utverzhdena rasporyazheniem OAO "RZhD" ot 28 yanvarya 2013 g. N. 197r.
2. **Tereshina N. P., Galaburda V. G., Trikhunkov M. F.** et al. *Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: Ucheb. dlya vuzov zh. d. transporta.* M.: UMTs ZhDT, 2006.
3. **Strategiya** razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF ot 17.06.2008 g. N. 877-r.
4. **Tishanin A. G.** Novye printsipy upravleniya bezopasnost'yu dvizheniya. *Evrasiya-Vesti.* 2011. N. 1. P. 4—5.
5. **Bezopasnost'** v Evrazii — 2002 / Pod red. V. N. Kuznetsova. M.: Kniga i biznes. 2003. 540 p.
6. **Lebedev O. T.** *Osnovy menedzhmenta: Ucheb. Posobie.* SPb.: Izdatel'stvo SPb GTU, 2001. 388 p.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ ROAD SAFETY

УДК 629.047

A. С. Хлюпин, асп., e-mail: ahlyupin@yandex.ru, Пермский национальный исследовательский политехнический университет

### Анализ методов обеспечения безопасности автомобилей при перестроении

*Статья посвящена анализу существующих автомобильных систем, направленных на обеспечение безопасного перестроения транспортных средств. Указаны преимущества, недостатки и особенности современных автомобильных систем безопасности от разных автоконцернов. С целью повышения безопасности автомобилей при маневрировании определены и рассмотрены дополнительные показатели, необходимые для построения интервала безопасности. Кроме того, указаны преимущества при учете таких показателей в проектируемой системе. Внесение интервала безопасности в совокупность показателей, обеспечивающих безопасность при перестроении, позволит снизить количество дорожно-транспортных происшествий по причине нарушения правил маневрирования.*

**Ключевые слова:** система помощи при перестроении, маневрирование, интервал безопасности, "мертвая" зона, дорожные условия, разгонные и тормозные характеристики, дорожно-транспортное происшествие, система оповещения

Очень часто причиной дорожно-транспортного происшествия становится маневр перестроения из одного ряда в другой. На многих современных автомобилях появились системы, которые позволяют

выполнять эти маневры с большей безопасностью. Это так называемые системы помощи при перестроении. Еще их называют системами информирования о "мертвых" зонах, системами безопасного



перестроения и т. д. Все они служат для одной цели — предупредить об опасности столкновения с автомобилями, находящимися в "слепой" зоне.

В большинстве случаев автоконцерны используют собственные разработки в сфере помощи при перестроении [1]. Концерны Volkswagen и Audi в своих автомобилях применяют систему SideAssist. На машинах марки BMW стоит система LCW (LaneChangeWarning). Концерн Mercedes-Benz применяет систему BlindSpotAssist (BSA). В японском концерне Mazda разработали систему RearVehicleMonitoring (RVM). Американский автомобильный гигант Ford использует систему BLISTM (BlindSpotInformationSystem). Концерн Volvo — BLIS (BlindSpotInformationSystem). В премиум сегменте качественную систему помощи при перестроении разработал Porsche — она называется SWA.

Рассмотрим более подробно некоторые из перечисленных систем.

Систему **SideAssist**, разработанную концерном Audi, несколько раз признавали самой надежной. В качестве датчиков в этой системе применены радары [1]. Они контролируют пространство сзади и по бокам от автомобиля (рис. 1).

Если водитель начинает маневр перестроения, то система, если есть помехи для движения, запускает предупредительный сигнал. Чтобы включить систему, необходимо щелкнуть на кнопку на рычаге поворотников. При этом работа SideAssist начнет только при скорости не ниже 60 км/ч, что является существенным недостатком, так как в плотном транспортном потоке, например в городе, такая система не может обеспечить безопасность маневров. Специальные радары, установленные в корпусе боковых наружных зеркал заднего вида, излучают радиосигнал в мертвые зоны. По отражению сигнала система определяет наличие автомобилей, мешающих маневру.

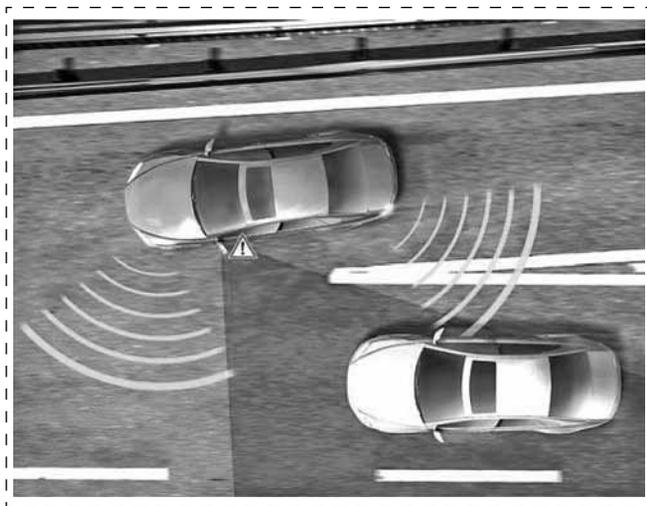


Рис. 1. Работа системы SideAssist

Если электроника системы SideAssist примет решение, что маневр опасен, включится сигнальная лампа, которая работает в двух режимах. Если индикатор горит постоянно, то какой-то объект находится в мертвой зоне. Если начать перестроение при наличии препятствий, то лампа будет мигать. Момент перестроения система определяет по включению поворотников.

Два радарных датчика на 24 ГГц в заднем бампере контролируют область рядом и сзади автомобиля, чтобы предупредить водителя (дополнительно к изображению в зеркале заднего обзора) о любых приближающихся транспортных средствах. Диапазон дальности датчиков — до 50 м.

Система BLIS от концерна Volvo работает по другому принципу [1]. Функцию радара в ней выполняет миниатюрная цифровая камера, которая может снимать до 25 кадров в секунду. Такая система имеет существенный недостаток — камера низкоэффективна при плохих погодных условиях, например, в ливень или метель. Включается система BLIS при помощи кнопки, расположенной на панели приборов. Работать автоматика начинает со скорости в 10 км/ч.

Система мониторинга концерна Mazda RearVehicleMonitoring (RVM) [2] имеет два датчика радара, по одному на каждой стороне автомобиля. Их устанавливают в заднем бампере для измерения расстояния и скорости относительно находящихся поблизости транспортных средств.

На скорости выше 60 км/ч система должна информировать водителя, не приближается ли к нему сзади на большой скорости в пределах 50 м до автомобиля какое-либо транспортное средство, или не находится ли оно в так называемой мертвой зоне. Система Mazda RVM должна непрерывно держать в поле зрения находящиеся сзади транспортные средства на случай возникновения критических ситуаций при смене полос движения.

Сигнальная лампочка на внешнем зеркале должна предупреждать водителя и в случае, если транспортное средство невидимо, поскольку находится в "мертвой" зоне с той же стороны, и в случае, если оно приближается и окажется в этой зоне через 5 с. Когда водитель использует указатель поворота, чтобы сигнализировать о смене полосы движения в такой критической ситуации, индикатор предупреждения начинает мигать в сопровождении звукового сигнала.

Система зависит от однозначного обнаружения объектов двумя радарными датчиками. Однако качество обнаружения может искажаться при неблагоприятных погодных условиях (сильный ливень, снег и т. д.). Работе радаров могут мешать также установленный автоприцеп или повреждения в области заднего бампера. В этих случаях система Mazda RVM должна проинформировать, что не может работать полноценно.

**Сравнительный анализ систем обеспечения безопасности автомобилей при маневрировании**

Показатели	SideAssist (Audi)	BLIS (Volvo)	RearVehicle-Monitoring RVM (Mazda)	LaneChange-Warning LCW (BMW)	BlindSpotAssist (Mercedes-Benz)	Проектируемая система
Контроль автомобиля вне "мертвой" зоны	Нет	Нет	Да	Да	Нет	Да
Рабочие скорости, км/ч	От 60	От 10	От 60	От 10	От 50	От 10
Применяемые датчики	Радары	Камеры	Радары	Радары + камеры	Радары	Радары
Дальность датчиков, м	До 50	Ограничены условиями видимости	До 50	3,5 слева и справа и 3 сзади	3,5 слева и справа и 3 сзади	До 100
Учет разгонных и тормозных характеристик автомобиля	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Учет дорожных условий	Нет	Нет	Нет	Нет	Нет	Да
Система оповещения	Двухрежимный световой индикатор	Световой индикатор + звуковой сигнал	Двухрежимный световой индикатор + звуковой сигнал	Световой индикатор + вибрация рулевого колеса	Двухрежимный световой индикатор + звуковой сигнал	Двухрежимный световой индикатор + звуковой сигнал

Все существующие системы так или иначе построены на одних и тех же принципах и работают одинаково с незначительными отличиями (см. таблицу). Основная задача таких систем — определение препятствия в "мертвой" зоне. Недостатком систем Mazda RVM и SideAssist является функционирование только при скоростях выше 60 км/ч. Система BLIS слишком зависима от погодных условий в силу работы камеры как радара, определяющего наличие препятствия. Кроме того, все системы так или иначе направлены на обнаружение помех в "мертвой" зоне, в то время как опасность исходит не только от невидимых водителю автомобилей.

Также представляют опасность транспортные средства, движущиеся по соседней полосе сзади с большей скоростью и впереди с меньшей скоростью. При этом важно учитывать массогабаритные характеристики транспортных средств, условия видимости, состояние дорожного покрытия, наличие препятствия не только сзади, но и впереди. Наиболее функциональной можно признать систему Mazda RVM, так как она учитывает и движение автомобилей соседней полосы, которые через 5 с окажутся в "мертвой" зоне. Однако кроме временного показателя есть и другие, о которых выше уже упоминалось.

Таким образом, между автомобилем спереди и сзади должен существовать интервал безопасности [3]. Для его определения в автомобильной системе помощи при перестроении необходимо учесть ряд показателей. При этом часть из них

является неизменной в зависимости от скорости и состояния дорожного покрытия, а часть изменяется с учетом тяговых и скоростных характеристик автомобиля. К постоянным показателям относятся: интервал безопасности, габариты автомобиля. Переменные величины, такие как время разгона, остановочный путь зависят от мощностных характеристик двигателя, эффективности тормозной системы с учетом износа рабочих элементов и состояния дорожного покрытия. Числовое значение интервала безопасности в данных условиях будет зависеть от следующих показателей:

- тормозная характеристика автомобиля, движущегося сзади;
- собственная тормозная характеристика перестраиваемого автомобиля;
- собственные разгонные свойства перестраиваемого автомобиля;
- габариты перестраиваемого автомобиля;
- тормозная характеристика автомобиля, движущегося впереди.

Для обеспечения безопасного маневрирования на соседнюю полосу необходимо рассчитать интервал безопасности, учитывающий все указанные условия движения. Для определения интервала безопасности  $L_6$  (рис. 2) для транспортного средства ( $TC_0$ ) необходимо выполнить расчет следующих показателей:

1.  $(S_{2T} - S_{0T})$  — разность остановочных путей  $TC_2$  и  $TC_0$ , м, где  $S_{2T}$  — остановочный путь  $TC_2$ ;  $S_{0T}$  — остановочный путь  $TC_0$ ;

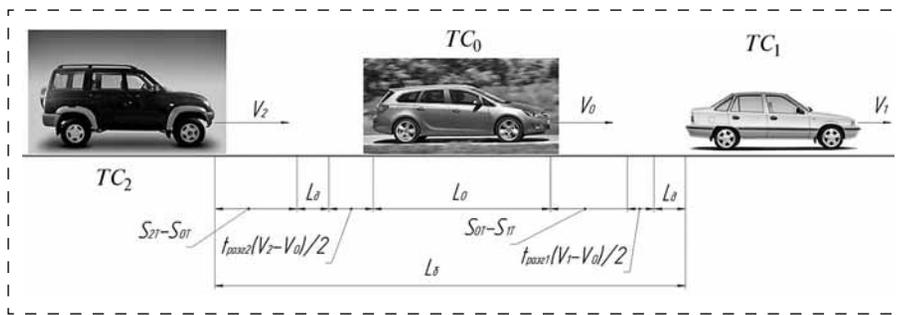


Рис. 2. Интервал безопасности при слиянии транспортных потоков

2.  $L_d$  — дистанция до впереди идущего автомобиля (при остановке); принимаем равной 1...3 м;

3.  $\frac{t_{\text{разг}2}(V_2 - V_0)}{2}$  — расстояние, пройденное  $TC_2$

относительно  $TC_0$  за время выравнивания их скоростей (при равноускоренном движении  $TC_0$ ), где  $t_{\text{разг}2}$  — время разгона  $TC_0$ , с, до скорости  $TC_2$ ;  $V_0$  — скорость  $TC_0$ , м/с;

4.  $L_0$  — длина  $TC_0$ , м;

5.  $(S_{0T} - S_{1T})$  — разность остановочных путей  $TC_0$  и  $TC_1$ , м;

6.  $\frac{t_{\text{разг}1}(V_1 - V_0)}{2}$  — расстояние, пройденное за

время выравнивания скоростей  $TC_1$  и  $TC_0$  (необходимо учитывать при условии, если скорость  $TC_0$  в момент перестроения выше скорости  $TC_1$ ),  $t_{\text{разг}1}$  — время разгона  $TC_0$  до скорости  $TC_1$ .

Данные для построения характеристик необходимо выбирать с учетом реальных показателей

ТС и состояния дорожного покрытия (учет коэффициента сцепления колес с дорогой). Выражение для расчета интервала безопасности можно представить как:

$$L_0 = (S_{2T} - S_{0T}) + 2L_d + L_0 + (S_{0T} - S_{1T}) + \frac{t_{\text{разг}2}(V_2 - V_0) - t_{\text{разг}1}(V_1 - V_0)}{2} \quad (1)$$

Таким образом, определение интервала безопасности по формуле (1) позволит учесть намного больше параметров, чем это дают существующие системы помощи при перестроении. Это позволит обеспечить безопасность на автомобильном транспорте даже в случае, когда человек и системы обеспечения безопасности на автомобиле не могут четко определить некоторые условия: состояние дорожного покрытия, тормозные пути и динамические характеристики ТС в потоке и т. п.

#### Список литературы

1. Сайт компании Автошкола [Электронный ресурс]. URL: <http://www.autoshcool.ru/5115-avtomobilnye-sistemy-pomoschi-pri-perestroenii.html> (дата обращения 30.11.2014).
2. Сайт компании Systemsauto [Электронный ресурс]. URL: [http://systemsauto.ru/active/side\\_assist.html](http://systemsauto.ru/active/side_assist.html) (дата обращения 30.11.2014).
3. Маркуц В. М. Расчет скорости транспортных потоков в зоне их слияния // Международный журнал экспериментального образования. — 2013. — № 10.

A. S. Hlyupin, Postgraduate, e-mail: ahlyupin@yandex.ru, Perm National Research Polytechnic University

## Analysis of Methods to Ensure Vehicle Safety Maneuvering

*This article analyzes the existing automotive systems to ensure safe maneuvering of vehicles. article outlines the advantages, disadvantages and features of modern automotive safety systems from different automakers. In order to improve vehicle safety while maneuvering in the analysis are defined and discussed additional indicators needed to build a safety interval. In addition, taking into account the benefits listed these indicators in the projected system. Adding to safety interval in a set of indicators to ensure safety when maneuvering, will reduce the number of accidents due to violation of the rules of maneuvering.*

**Keywords:** assistance system changing lanes, maneuvering margin of safety, "dead" zone, road conditions, acceleration and braking performance, traffic accident, the system alerts

#### References

1. Сайт компании Avtoshkola. URL: <http://www.autoshcool.ru/5115-avtomobilnye-sistemy-pomoschi-pri-perestroenii.html> (data accessed 30.11.2014).
2. Сайт компании Systemsauto. URL: [http://systemsauto.ru/active/side\\_assist.html](http://systemsauto.ru/active/side_assist.html) (data accessed 30.11.2014).
3. Маркуц В. М. Расчет скорости транспортных потоков в зоне их слияния. *Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija*. 2013. N. 10.

УДК 502.62:574

**В. О. Долгова**, асп., мл. науч. сотр., e-mail: dingo93@mail.ru,  
ЦНИИП Министра России, Москва,

**О. М. Кодолов**, канд. техн. наук., зам. генерального директора,  
ООО Фирма "РОСТ-Л", Моск. обл., Люберцы

## Роль культурного ландшафта в обеспечении экологического пространства человека

*Рассмотрены вопросы сохранения природной среды, формирования культурного ландшафта для обеспечения экологического пространства человека. Использован этнолого-географический подход, который рассматривает культурный ландшафт как взаимодействие природного ландшафта, систем расселения, хозяйства и "этноса" (сообщества). Выбран исследуемый тип культурного ландшафта — сельский, так как он наилучшим образом отражает взаимодействие человека и природы. На примере Медынского района Калужской области рассматривается роль культурного ландшафта в создании комфортной среды обитания.*

**Ключевые слова:** природная среда, культурный ландшафт, экологическое пространство человека, комфортная среда

Устойчивое развитие цивилизации тесно связано с освоением территорий. Человеку для современной жизнедеятельности требуется пространство, которое связано с его возросшими потребностями, вызванными научно-техническим прогрессом и обусловленными созданием комфортной среды обитания. В градостроительстве это пространство определяется как "экологический след города"<sup>1</sup> [1]. При этом сокращаются природные территории, они становятся все менее пригодными для существования животного и растительного мира, а также сохранения биосферы в целом.

Например, г. Лондон, население которого составляет восемь миллионов человек, имеет экологический след, занимающий территорию, в 120 раз превышающую площадь самого города. Отечественные экологи определяют экологический след большинства крупных городов на расстоянии примерно 80 км от границы города. Считается, что на этом расстоянии концентрация поллютантов снижается ориентировочно в 10 раз в силу рассеивания и оседания на поверхность земли. Вместе с тем экологический след может

<sup>1</sup> "Экологический след города" — площадь пригородной зоны, на которую оказывает воздействие город и влияет характер этого воздействия. Измеряется он, в первую очередь, количеством и структурой потребления природных ресурсов. Кроме того, он измеряется физическим объемом и стоимостью ущерба от нарушений окружающей среды, обусловленных антропогенным воздействием города и агломерации в целом.

быть подсчитан более точно как след интегрального воздействия на окружающую природу [1].

Урбанизация способствует стремительному росту потребления, так как в городах наблюдается мультипликационный эффект потребления. Горожанин потребляет значительно более широкий спектр ресурсов и в больших количествах по сравнению с сельским жителем. Согласно исследованиям отечественных и зарубежных ученых установлено, что минимальная территория, необходимая для жизнедеятельности человека с учетом экологической составляющей, равна четырем гектарам. Эту величину можно считать базовой характеристикой "экологического пространства" человека [1].

Решение экологических проблем, как известно, не может быть достигнуто за счет научно-технического прогресса и роста экономики. Они в большей мере обнаруживают враждебность природе. По мнению видного отечественного эколога К. С. Лосева и других ученых, нужна экологическая революция для перехода социально-экономического уклада техногенной цивилизации в новую историческую фазу — постиндустриальную цивилизацию. Это обеспечит экологически безопасное развитие общества, так как на смену природоохранной парадигме индустриального общества приходит модель социоприродной системы (СПС) [2].

Характерными чертами современной городской среды, особенно крупных и промышленных



городов, являются: уничтожение природных экосистем, нарушение механизмов биотической регуляции, давление антропогенного воздействия, в том числе на атмосферный воздух, почву, водные объекты и окружающие леса. Негативные явления пытаются компенсировать культурным ландшафтом (природным ландшафтом, освоенным "этносом"), делая упор прежде всего на обеспечение городской и жилой среды комфортными условиями жизнедеятельности.

Культурным ландшафтам как особому типу наследия начинает уделяться больше внимания в мировой практике градостроительства с конца XX века. Культурный ландшафт обеспечивает взаимодействие, взаимопроникновение и взаимозависимость природных и культурных факторов. Дефиниция "культурный ландшафт" появляется в руководящих документах ЮНЕСКО по применению Конвенции о Всемирном наследии. Согласно этим документам устанавливается его место в типологическом ряду объектов наследия. Под культурным ландшафтом понимается результат совместной работы, совместного творчества человека и природы. Это территориальный комплекс, сформировавшийся в результате эволюционного взаимодействия природы и человека, систем расселения, хозяйства и "этнуса" (сообщества), его социокультурной и хозяйственной деятельности, состоящей из характерных сочетаний природных и культурных компонентов, находящихся в устойчивой взаимосвязи и взаимообусловленности [3].

Недостаточный учет природного компонента при выявлении ценностей культурного ландшафта может вести к возникновению ряда экологических проблем. Очень важно для каждого типа культурного ландшафта (от городской застройки до "дворянских усадеб" и "крестьянских усадеб") найти и обозначить свой баланс природно-культурных ценностей, сохранение которых определяет стратегию действий.

Критерии *природной ценности* культурного ландшафта включают: а) геологические процессы развития Земли, ее морфоструктуру; б) эволюционные процессы в экосистемах и сообществах живых организмов; в) наличие уникальных природных феноменов или территорий особой природной красоты и эстетической ценности; г) наличие ключевых местообитаний для сохранения биоразнообразия и особо ценных исчезающих видов [3].

Критерии *ценности культурного наследия* ландшафта сводятся к следующим позициям: а) объект должен представлять собой высокий уровень творчества; б) иметь важное значение для развития того или иного культурного явления; в) служить выдающимся свидетельством культурной традиции или

типа культуры; г) иллюстрировать собой важный этап истории народов; д) обладать ассоциативным звучанием в отношении особо выдающихся личностей, событий, традиций, идей. К перечисленным вариантным критериям в качестве обязательных добавляются аутентичность (подлинность, основанная на первоисточнике) и, как и в случае с природным наследием, — гарантии охраны.

Культурный ландшафт можно рассматривать как территориальный комплекс, обладающий своей специфической территориальной структурой. Территориальным каркасом можно назвать основные структуры любого территориального комплекса, который формируется на базе социокультурных, хозяйственных, природных и иных территориальных систем. В зависимости от типа территориальной системы каркасы подразделяются на следующие виды: градостроительный, расселенческий, производственный, природный, культурный. Моделирование территориального каркаса того или иного вида позволяет выявить закономерности развития исследуемой территориальной системы и характер ее пространственно-функциональных взаимосвязей.

Базовым является природный (экологический) каркас, так как от природных особенностей в первую очередь будут зависеть характер освоения территории и ее планировочное развитие. Природный каркас преобразуется в природно-культурный вследствие социокультурных процессов. Создание экологического каркаса направлено, в первую очередь, на сохранение биоразнообразия. В зарубежной практике ландшафтному разнообразию уделяется гораздо больше внимания. Сама идеология создания экологического каркаса возникла на базе теории островной биогеографии, согласно которой в условиях изоляции видовое богатство территории уменьшается, и для его сохранения необходимо поддержание экологических связей между отдельными участками, в частности, создание "экологических мостов", или "экологических коридоров".

В настоящее время зеленые насаждения в городах — это группы островков разных размеров в море застройки. Доктор архитектуры В. В. Владимиров в своей книге "Расселение и экология" [4] отмечает, что система зеленых насаждений в городах представляет собой случайную совокупность небольших парковых, бульварных, рядовых и других зеленых насаждений. Этих объектов недостаточно для создания благоприятной экологической среды в разных частях города. При этом показатель общей площади озеленения в городе является малоэффективным. Необходимо создание непрерывной зеленой сети, способствующей достижению эффективности системы озеленения.

Должна проектироваться единая система парков, скверов, бульваров и других зеленых объектов.

Существует множество схем районирования территорий, разработанных специалистами во многих научных дисциплинах — физической и экономической географии, региональной экономике, этнографии, экологии и др. Но все эти схемы характеризуют весьма конкретные и довольно узкие сферы жизнедеятельности населения Земли. Этот недостаток может быть преодолен путем культурно-ландшафтного районирования как наиболее соответствующую реальности форму описания разнообразия *жизненного пространства человека* — носителя определенных культурных ценностей.

В основе культурно-ландшафтного районирования лежит выявление наиболее устойчивых пространственно локализованных компонентов культурного ландшафта, которые определяют его основные характеристики. Они нашли отражение в хозяйственной, социальной и экологической деятельности, в особенностях их взаимодействия с инновациями. Эта проблема рассматривается на примере различных территориальных объектов — от страны до территории национального парка или историко-культурного заповедника. В зависимости от масштабности объекта меняется степень детальности рассмотрения наследия и окружающей его среды. В качестве базовых компонентов среды чаще всего выступают природные и антропогенные ландшафты, система расселения и этническая структура населения.

Общая цель культурно-ландшафтного районирования — выявление целостных территориальных сочетаний культурных и природных объектов, процессов и явлений. В контексте рассматриваемой темы особое внимание уделяется выявлению места наследия в культурно-природных комплексах. Это место может быть весьма различным — от включения отдельных памятников истории и культуры в структуру территориальных комплексов до полного отождествления таких комплексов с наследием. Именно в тех случаях, когда влияние наследия становится определяющим, возникает необходимость выделения в качестве наследия культурных ландшафтов.

Исследования показали, что простое пассивное озеленение в условиях широкого промышленного и сельскохозяйственного производства, автомобилизации не дает ощутимого эффекта. Нужно активизировать процессы восстановления нарушенной природной среды, используя биологические, химические, физические, гидротехнические, мелиоративные и другие технические средства и технологии. В мировой практике имеются такие разработки. Все эти мероприятия

должны быть комплексными, увязанными с растительным покровом и водными ресурсами. Ведь только уменьшение на 25...30 % площади растительного покрова ведет к резкому увеличению тепловой нагрузки от зданий и другим неблагоприятным явлениям для экологии этой местности.

Следует учитывать, что *жизненное пространство человека* по мере роста численности населения на Земле постоянно уменьшается и ухудшается, что сказывается также на существовании растительного и животного мира. Негативные явления человек пытается компенсировать посредством культурного ландшафта, созданием более комфортных условий проживания в здоровой среде. При формировании культурных ландшафтных комплексов акцент должен быть поставлен на сохранении природного ландшафта (системы "вода—воздух—почва—грунт"), а также на сохранении природно-культурного наследия.

Кроме того, важно правильно спланировать территориальное расселение людей при новом градостроительстве, так, чтобы были выполнены основные экологические требования относительно жизнедеятельности человека. При этом население является исходной точкой, ориентиром для определения параметров расселения и в перспективе объектом воздействия на социально-экономические процессы, происходящие на конкретной территории, его благополучие — высшей целью организации [5].

На примере Медынского района Калужской области проводились исследования по выявлению объектов историко-культурного наследия, оценке значимых природных и культурных ландшафтов, памятных мест и других особенностей территории [6, 7]. Исследуемым типом культурного ландшафта является сельский, так как он наилучшим образом отражает взаимодействие человека и природы. Исследования и наблюдения показали, что территория Медынского района по богатству и разнообразию историко-культурных объектов, природных и окультуренных ландшафтов, их значимости представляет интерес для создания зон и усадебных комплексов садово-парковой, рекреационной и туристической направленности, а также рыболовных и охотничьих баз с разнообразным животным миром (см. рисунок на 3-й стр. обложки).

Оценка рекреационного потенциала проводилась по 29 показателям, включенным в три группы: *привлекательность насаждений, их комфортность для отдыхающих, устойчивость к рекреационному воздействию* [8]. Используя данный подход к выявлению рекреационного потенциала насаждений, установлено, что лесопарковое окружение бывших дворянских усадеб имеет наиболее



высокий потенциал. Этот подход позволяет разработать рекомендации по созданию рекреационной зоны вдоль реки Шаня.

Сохранившиеся на правом берегу реки Шаня лесные массивы, а на левом — древесные насаждения высокого качества, отдельные рощи, дубравы, липовые аллеи, старые тракты и садово-парковое окружение бывших усадеб с прудами, родниками значительно улучшают и создают особую привлекательность ландшафтам данной местности. Это может послужить основой для дальнейшего освоения данной территории. Главные усилия должны быть связаны с восстановлением лесистости по берегам реки, речек и водоемов, обеспечением их очистки от загрязнений. Предлагается сохранить лесоохранные зоны по берегам, в первую очередь для накопления снега и влаги на ширину более 100 м с запретом строительства любых сооружений в зоне. Кроме того, это обеспечит миграцию животных.

Агропромышленные комплексы должны быть удалены от водотоков на расстояние более 1,5 км с тем, чтобы удобрения, пестициды с полей, бытовые и промышленные отходы перерабатывались или поступали в промежуточные отстойники с очисткой от загрязнений. Сельскохозяйственные территории (поля) должны быть защищены лесозащитными полосами.

Магистральные дороги также должны быть расположены вдали от поймы рек. Культурный ландшафт городской среды должен обеспечить зелеными посадками защиту жилой зоны от магистральных дорог.

Историко-культурная среда на большей части административно-территориальных единиц Медынского района находится в деградирующем состоянии. Значительное количество выявленных при проведении данной работы объектов наследия пребывают в запущенном, заброшенном виде или уже освоены частниками. Сохранившиеся церковные сооружения находятся в руинированном состоянии. Объекты историко-культурного наследия Медынского района Калужской области были классифицированы на следующие типологические группы: памятники археологии; храмы; усадебные ансамбли (включая парки); воинские захоронения и места боев; охраняемые памятники природы.

Основываясь на исторически-пространственном подходе к объектам историко-культурного значения проведены исследования, включая анализ данных этих объектов на части территории Медынского района. Были выявлены новые объекты наследия и даны краткие характеристики визуального восприятия местности и самих объектов. Проведенная работа показала особенности

природного и культурного ландшафта и позволила выявить объекты историко-культурного значения.

На территории находятся два древних городища (раскопки городищ не проводились) — в самом г. Медынь и в селе Кременском. На территории бывшего Медынского уезда в 1882 г. было 52 сельских храма, а в г. Медынь два — собор св. Константина и св. Елены (1777 г.) и Церковь Казанской иконы Божией Матери (1838 г.). С конца XIX до начала XX века в Медынском уезде насчитывалось порядка 53...55 церквей, не считая храмов в г. Медынь. Большинство архитектурных объектов и часть церковных сооружений находится в деградирующем состоянии. В настоящее время в Медыне и Медынском районе заброшенными, недействующими, находящимися хотя бы в руинированном состоянии, но сохранившими основные постройки, осталось восемь сельских церквей и один городской собор [9, 10].

На территории Медынского района выявлено всего шесть усадебных комплексов и парков, относящихся к объектам историко-культурного наследия: деревня Дошино, село Передел (бывшее Юдино, Едино), деревня Сосновцы, села Прудки (бывшее Прудково), Троицкое и Уланово.

В реестре памятников Медынского района, относящихся к воинским захоронениям и местам боев, первое место занимают братские могилы времен Великой Отечественной войны. Всего 17 братских захоронений, пять памятников погибшим воинам, находящихся в г. Медынь, и 12 — на территории района. На втором месте памятники в честь событий Отечественной войны 1812 г. — обелиск "В память 13 октября 1812 года" [10].

Согласно списку особо охраняемых природных территорий выделены 13 объектов охраняемых территорий в районе: обнажение протвинских известняков в селе Кременском; карстовые пещеры на реке Луже; парк усадьбы Баташевых-Музолевских в селе Передел, а также ландшафты долин рек Шани, Медынки, Рути, Бычок, Лужи, Бобольской, Зазулинки, Мисиды, Ниги и Городенки.

В настоящее время начинается постепенное возрождение деревень и сельских поселений района. Экономический потенциал района создает возможность притока населения на постоянное место жительства из других регионов. Есть большая вероятность того, что заброшенные прежде исторические поселения будут востребованы при приросте населения в районе.

Для гармоничного процесса освоения и возрождения сельских районов и малых городов требуется долговременная плановая политика экономического и общественного развития государства, направленная на целевое и рациональное

расселение людей по территории страны. Необходимо создание разнообразных производств, развитие сельского хозяйства, обеспечивающих людей достойной работой, строительство комфортного жилья с развитой социальной, инженерной и транспортной инфраструктурами, объектами духовного, культурно-исторического, пейзажного и садово-паркового назначения [11]. Но все это должно идти в расчете на человека, а вернее на семью, прогнозируемую демографическую структуру населения в целом. Планирование строительства должно основываться на социальном и экономическом прогнозе будущих изменений в жизнедеятельности человека во всем многообразии. Прогноз будущих изменений следует делать на основе анализа деятельности человека. Деятельность человека может быть как позитивная, так и негативная относительно культурного и природного ландшафта.

#### Список литературы

1. **Урбанизация** и экология // Архитектура и строительство России. — 2002. — № 4. — С. 3—5.

2. **Петрова З. К.** Основы развития малоэтажного градостроительства: Монография. — М.: Издательство, 2013. — 252 с.
3. **Культурный ландшафт** как объект наследия / Под ред. Ю. А. Веденина, М. Е. Кулешовой. — М.: Институт Наследия; СПб.: Дмитрий Буланин, 2004. — 620 с.
4. **Владимиров В. В.** Расселение и окружающая среда. — М.: Стройиздат, 1982. — 228 с.
5. **Гутников В. А.** Экспертиза проектов регионального развития. Международная научно-практическая конференция 2013 г. Труды конференции (тезисы), ФГБУ ЦНИИП градостроительства РААСН. — М.: ООО "ЦветМастер", 2013. — С. 66—75.
6. **Долгова В. О.** Перспективы духовно-культурного и исторического развития городов и сельских поселений // Градостроительство. — 2013. — № 4 (26). — С. 73—77.
7. **Физическая география** и природа Калужской области. — Калуга: Издательство И. Бочкаревой, 2003. — 37 с.
8. **Мониторинг** состояния лесных и городских экосистем: Монография / Под ред. В. С. Шалаева, Е. Г. Мозолевской. — М.: МГУЛ, 2004. — С. 15, 23.
9. **Росефор Н. И.** Опись церковных памятников Калужской губернии. — СПб., 1882. — С. 3.
10. **Реестр** памятников историко-культурного значения [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wikivoyage.org>. ru (дата обращения 06.03.2015).
11. **Петрова З. К., Долгова В. О.** Малоэтажное градостроительство как возрождение традиций русских городов и идеи города-сада // Academia. Архитектура и строительство. — М.: Редакционно-издательский отдел РААСН. — 2014. — № 2 — С. 69—76.

**V. O. Dolgova**, Postgraduate, Junior Researcher, Central Scientific Research Institute of Design Russian ministry of construction, Moscow, **O. M. Kodolov**, Deputy General Director, ООО Firma "ROST-L", Moscow Region, Lyubertsy Town

## The Role Cultural Landscape in Ensuring Environmental Space Man

*The problems of preserving the natural environment, the formation of the cultural landscape to ensure ecological space man. It is based on ethnological and geographical approach, which considers the cultural landscape as interaction natural landscape, settlement systems, services, and "ethnic" (community). Cultural landscape — is assimilated ethnic group natural landscape. Basic studied type of cultural landscape in this country is, as it is the best way reflect interaction between man and nature. On the example of the Kaluga region Medynsky District examines the role of the cultural landscape in creating a comfortable environment.*

**Keywords:** natural environment, cultural landscape, ecological space man, comfortable environment

#### References

1. **Урбанизация** и экология. *Архитектура и строител'ство Rossii*. 2002. N. 4. P. 3—5.
2. **Petrova Z. K.** Osnovy razvitiya malojetazhnogo gradostroitel'stva: Monografija. M.: Izdatel'stvo, 2013. 252 p.
3. **Kul'turnyj landshaft** kak ob'ekt nasledija. Pod red. Ju. A. Vedenina, M. E. Kuleshovej. M.: Institut Nasledija; SPb.: Dmitrij Bulanin, 2004. 620 p.
4. **Vladimirov V. V.** Rasselenie i okruzhajushhaja sreda. M.: Strojizdat, 1982. 228 p.
5. **Gutnikov V. A.** Jekspertiza proektov regional'nogo razvitiya. *Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija 2013 g. Trudy konferencii (tezisy)*, FGBU CNIIP gradostroitel'stva RAASN. M.: ООО "CvetMaster", 2013. P. 66—75.

6. **Dolgova V. O.** Perspektivy duhovno-kul'turnogo i istoricheskogo razvitiya gorodov i sel'skih poselenij. *Gradostroitel'stvo*. 2013. N. 4 (26). P. 73—77.
7. **Fizicheskaja geografija** i priroda Kaluzhskoj oblasti. Kaluga: Izdatel'stvo I. Bochkarevoj, 2003. 37 p.
8. **Monitoring** sostojanija lesnyh i gorodskih jekosistem: Monografija. Pod red. V. S. Shalaeva, E. G. Mozolevskej. M.: MGUL, 2004. P. 15, 23.
9. **Roshefor N. I.** Opis' cerkovnyh pamjatnikov Kaluzhskoj gubernii. SPb., 1882. P. 3.
10. **Reestr** pamjatnikov istoriko-kul'turnogo znachenija. URL: <http://www.wikivoyage.org>. ru (data accessed 06.03.2015).
11. **Petrova Z. K., Dolgova V. O.** Malojetazhnoe gradostroitel'stvo kak vozrozhdenie tradicij russkih gorodov i idei gorodasada. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. M.: Redakcionno-izdatel'skij otdel RAASN. 2014. N. 2. P. 69—76.



УДК: 628.54

**Б. С. Ксенофонов**, д-р техн. наук, проф., e-mail: borisflot@mail.ru,  
**Р. А. Таранов**, ст. преп., **А. С. Козодаев**, канд. техн. наук, доц., **А. А. Воропаева**, инж.,  
**М. С. Виноградов**, инж., **Е. В. Сеник**, асп., МГТУ им. Н. Э. Баумана

## Оценка риска подтопления автомобильных тоннелей<sup>1</sup>

*Рассмотрены аспекты подтопления автомобильных тоннелей как обычного типа, так и винчестерного. В качестве показателей уязвимости и опасности рассмотрены их комплексные оценки, учитывающие количество осадков и их продолжительность, уровень рассматриваемой территории и грунтовых вод, показатели качества грунтовых вод, а также мощность системы водоотведения. Оценка риска выполнена по стандартной методике, которая указывает на повышение величины риска подтопления тоннелей винчестерного типа.*

**Ключевые слова:** *поверхностный сток, метод расчета, тоннель, подтопление тоннеля, месячная норма осадков, оценка риска, уязвимость*

Научное обоснование различных систем организации отвода воды с поверхности автомобильных дорог является неотъемлемой частью их совершенствования. Это указывает на необходимость проведения комплекса предварительных исследований гидрологических, геологических и климатических условий, строгого выполнения рекомендаций нормативных документов по строительству автомобильных дорог с целью правильного выбора и назначения схемы организации отвода воды с поверхности покрытия проезжей части [1–7].

На начальной стадии проведения исследований важное значение имеет оценка риска подтопления и затопления территорий, включая как селитебные зоны, так и объекты, относящиеся к проезжей части, включая автомобильные дороги, эстакады, тоннели и т. п.

Известен подход для определения оценки риска подтопления и затопления селитебных зон, определенный ранее в работах [1, 2]. Согласно этому подходу рассмотрим опасности для селитебных зон с присвоением соответствующих кодов, где код 0 — низкая степень опасности, код 1 — средняя степень опасности, код 2 — высокая степень опасности, код 3 — очень высокая степень опасности.

Продолжительность осадков и количество осадков в долях от месячной нормы согласно работе [1] кодируются следующим образом.

1. Продолжительность осадков:
  - 1 дождь — код 0;
  - 1 сутки — код 1;
  - 1 неделя — код 2;
  - 1 месяц — код 3.

2. Количество осадков в долях от месячной нормы:

- 0,1 нормы — код 0;
- 0,5 нормы — код 1;
- 1,0 нормы — код 2;
- >1,0 нормы — код 3.

Коэффициент опасности подтопления территории может быть нормирован, и его значения меняются от 0 до 1, т.е.  $0 \leq \lambda_m \leq 1$  (табл. 1).

Так же, как и коэффициент опасности, коэффициент уязвимости  $v_y$  может быть нормирован, и его значения меняются в диапазоне от 0 до 1, т.е.  $0 \leq v_y \leq 1$ . Коэффициент уязвимости отражает восприимчивость территории со всеми находящимися на ней объектами к опасному воздействию подтопления. Это приводит к необходимости оценки этой величины для территорий различного функционального назначения (селитебная, промышленная территории, зоны рекреации, дороги, линии электропередач и т. п.) с учетом различных факторов [2]. Рассмотрим факторы уязвимости для селитебной территории с присвоением соответствующих кодов, где код 1 — низкая степень уязвимости; код 2 — средняя степень уязвимости; код 3 — высокая степень уязвимости.

Таблица 1

**Коэффициент опасности подтопления территории  $\lambda_m$  при выпадении осадков различной интенсивности**

Код	$\lambda_m$	Код	$\lambda_m$	Код	$\lambda_m$	Код	$\lambda_m$
00	0,0	10	0,0	20	0,0	30	0,0
01	0,2	11	0,2	21	0,0	31	0,0
02	0,8	12	0,7	22	0,5	32	0,0
03	1,0	13	1,0	23	0,8	33	0,7

<sup>1</sup> Публикуется в редакции авторов.

**Коэффициент уязвимости подтопления  $v_y$  селитебной территории**

Код	$v_y$																
1111	0,00	1211	0,05	1311	0,15	2111	0,05	2211	0,15	2311	0,25	3111	0,15	3211	0,25	3311	0,40
1112	0,10	1212	0,15	1312	0,25	2112	0,30	2212	0,35	2312	0,45	3112	0,55	3212	0,60	3312	0,75
1113	0,20	1213	0,25	1313	0,35	2113	0,40	2213	0,45	2313	0,55	3113	0,65	3213	0,70	3313	0,85
1121	0,05	1221	0,10	1321	0,20	2121	0,15	2221	0,20	2321	0,40	3121	0,25	3221	0,30	3321	0,55
1122	0,15	1222	0,20	1322	0,30	2122	0,35	2222	0,40	2322	0,50	3122	0,60	3222	0,65	3322	0,75
1123	0,25	1223	0,30	1323	0,40	2123	0,45	2223	0,50	2323	0,60	3123	0,70	3223	0,75	3323	0,90
1131	0,10	1231	0,20	1331	0,30	2131	0,20	2231	0,30	2331	0,40	3131	0,30	3231	0,40	3331	0,60
1132	0,20	1232	0,30	1332	0,40	2132	0,40	2232	0,50	2332	0,60	3132	0,65	3232	0,75	3332	0,90
1133	0,40	1233	0,40	1333	0,50	2133	0,60	2233	0,60	2333	0,70	3133	0,85	3233	0,85	3333	1

Далее согласно работе [2] приведены коды по следующим факторам.

1. Уровень рассматриваемой территории (рельеф):

- выше нуля — код 1;
- нуль — код 2;
- ниже нуля — код 3.

2. Уровень грунтовых вод:

- малая степень опасности — код 1;
- средняя степень опасности — код 2;
- большая степень опасности — код 3.

3. Показатели качества грунтовых вод:

- малая степень опасности — код 1;
- средняя степень опасности — код 2;
- большая степень опасности — код 3.

4. Мощность системы водоотведения:

- малая — код 3 (спроектирована согласно СНиП 2.04.03—85 [5], но находится в неудовлетворительном состоянии);
- средняя — код 2 (спроектирована согласно СНиП 2.04.03—85);
- большая — код 1 (спроектирована с усиленным водоотведением).

Коэффициенты уязвимости селитебной территории, определенные с учетом рассматриваемых факторов, даны в табл. 2.

Далее рассчитывается коэффициент риска подтопления территории по формуле [2]:

$$R_{\text{п}} = \frac{\sum_{i=1}^k v_{yi} \lambda_{Mi} S_i}{S_0}, \quad (1)$$

где  $S_0$  — площадь территории, для которой определяется коэффициент риска подтопления  $R_{\text{п}}$ ;

$S_0 = \sum_{i=0}^k S_i$ ;  $k$  — число разбитых участков площади  $S_0$  на непересекающихся между собой площадях

$S_i$ , для которых оценены и известны коэффициенты опасности подтопления  $\lambda_{Mi}$  и уязвимости подтоплению  $v_{yi}$ .

Районирование территории по степени риска подтопления территорий приведено в табл. 3.

Рассмотрим примеры применения рассмотренной методики расчета риска для такого весьма важного случая как подтопление автомобильного тоннеля. В Москве в числе наиболее опасных с точки зрения подтопления и затопления значатся Арбатский, Таганский, Варшавский и Волоколамский автомобильные тоннели: водотоходы в них спроектированы неудачно. В тоннеле в Кунцево в период ливней собирается до 70 см воды, сбросить которую можно только на открытую линию метро. Довольно часто происходящие явления подтопления и затопления до сих пор не сданных в эксплуатацию Алабяно-Балтийского и Михалковского автомобильных тоннелей в Москве являются ярким подтверждением необходимости проведения оценки риска по данной методике.

В Алабяно-Балтийском тоннеле, по мнению специалистов, либо при строительстве тоннеля были допущены нарушения гидроизоляции, либо, что вероятнее, за время его фактической эксплуатации произошли подвижки грунта. Вследствие этих факторов Алабяно-Балтийский тоннель

Таблица 3

**Районирование территории по степени риска подтопления [2]**

Малый риск	$R_{\text{п}} < 0,1$
Умеренный риск	$0,1 \leq R_{\text{п}} < 0,25$
Большой риск	$0,25 \leq R_{\text{п}} < 0,5$
Критическая ситуация	$R_{\text{п}} \geq 0,5$

регулярно подвергается подтоплениям. Так, в начале июля 2009 г. участок стройплощадки тоннеля был полностью затоплен вместе с техникой из-за сильного ливня, а 29 мая 2014 г. тоннель был затоплен после сильного дождя [6].

Михалковский тоннель, который строится на пересечении улиц Михалковская и Большая Академическая на севере Москвы, был затоплен на стадии котлована. Учитывая этот факт, а также недостатки строительства Алабяно-Балтийского тоннеля, в проект Михалковского тоннеля были внесены изменения. Теперь он будет иметь двойную гидроизоляцию: оклеечную и металлоизоляцию, т. е. кессон [7].

Рассмотрим расчеты оценки риска подтопления тоннелей на конкретных примерах.

1. На территории автомобильного тоннеля площадью 6,82 га за одни сутки выпала месячная норма осадков. Тоннель расположен полностью ниже нулевой отметки (рис. 1). Грунтовые воды представляют среднюю опасность для подтопления территории, показатели качества грунтовых вод указывают на среднюю опасность подтопления территории. Система водоотведения спроектирована согласно СНиП 2.04.03–85 [5], но находится в неудовлетворительном состоянии.

Код данной территории по показателю опасности 12, коэффициент опасности подтопления территории  $\lambda_M = 0,7$  (см. табл. 1). Код территории по показателю уязвимости 3222, коэффициент уязвимости территории  $v_y = 0,65$  (см. табл. 2). Подставив эти данные в формулу (1), получим

$$R_{\Pi} = \frac{0,65 \cdot 0,7 \cdot 6,82}{6,82} = 0,45.$$

Следовательно,  $0,25 \leq R_{\Pi} < 0,5$ , что соответствует большому риску подтопления данного тоннеля (см. табл. 3).

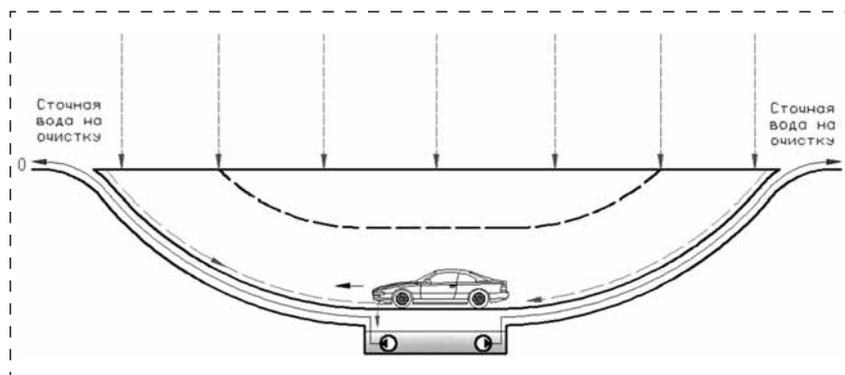


Рис. 1. Тоннель, расположенный полностью ниже нулевой отметки

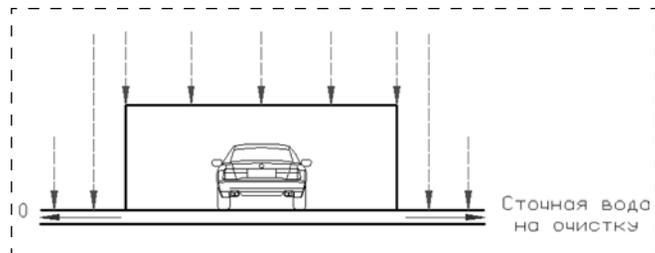


Рис. 2. Тоннель, расположенный на нулевой отметке

2. На территории автомобильного тоннеля площадью 6,82 га за одни сутки выпала месячная норма осадков. Тоннель расположен полностью на нулевой отметке (рис. 2). Грунтовые воды представляют среднюю опасность для подтопления территории, показатели качества грунтовых вод указывают на среднюю опасность подтопления территории. Система водоотведения спроектирована согласно СНиП 2.04.03–85 [5].

Код данной территории по показателю опасности 12, коэффициент опасности  $\lambda_M = 0,7$  (см. табл. 1). Код территории по показателю уязвимости 2222, коэффициент уязвимости территории  $v_y = 0,4$  (см. табл. 2). Подставив эти данные в формулу (1), получим

$$R_{\Pi} = \frac{0,4 \cdot 0,7 \cdot 6,82}{6,82} = 0,28.$$

Следовательно,  $0,25 \leq R_{\Pi} < 0,5$ , что соответствует большому риску подтопления данного тоннеля (см. табл. 3).

3. На территории автомобильного тоннеля площадью 6,82 га за одни сутки выпала месячная норма осадков. Тоннель расположен полностью выше нулевой отметки (рис. 3). Грунтовые воды представляют среднюю опасность для подтопления территории, показатели качества грунтовых вод указывают на среднюю опасность подтопления территории. Система водоотведения спроектирована согласно СНиП 2.04.03–85 [5].

Код данной территории по показателю опасности 12, коэффициент опасности  $\lambda_M = 0,7$  (см. табл. 1). Код территории по показателю уязвимости 1222, коэффициент уязвимости территории  $v_y = 0,2$  (см. табл. 2). Подставив эти данные в формулу (1), получим

$$R_{\Pi} = \frac{0,2 \cdot 0,7 \cdot 6,82}{6,82} = 0,14.$$

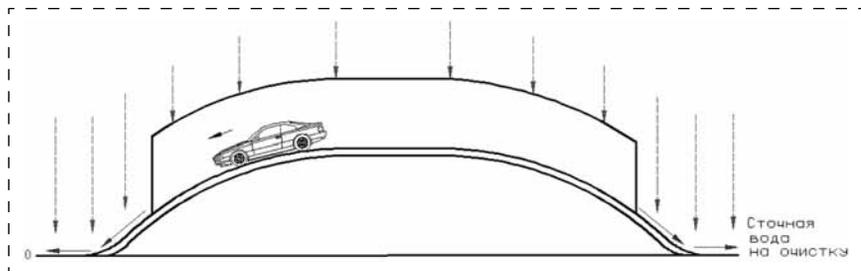


Рис. 3. Тоннель, расположенный полностью выше нулевой отметки

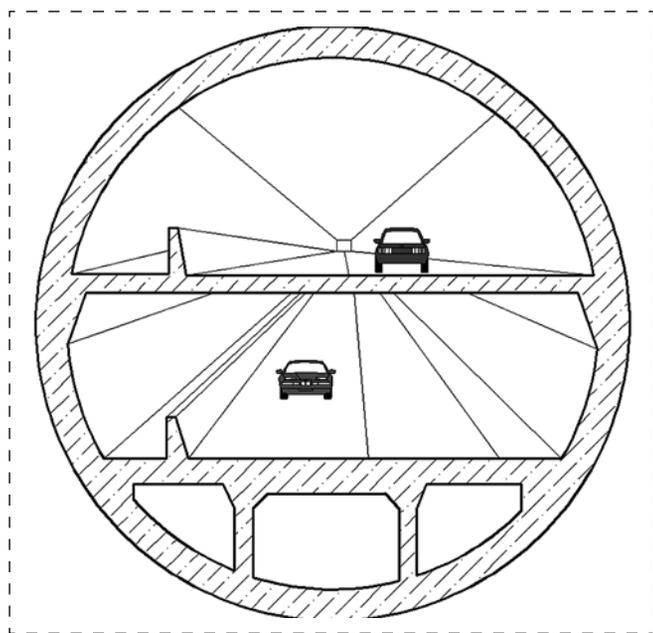


Рис. 4. Винчестерный тоннель

Следовательно,  $0,1 \leq R_{\Pi} < 0,25$ , что соответствует умеренному риску подтопления данной территории (см. табл. 3).

Известны также тоннели винчестерного типа, которые широко распространены в Европейских странах, где существует очень плотная застройка в городах (рис. 4). Винчестерным тоннель называется потому, что потоки транспорта в нем располагаются на разных уровнях один под другим, а транспорт движется по ним в разных направлениях. Такие тоннели позволяют, не расширяя проезжую часть, увеличивать пропускную способность улиц. Строительство первого винчестерного тоннеля в Москве ведется на пересечении улицы Берзарина и улицы Народного Ополчения.

Проведем оценку риска подтопления тоннеля винчестерного типа. На территории винчестерного автомобильного тоннеля площадью 53,16 га за одни сутки выпала месячная

норма осадков. Верхний и нижний тоннели расположены полностью ниже нулевой отметки. Грунтовые воды представляют большую опасность для подтопления территории, показатели качества грунтовых вод указывают на среднюю опасность подтопления территории. Система водоотведения спроектирована согласно СНиП 2.04.03—85 [5].

Код данной территории по показателю опасности 12, коэффициент опасности  $\lambda_m = 0,7$  (см. табл. 1). Уязвимость винчестерного тоннеля будет больше уязвимости обычного тоннеля из-за более глубокого залегания нижнего тоннеля. Код территории по показателю уязвимости 3322, коэффициент уязвимости нижнего тоннеля составляет  $v_y = 0,75$  (см. табл. 2). Подставив данные в формулу (1), получим

$$R_{\Pi} = \frac{0,7 \cdot 0,75 \cdot 53,16}{53,16} = 0,525.$$

Следовательно,  $R_{\Pi} \geq 0,5$ , что соответствует возникновению критической ситуации. По результатам расчета коэффициент риска подтопления винчестерного тоннеля имеет большее значение по сравнению с обычным тоннелем, проходящим ниже нулевой отметки.

Для снижения риска подтопления и затопления тоннелей необходимо предусмотреть проведение превентивных мероприятий, например следующих.

1. Использование системы водоотведения, мощность отведения стока которой превышает единовременное выпадение осадков в количестве месячной нормы.
2. Применение двух линий водоотведения, одна из которых является рабочей, а вторая резервной.
3. Создание площадки со спецавтотранспортом в непосредственной близости от тоннеля для возможной эвакуации вышедшего из строя автотранспорта в тоннеле.
4. Создание специальной сигнальной и предупреждающей системы о возможных ЧС в тоннеле.
5. Использование отводимого стока в качестве жидкости для возможного тушения пожара.

Особо отметим отдельные недостатки тоннелей винчестерного типа, связанные с возможностью их подтопления (рис. 5).

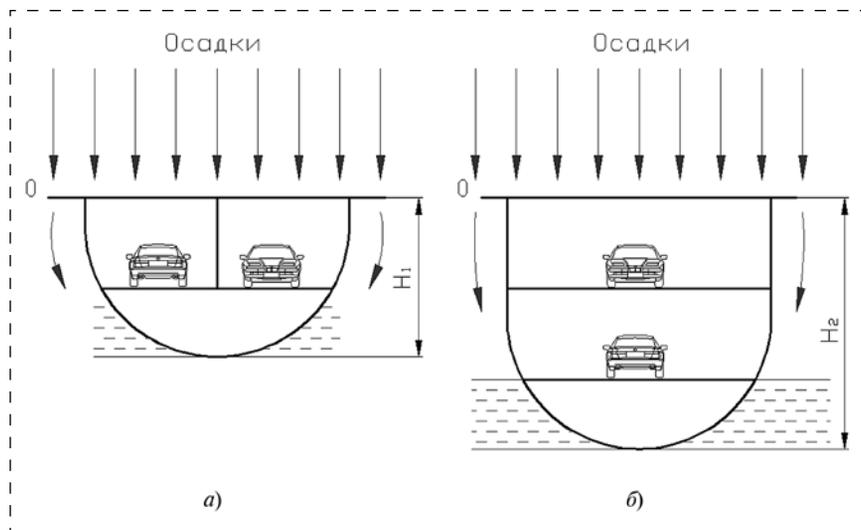


Рис. 5. Сравнительная схема обычного (а) и винчестерного (б) тоннелей:  
 $H_1$  — глубина тоннеля обычного исполнения;  $H_2$  — глубина винчестерного тоннеля

Сравнение схем обычного и винчестерного тоннелей показывает, что глубина последнего примерно в 1,5–2 раза превышает глубину обычного. Это приводит к повышенному содержанию подземных вод в глубинной части винчестерного тоннеля преимущественно за счет поступления подземных вод, обусловленных тем, что  $\frac{H_2}{H_1} = 15 \dots 2,0$  и возможным дополнительным сбросом поверхностного стока.

В связи с этим величина риска подтопления в тоннеле винчестерного типа будет выше, чем в тоннеле обычного типа. Например, рассмотрим следующие условия: за одни сутки выпала месячная норма осадков, верхний и нижний тоннели расположены полностью ниже нулевой отметки, грунтовые воды представляют большую опасность для подтопления территории, показатели качества грунтовых вод также указывают на большую опасность подтопления территории, система водоотведения спроектирована согласно СНиП 2.04.03–85 [5].

Код данной территории по показателю опасности 12, коэффициент опасности  $\lambda_m = 0,7$  (см. табл. 1). Код территории по показателю уязвимости 3332, коэффициент уязвимости нижнего тоннеля составляет  $v_y = 0,90$  (см. табл. 2). Подставив эти данные в формулу (1), получим

$$R_n = \frac{0,7 \cdot 0,9 \cdot 53,16}{53,16} = 0,63.$$

Таким образом, при описанных выше условиях величина риска подтопления явно превышает критическую величину, что вынуждает строго соблюдать условия эксплуатации винчестерного тоннеля.

Кроме того, строительство тоннелей этого типа дороже строительства обычных, что подтверждается практикой их реализации, в частности в Москве только один тоннель такого типа (в стадии строительства). Все это приводит к необходимости более тщательного выбора такого типа тоннелей при складывающихся исключительных условиях, например на ул. Народного Ополчения в г. Москве.

### Список литературы

1. **Рекомендации** по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. — М.: ФГУП "НИИ ВОДГЕО", 2006. — 56 с.
2. **Чуносков Д. В.** Обоснование мероприятий по защите от подтопления урбанизированных территорий на основе теории риска: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.07 / [Место защиты: ОАО "НИИ ВОДГЕО"] Москва, 2008.
3. **Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В.** Сравнение методов расчета поверхностного стока селитебных территорий // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 2. — С. 49–57.
4. **Ксенофонтов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Воропаева А. А., Виноградов М. С., Сеник Е. В.** Проблемы подтопления и затопления селитебных территорий, возможные пути решения // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 7. — С. 23–27.
5. СНиП 2.04.03–85. Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения. Москва, 1986.
6. **В Москве** затопило Алабяно-Балтийский тоннель [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rosbalt.ru/video/2014/05/29/1274644.html> (дата обращения 30.05.2014).
7. **Михалковский тоннель** в Москве будет иметь двойную гидроизоляцию — чиновник [Электронный ресурс]. URL: [http://riarealty.ru/news\\_infrastructure/20150121/404190061.html#ixzz3QgkBaQKq](http://riarealty.ru/news_infrastructure/20150121/404190061.html#ixzz3QgkBaQKq) (дата обращения 21.01.2015).

**B. S. Ksenofontov**, Professor, e-mail: borisflot@mail.ru; **R. A. Taranov**, Senior Lecturer, **A. S. Kozodaev**, Associate Professor, **A. A. Voropaeva**, Engineer, **M. S. Vinogradov**, Engineer, **E. V. Senik**, Postgraduate, Moscow Bauman State Technical University

## Flood Risk Assessment of Automobile Tunnels

*The paper discusses aspects of flooding automobile tunnels both a usual and winchester type. As indicators of vulnerability and danger considered their complex assessment, taking into account the amount of rainfall and its duration, the level of the territory and groundwaters, groundwaters quality indicators, as well as the capacity of drainage system. The risk assessment carried out by the standard method, which indicates the increase of risk value of flooding winchester tunnels.*

**Keywords:** a superficial drain, a method of calculation, tunnel, flooding of the tunnel, monthly norm of deposits, risk assessment, vulnerability

### References

1. **Rekonendatsii** po raschetu system sbora, otvedeniya i ochistki poverhnostnogo stoka s selitebnykh territorii, ploshchadok predpriyatii i opredeleniyu uslovii vypuska ego v vodnye ob#ekty. Moscow: FGUP "NII VODGEO", 2006. 56 p.
2. **Chunosov D. V.** Obosnovanie meropriyatii po zashchite ot podtopleniya urbanizirovannykh territorii na osnove teorii riska: avtoreferat dis. ... kandidata tekhnicheskikh nauk: 05.23.07 [Mesto zashchity: OAO "NII VODGEO"] Moscow, 2008.
3. **Ksenofontov B. S., Taranov R. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Sravnenie metodov rascheta poverkhnostnogo stoka selitebnykh territorij. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015. N. 2. P. 49—57.
4. **Ksenofontov B. S., Taranov R. A., Kozodaev A. S., Voropaeva A. A., Vinogradov M. S., Senik E. V.** Problemy podtopleniya i zatopeniya selitebnykh territorij: vozmozhnye puti resheniya. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2015. N. 7. P. 23—27.
5. **SNIP 2.04.03—85.** Stroitel'nye normy i pravila. Kanalizatsiya. Naruzhnie seti I sooruzheniya. Moscow, 1986.
6. **V Moskve** zatopilo Alabyano-Baltiiskii tunnel'. URL: <http://www.rosbalt.ru/video/2014/05/29/1274644.html> (data accessed 30.05.2014).
7. **Mikhalkovskii tunnel'** Moskve budet imet' dvoynuyu gidroizolyatsiyu — chinovnik. URL: [http://riarealty.ru/news\\_infrastructure/20150121/404190061.html#ixzz3QgkBaQKq](http://riarealty.ru/news_infrastructure/20150121/404190061.html#ixzz3QgkBaQKq) (data accessed 21.01.2015).

УДК 504.5

**А. В. Сорокин**<sup>1</sup>, зам. зав. отделом, e-mail: alex\_Sorokin@list.ru,  
**Е. В. Сотникова**<sup>2</sup>, канд. хим. наук, проф., **М. В. Графкина**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
**Д. И. Рухович**<sup>3</sup>, канд. биол. наук, зав. лабораторией, **Н. В. Калинина**<sup>3</sup>, науч. сотр.,  
<sup>1</sup> ВГНКИ, Москва,

<sup>2</sup> Московский государственный университет машиностроения (МАМИ),

<sup>3</sup> Почвенный институт им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии, Москва

## Экологические критерии воздействия автотранспорта на депонирующие среды рекреационных зон

*Показана недооценка роли донных отложений в качестве депонирующей среды при определении интенсивности воздействия автотранспорта на окружающую среду в рамках проведения геоэкологического мониторинга. Составлены модели накопления тяжелых металлов и токсичных элементов в близкородственных природных телах и обоснована актуальность их применения при оценке состояния окружающей среды. Получены данные о влиянии автотранспортных потоков на изменение фоновых концентраций приоритетных тяжелых металлов в донных отложениях территорий рекреационных зон Москвы. Даны рекомендации по использованию полученных данных в целях совершенствования системы геоэкологического мониторинга и обеспечения экологической безопасности в Москве.*

**Ключевые слова:** геоэкологический мониторинг, автотранспорт, тяжелые металлы, бензапирен, депонирующая среда, почвогрунты, донные отложения, рекреационные зоны



Рекреационные зоны мегаполисов испытывают высокую антропогенную нагрузку в результате их загрязнения широким спектром химических веществ, из которых приоритетными являются тяжелые металлы (ТМ) и другие токсичные элементы, обладающие длительным периодом выведения из природной среды. Основным источником поступления этих веществ в рекреационные зоны, удаленные от крупных промышленных предприятий, является автотранспорт.

Согласно данным исследований [1] относительно поступления тяжелых металлов и токсичных элементов в окружающую среду (ОС) от автотранспорта, наибольший вклад в загрязнение вносят медь (Cu), цинк (Zn), свинец (Pb) и хром (Cr). При этом источниками поступления меди и свинца является тормозная система; цинка — шины; хрома — бензины, моторные масла, тормозная система и дорожное покрытие. Отметим также источники поступления кадмия (Cd) — моторное топливо; мышьяка (As) — бензины и тормозная система автомобилей; ртути (Hg) — топливо; никеля (Ni) и селена (Se) — шины, тормозная система и моторные масла.

Бенз(а)пирен (БП) — маркерный загрязнитель от группы полициклических ароматических углеводородов [1] обладает высокой стабильностью и канцерогенной активностью [2]. Основным источником загрязнения ОС крупных городов БП является автотранспорт. Бенз(а)пирен присутствует в атмосфере как в газообразной форме, так и в адсорбированном виде на мелких частицах пыли и сажи. Молекулы БП поступают из атмосферного воздуха и водных систем при осаждении, накапливаясь в депонирующих средах — почве и донных отложениях.

При проведении геоэкологического мониторинга, наибольшее внимание уделяется загрязнению почвогрунтов придорожных территорий, являющихся депонирующими средами для выбросов автотранспорта [3]. При этом для оценки уровня экологической опасности используют суммарный показатель загрязнения, предложенный Ю. Е. Саетом:

$$Z_c = \sum K_{ki} - (n - 1), \quad (1)$$

где  $n$  — количество рассматриваемых элементов-загрязнителей (веществ);  $K_{ki}$  — коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения

$$K_{ki} = \frac{C_i}{C_{\phi i}}, \quad (2)$$

где  $C_i$  — фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг;  $C_{\phi i}$  — региональное (местное) фоновое содержание  $i$ -го элемента.

Следует отметить, что при этом не учитывается токсичность химических элементов, ведется расчет через среднее арифметическое  $K_{ki}$  (см. формулу (1)). Из почвогрунтов загрязнители мигрируют в донные отложения водоемов, где происходит их накопление до критических значений [4]. К сожалению, роль донных отложений, как более надежной депонирующей среды, недооценена, отсутствуют данные о вкладе автотранспорта в загрязнение донных отложений, а также сертифицированные методики отбора проб и подходы к интерпретации результатов [5]. Считается, что из-за неравномерности в распределении загрязнителей по коэффициентам концентраций ( $K_{ki}$ ), при оценке степени загрязнения донных отложений, необходимо основываться на расчете по среднему геометрическому принципу.

Объектом данного исследования являлись почвогрунты и донные отложения рекреационных зон Москвы, а целью — оценка воздействия автомобильного транспорта на распределение тяжелых металлов и токсичных элементов в депонирующих средах рекреационных зон, прилегающих к автотрассам для совершенствования системы геоэкологического мониторинга.

В рамках исследования решались следующие задачи:

оценивалось загрязнение почвогрунтов и донных отложений на территориях рекреационных зон и придорожных территориях в зависимости от режимов движения и количества единиц автотранспорта расчетом суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ );

определялась зависимость накопления тяжелых металлов и токсичных элементов в донных отложениях от их концентрации в почвогрунтах в виде математической модели;

разрабатывался способ оценки экологического состояния экосистемы, основанный на расчете комплексного показателя суммарного загрязнения ( $Z_{ст(г)}$ ) донных отложений, как более стабильной депонирующей среды.

### Экспериментальная часть

Для определения содержания ТМ и других токсичных элементов в депонирующих средах были использованы высокочувствительные методы анализа, к которым относится масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) и метод высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) с флуоресцентным детектированием для определения содержания БП. Тяжелые металлы и токсичные элементы рассматривались с точки зрения их валового содержания, а при проведении исследований исходили из теории

Характеристики изучаемых рекреационных зон

Название объекта	Расположение	Расстояние от дороги, м	Средняя скорость, км/ч	Интенсивность потока, ед./ч	Нагрузка, баллы
Владимирский сквер	Шоссе Энтузиастов, д. 31 стр. 39	99,5	18	2820	3,2
Ландшафтный заказник "Тропаревский"	МКАД, 46 км	130	35	2950	2,8
Герценский парк	МКАД, 28 км	150	25	3120	2,9
Измайловский парк	Шоссе Энтузиастов, д. 47 стр. 1	710	50	1256	1,5
Парк культуры и отдыха Кузьминки	Волгоградский проспект д. 125 по 185/19	1240	23,4	2100	1,7
Ландшафтный заказник "Теплый стан"	ул. Теплый стан, д. 29	940	30	900	1,5

полиэлементного загрязнения. В связи с этим были рассмотрены не только элементы, источниками поступления которых в ОС является автотранспорт, но и другие ТМ и токсичные элементы, представляющие опасность для ОС, согласно ГОСТ 17.4.1.02—83 [6] и рекомендациям ЮНЕП: барий (Ba), бор (B), ванадий (V), вольфрам (W), кобальт (Co), марганец (Mn), молибден (Mo), мышьяк (As), ртуть (Hg), селен (Se), стронций (Sr), сурьма (Sb).

В качестве исследуемых рекреационных зон выступали основные и придорожные территории Владимирского сквера, Герценовского парка, ландшафтного заказника "Тропаревский"; основные территории Измайловского парка, ПКиО Кузьминки, ландшафтного заказника "Теплый стан". Для привязки перечисленных объектов к автодорогам использовали МУ 2.1.7.730—99 [7] и ГОСТ 17.4.3.01—83.

Поскольку распределение по  $K_{ки}$  загрязнителей в донных отложениях оказалось неравномерным (Владимирский пруд: Cu — 4,43; Zn — 2,66; As — 1,60; Se — 12,25; Cd — 94,7; Hg — 3,32; Pb — 6,10), то для оценки степени загрязнения ТМ и токсичными элементами донных отложений было решено использовать уравнение расчета комплексного показателя суммарного загрязнения ( $Z_{ст(г)}$ ), основанное на уравнении Саета, в соответствии с приведенной ниже формулой (3), предложенной Ю. Н. Водяницким [8]. Данное уравнение выгодно использовать потому, что оно позволяет дифференцированно оценить загрязнение, с учетом токсичности элементов, при отсутствии искажения результата аномально высокими коэффициентами концентрации, благодаря учету их средних геометрических величин. Кроме того, к нему также применимы критические значения для уравнения Саета.

$$Z_{ст(г)} = n(K_{к1} \cdot K_{т1} \cdot K_{к2} \cdot K_{т2} \cdot \dots \cdot K_{kn} \cdot K_{tn})^{1/n} - (n-1), \quad (3)$$

где  $K_{кi}$  — коэффициент концентрации  $i$ -го элемента ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) по отношению к фону;

$K_{тi}$  — коэффициент токсичности  $i$ -го элемента ( $i = 1, 2, \dots, n$ );  $n$  — учитываемое количество элементов-загрязнителей

По результатам расчета антропогенного воздействия (в виде автотранспортной нагрузки) было установлено, что территории ландшафтного заказника "Теплый стан", ПКиО Кузьминки, а также Измайловского парка мало подвержены выбросам автотранспорта (табл. 1, формула (4)), что может указывать на возможность использования их данных в качестве местных фоновых значений ( $C'_{II}$ ) при расчете вклада автотранспорта в увеличение фоновых уровней загрязнителей  $B$  (формула (5)), после дополнительной проверки данного предположения расчетом коэффициента суммарного загрязнения для почвогрунтов ( $Z_c$ ).

Нагрузку на экосистему от автотранспорта ( $q$ ), баллы, определяют следующим образом:

$$El = \lg 10 \left( \frac{I}{Sv} \right), \quad (4)$$

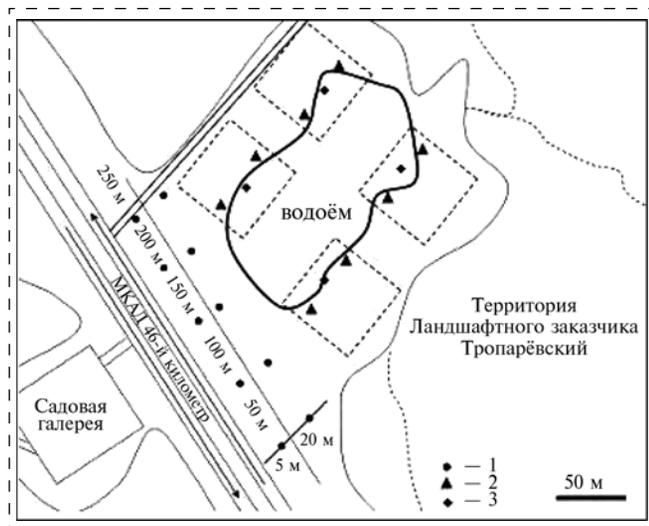
где  $I$  — количество автотранспортных средств в единицу времени, ед./ч;  $S$  — расстояние от дороги до центра рекреационной зоны, км;  $v$  — средняя скорость транспортного потока, км/ч.

Вклад автотранспорта в увеличение фоновых уровней загрязнителей определяется из следующего соотношения:

$$B = \frac{C'_{iI} - C'_{iII}}{C_{i\phi}}, \quad (5)$$

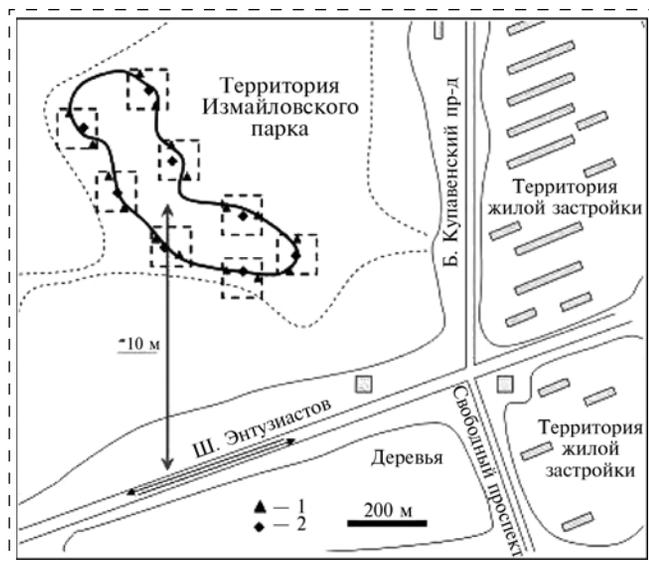
где  $C'_{iI}$  — среднее содержание  $i$ -го элемента в загрязненных грунтах;  $C'_{iII}$  — среднее содержание  $i$ -го элемента в чистых грунтах (местное фоновое загрязнение);  $C_{i\phi}$  — фоновое содержание  $i$ -го элемента.

С придорожных территорий Владимирского сквера, Герценовского парка, ландшафтного заказника "Тропаревский" было отобрано шесть смешанных проб, состоящих из 80 точечных. Всего с основных территорий рекреационных зон, по береговым



**Рис. 1.** Схема отбора проб почвогрунтов и донных отложений на участке 46 км МКАД и ландшафтного заказника "Тропаревский":

1 — места отбора проб почвогрунтов с придорожной территории; 2 — места отбора проб почвогрунтов рекреационной зоны; 3 — места отбора проб донных отложений пруда



**Рис. 2.** Схема отбора проб почвогрунтов и донных отложений на участке ш. Энтузиастов и Измайловского парка:

1 — места отбора пробы почвогрунтов с территории рекреационной зоны; 2 — места отбора проб донных отложений пруда

линиям водоемов отобрали 52 объединенные пробы почвогрунтов, которые состояли из точечных проб массой 150...200 г, а также 52 пробы донных отложений (рис. 1, 2).

### Обсуждение результатов

В результате обработки полученных данных установлено, что элементы, входящие в выбросы автотранспорта, занимают лидирующее положение в рядах расположения исследуемых

химических элементов по увеличению логарифма средней концентрации ( $\lg C_i$ ). Для подтверждения схожести рассматриваемых депонирующих сред и обоснования использования подходов к интерпретации результатов при оценке уровня загрязнения донных отложений относительно почвогрунтов, были построены математические модели накопления ТМ и токсичных элементов в донных отложениях в зависимости от их концентраций  $C_i$  в почвогрунтах (табл. 2) и проведена проверка надежности выполненных расчетов. Согласно шкале Чеддока [9], связь между рассматриваемыми признаками весьма высокая, линейный коэффициент корреляции  $r_{xy}$  равен 0,99. Коэффициент детерминации  $R^2$ , показывающий долю вариации признака, лежит в диапазоне от 0,95 до 0,99, что свидетельствует о высокой точности подбора уравнений линейной регрессии.

Проверка значимости моделей с использованием критерия Фишера  $F$  показала, что найденные оценки уравнений регрессии статистически надежны, поскольку расчетное значение  $F$  больше теоретического значения  $F$ . Выявленная схожесть депонирующих сред позволяет говорить о возможности использования донных отложений в качестве индикаторной среды при оценке воздействия антропогенной нагрузки на ОС. Однако из-за неравномерного распределения ТМ и других токсичных элементов и аномально высоких значений коэффициентов  $K_{ki}$ , входящих в уравнение Саета, при определении коэффициента суммарного загрязнения  $Z_c$  расчет следует производить с учетом токсичности и средних геометрических величин (через  $Z_{ст(r)}$ ). Целесообразность применения средних геометрических величин  $Z_{ст(r)}$  по отношению к стандартному коэффициенту суммарного загрязнения, а также недооцененность роли донных отложений как индикаторной среды, полученная при обработке результатов, отражены в табл. 3. При этом недооцененность (%) была рассчитана по формуле

$$H = 100 - \frac{Z_c \cdot 100}{Z_{ст(r)}} \quad (6)$$

Следует отметить, что из-за особенностей состава донных отложений водоемов Измайловского парка и ПКиО Кузьминки (низкий процент органического вещества) концентрация в них загрязнителей меньше чем в почвогрунтах, что выходит за рамки общепринятых утверждений, но не изменяет общую картину, оставляя значения  $Z_c$  в рамках неопасного уровня загрязнения ( $Z_c < 16$ ). Таким образом видно, что при использовании донных отложений в качестве

Характеристики полученных моделей зависимостей  $\lg C_i$  донных отложений от  $\lg C_i'$  почвогрунтов

Объект	Модель	$r_{xy}$	$R^2$	$F_p/4F_T$
Герценский парк	$\lg C_i = 0,9687 \lg C_i' + 0,1234$	0,99	0,98	92,6
Владимирский сквер	$\lg C_i = 0,9318 \lg C_i' + 0,3156$	0,99	0,95	21,3
ПКиО Кузьминки	$\lg C_i = 0,9333 \lg C_i' - 0,0653$	0,99	0,96	22,9
Измайловский парк	$\lg C_i = 1,0232 \lg C_i' - 0,503$	0,99	0,99	184,9
Ландшафтный заказник "Теплый стан"	$\lg C_i = 0,9764 \lg C_i' + 0,1699$	0,99	0,98	75,1
Ландшафтный заказник "Тропаревский"	$\lg C_i = 0,9723 \lg C_i' + 0,267$	0,99	0,98	93,3

Условные обозначения:  $r_{xy}$  — линейный коэффициент корреляции;  $R^2$  — коэффициент детерминации;  $F_p/4F_T$  — отношение рассчитанного критерия Фишера к его четырем теоретическим значениям.

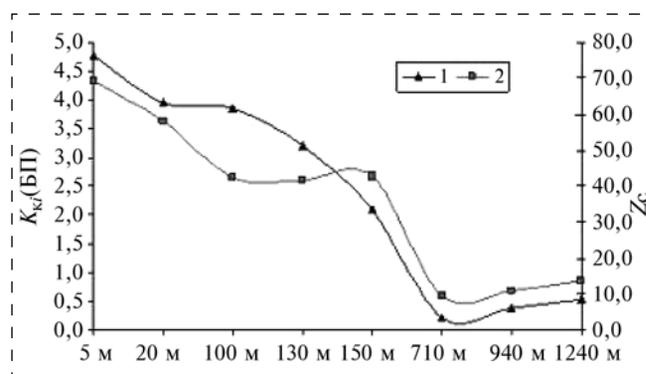
Таблица 3

Сравнение различных коэффициентов суммарного загрязнения в почвогрунтах и донных отложениях территорий рекреационных зон

Объект	$Z_c$ почвы	$Z_c$ донных отложений	$Z_{ст(г)}$ донных отложений	Недооцененность донных отложений, %
Владимирский сквер	42	119	57,4	26,83
Ландшафтный заказник "Тропаревский"	42	48,7	47	10,64
Герценский парк	42	45,2	52,1	19,4
Измайловский парк	9,5	4,67	8,5	—
Ландшафтный заказник "Теплый стан"	11	13,6	10,8	—
ПКиО Кузьминки	13,7	6,4	5,77	—

индикаторной среды при оценке экологического состояния экосистемы, эффективность и своевременность принятия решений в рамках разработки программы мероприятий, направленных на улучшение экологической обстановки и обеспечение экологической безопасности в Москве, возрастают в среднем на 19 %.

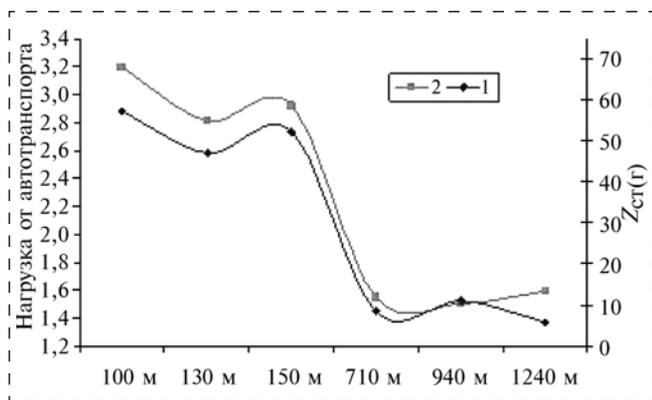
Для оценки воздействия автотранспорта на состояние ОС, были построены графические


 Рис. 3. Изменение значений  $K_{ki}$  БП (1) и  $Z_c$  почвогрунтов (2) при удалении от автодорог

зависимости  $Z_c$  и  $K_{ki}$  БП в почвогрунтах от расстояния до автодорог (рис. 3). Согласно общей картине, суммарное загрязнение уменьшается на 16...17 % (от  $Z_c = 69,5$  до  $Z_c = 58,1$ ) за первые 20 м и далее снижается на 27 % (до  $Z_c = 42$  к 100 м, образуя "плато загрязненности". Затем до расстояния 700 м происходит снижение  $Z_c$  с достижением стабильных значений на уровне ниже верхней границы "неопасного" уровня загрязнения ( $Z_c < 16$ ). Концентрация БП также уменьшается с увеличением расстояния от автодорог, что подтверждает вид источника загрязнения: автотранспорт. Графические зависимости  $Z_{ст(г)}$  и  $K_{ki}$  БП от расстояния, для донных отложений, выглядят схожим образом. В качестве дополнительного подтверждения типа источника загрязнения была сопоставлена нагрузка от автотранспорта в баллах с  $Z_{ст(г)}$  донных отложений (рис. 4) [5]. Вклад автотранспорта в увеличение фоновых концентраций ТМ и токсичных элементов в почвогрунтах, рассчитанный по формуле (5), представлен в табл. 4.

Результаты расчета вклада автотранспортна (безразмерная величина) в увеличение фоновых значений концентраций ТМ в почвогрунтах и донных отложениях

Депонирующая среда	Определяемые элементы									
	B	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se
Почвогрунты	0,07	0,03	0,27	0,02	0,01	0,15	3,44	0,50	0,11	3,86
Донные отложения	0,28	0,12	0,20	0,18	0,34	0,21	4,53	1,01	1,94	10,2
Депонирующая среда	Определяемые элементы									
	Sr	Mo	Cd	Sb	Ba	W	Hg	Pb	Fe	—
Почвогрунты	0,02	0,08	1,58	0,07	0,03	0,07	1,09	2,94	0,12	—
Донные отложения	0,06	0,32	35,83	0,09	0,06	0,10	1,17	9,51	0,12	—


 Рис. 4. Сопоставление автотранспортной нагрузки с комплексным показателем суммарного загрязнения донных отложений: 1 —  $Z_{ст(г)}$  донных отложений; 2 — значение автотранспортной нагрузки

### Выводы

1. Элементы, относящиеся к выбросам автотранспорта находятся на первых позициях в рядах расположения химических элементов по увеличению логарифма средней концентрации. Для территорий, включенных в "плато загрязненности", характерно следующее ранжирование в рядах увеличения логарифма средней концентрации:  $Cd < Ni < Cr < Zn < Cu < Pb < Mn < Fe$  в почвогрунтах;  $Cd < Ni < Pb < Cr < Cu < Zn < Mn < Fe$  в донных отложениях.

2. Схожесть в накоплении химических элементов донных отложений с почвогрунтами, выраженная статистически значимыми моделями, позволяет применять подход к оценке их экологического состояния, основанный на расчете коэффициента суммарного загрязнения  $Z_c$ , а уравнения полученных зависимостей могут быть использованы при оценке экологической ситуации и расчете комплексного показателя суммарного загрязнения.

3. Установлено, что при использовании в качестве индикаторной среды донных отложений, эффективность оценки экологического состояния ОС увеличивается, в среднем на 19 %, при расчете комплексного показателя суммарного загрязнения.

4. Суммарное загрязнение почвогрунтов неравномерно распределяется по придорожным территориям и уменьшается на 16...17 % от начальной величины ( $Z_c = 69,5$ ) за первые 20 м и на 23...24 % за последующие 100...150 м, образуя "плато загрязненности" ( $Z_c = 42$ ), которое постепенно сменяется территориями со стабильными значениями  $Z_c$  на уровне ниже верхней границы "неопасного" уровня загрязнения ( $Z_c < 16$ ).

5. Выявлен вклад автотранспорта в увеличение местных фоновых концентраций ТМ и токсичных элементов в донных отложениях, приуроченный к интенсивности дорожного движения, находящейся в диапазоне 2820...3120 ед./ч.

6. Установлены элементы, заслуживающие наибольшего внимания при проведении государственного экологического мониторинга: Cu, Zn, As, Se, Cd, Hg, Pb.

### Список литературы

1. Сорокин А. В., Сотникова Е. В. Воздействие автотранспорта на распределение тяжелых металлов и бенз(а)пирена в водоемах рекреационных зон // Известия МГТУ "МАМИ". — 2014. — № 2 (20), т. 3. — С. 15—22.
2. Сотникова Е. В., Дмитренко В. П. Техносферная токсикология: Учеб. пособие. — СПб.: Лань, 2013. — 399 с.
3. Дмитренко В. П., Сотникова Е. В., Черняев А. В. Экологический мониторинг техносферы: Учеб. пособие. — СПб.: Лань, 2014. — 364 с.
4. Сорокин А. В., Сотникова Е. В. Распределение тяжелых металлов в водоемах рекреационных зон мегаполиса // Безопасность в техносфере. — 2014. — № 3. — С. 14—19.

5. **Сорокин А. В., Сотникова Е. В.** Воздействие техно-сферы на загрязнение водоемов рекреационных зон мегаполиса // Вестник МГСУ. — 2013. — № 8. — С. 123—130.
6. **ГОСТ 17.4.1.02—83.** Классификация химических веществ для контроля загрязнения. — М.: Стандартинформ, 2008.
7. **МУ 2.1.7.730—99.** Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. — М., 1999.
8. **Водяницкий Ю. Н.** Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. — М.: ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН. — 2008.
9. **Дёрффель К.** Статистика в аналитической химии. — М.: Мир, 1994. — 267 с.

**A. V. Sorokin**<sup>1</sup>, Deputy Head of Department, e-mail: alex\_sorokin@list.ru,  
**E. V. Sotnikova**<sup>2</sup>, Professor, **M. V. Grafkina**<sup>2</sup>, Professor, **D. I. Ryxovich**<sup>3</sup>, Head of  
Laboratory, **N. V. Kalinina**<sup>3</sup>, Research Associate

<sup>1</sup> The All Russian State Centre for Quality and Standartization of Veterinary Drugs and Feed (VGNKI), Moscow

<sup>2</sup> Moscow state University of mechanical engineering (MAMI)

<sup>3</sup> V. V. Dokuchaev Soil Science Institute of Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow

## Ecological Criteria's for Assessing the Impact of Transport on Depositing Environment Recreational Area

*This work shows the underestimation of the role of sediment as a deposit environment for determining the intensity of the impact of transport on the environment in the framework of the state environmental monitoring. The models of accumulation of heavy metals and toxic elements is closely related natural bodies and the urgency of their use in assessing the state of the enviroment. Data showing the effect of road traffic flows on the change of the background concentrations of priopity heavy metals in the sediments of the areas recreational areas of Moscow. Recommendations on the use of obtained data in order to improve the system of environmental monitoring in transportation and environmental safety in Moscow.*

**Keywords:** environmental monitoring, automobile transport, heavy metals, benzopyrene, depositing environment, soils, bottom deposits, recreation area

### References

1. **Sorokin A. V., Sotnikova E. V.** Vozdeistvie avtotransporta na raspredelenie tjazhelyh metallov i benz(a)pirena v vodoemah rekreacionnyh zon. *Izvestija MGTU "MAMI"*. 2014. N. 2 (20). t. 3. P. 15—22.
2. **Sotnikova E. V., Dmitrenko V. P.** Tehnosfernaja toksikologija: Uchebnoe posobie. SPb.: Lan', 2013. 399 p.
3. **Dmitrenko V. P., Sotnikova E. V., Chernjaev A. V.** Jekologicheskij monitoring tehnosfery: Uchebnoe posobie. SPb.: Lan', 2014. 364 p.
4. **Sorokin A. V., Sotnikova E. V.** Raspredelenie tjazhelyh metallov v vodoemah rekreacionnyh zon megapolisa. *Bezopasnost' v tehnosfere*. 2014. N. 3. P. 14—19.
5. **Sorokin A. V., Sotnikova E. V.** Vozdeistvie tehnosfery na zagrjaznenie vodoemov rekreacionnyh zon megapolisa. *Vestnik MGSU*. 2013. N. 8. P. 123—130.
6. **ГОСТ 17.4.1.02—83.** Klassifikacija himicheskix veshhestv dlja kontrolja zagrjaznenija. M.: Standartinform, 2008.
7. **МУ 2.1.7.730—99.** Gigienicheskaja ocenka kachestva pochvy naseleennyh mest. M., 1999.
8. **Vodjanickij Ju. N.** Tjazhelye metally i metalloidy v pochvah. M.: GNU Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva RASHN, 2008.
9. **Djorffel' K.** Statistika v analiticheskij himii. M.: Mir, 1994. 267 p.

### Анонс

В следующем номере журнала №9 — 2015 в этом разделе будет опубликована статья авторов В. В. Анисимова, А. В. Вивчарь-Панюшкина, С. Ю. Ксандопуло, В. Т. Панюшкина "Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха города Краснодара с использованием показателя суммарного загрязнения".



УДК 504.05:66.974.434

**О. В. Беззапонная**, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр. адъюнктуры, e-mail: bezzaponnaya@mail.ru, **М. П. Дальков**, д-р геогр. наук, проф. кафедры пожарной тактики и службы, **М. А. Спиридонов**, д-р хим. наук, гл. науч. сотр. научно-исследовательской группы учебного комплекса платных услуг, **А. Ю. Акулов**, канд. техн. наук, начальник адъюнктуры, Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург

## Вторичное загрязнение поверхностных водных объектов соединениями тяжелых металлов

*Рассмотрен процесс вторичного загрязнения поверхностных водных объектов соединениями тяжелых металлов в результате процесса комплексообразования с растворенными органическими веществами (гуматами и цитратами). Установлено, что наибольший выход тяжелых металлов из донных отложений наблюдается при повышении в воде концентрации гуматов, что объясняется высокой степенью устойчивости образующихся комплексных соединений. Определены значения констант скорости процесса десорбции тяжелых металлов из донных отложений за счет комплексообразования с растворенными в воде органическими лигандами (цитраты, гуматы) при различных условиях среды (рН, температура).*

**Ключевые слова:** вторичное загрязнение, тяжелые металлы, донные отложения, комплексообразование, растворенные органические вещества

### Введение

В результате техногенных загрязнений в водотоки и водоемы попадает большое количество загрязняющих веществ: ионов и соединений тяжелых металлов [1, 2], различных органических веществ (бензол, фенолы, СПАВ, нефтепродукты, трудноокисляемые растворенные и эмульгированные углеводороды) [3]. Все это приводит не только к гибели живых организмов, обитающих в водных объектах, не только к ухудшению качества воды до такой степени, что очистные сооружения водозаборов не справляются с очисткой таких вод, но и к глобальному нарушению равновесия в экосистеме, что в дальнейшем приведет еще к более тяжким последствиям.

Накопление загрязняющих веществ в донных отложениях (ДО) водных объектов нередко рассматривается как положительный фактор, поскольку благоприятствует самоочищению водной среды. Однако в определенных условиях ДО могут послужить источником вторичного загрязнения контактирующей с ними водной массы. В конечном итоге это приводит к ухудшению качества воды и непригодности ее для питьевых целей, что требует расходования дополнительных материальных и технических средств на ее очистку. В работе [4] сравниваются процессы накопления тяжелых металлов (ТМ) в донных отложениях природных вод с действием заложенной химической

бомбы с часовым механизмом, которая при смене физико-химических свойств системы может быть приведена в действие. Для прогнозирования поступления ТМ из ДО важно знать предельную емкость системы к накоплению и удерживанию ТМ в донных отложениях, граничные условия, которые могут привести к вторичному загрязнению, а также количество и скорость поступления ТМ из ДО.

Вторичное загрязнение водных масс соединениями ТМ возможно за счет процессов десорбции, растворения, диффузии, в результате жизнедеятельности микроорганизмов, а также за счет конвективного перемешивания водных масс. Интенсивность загрязнения водной среды зависит от того, насколько нарушено равновесие в системе донные отложения — вода и как изменились показатели, влияющие на миграционную подвижность веществ, находящихся в донных отложениях. При загрязнении тяжелыми металлами большое значение имеют такие факторы, как дефицит растворенного кислорода на границе контакта донных отложений и воды, снижение рН и окислительно-восстановительного потенциала (Eh), повышение концентрации растворенных органических веществ как природного происхождения, так и антропогенного характера, минерализация воды и др.

Важную роль в поступлении ТМ из донных отложений играют процессы комплексообразования

с растворенным органическим веществом природных вод. По мнению многих исследователей [5—7], процесс комплексообразования является наиболее эффективным в мобилизации металлов из донных отложений. Повышение концентрации органических веществ способствует также повышению растворимости сульфидов, оксидов и карбонатов ТМ, вызывая, тем самым, непредвиденное увеличение содержания растворимых форм металлов в водных объектах и ухудшение качества воды, даже в отсутствии антропогенного источника поступления ТМ.

Основную роль в комплексообразовании играют гумусовые вещества (ГВ) и органические соединения прижизненного выделения растительных и животных организмов (экзометаболиты) [8, 9]. Вещества гумусового характера нередко составляют 60...80 % суммарного содержания растворенных органических веществ, особенно в зонах избыточного и умеренного увлажнения.

Наибольшие концентрации ГВ наблюдаются в апреле — мае, когда они поступают в водные объекты с поверхностным стоком (ГВ аллохтонного происхождения), а также в конце августа — сентябре, когда заканчивается вегетационный период и начинают отмирать фитопланктон и высшая водная растительность (ГВ автохтонного происхождения). Именно в это время возможно вторичное загрязнение водной среды соединениями ТМ. Из комплексообразующих агентов аллохтонного происхождения, появление которых в водоеме вызывает ремобилизацию ТМ из осадков, следует прежде всего назвать детергенты (этилендиаминтетраацетаты и нитрилотриацетаты).

На основе современных представлений выделяют следующие особенности влияния комплексообразования на процессы растворения.

1. Растворимость соединения, а также скорость его растворения увеличиваются при наличии в природных водах катионов и анионов, образующих с компонентами растворяющегося вещества устойчивые комплексные соединения. Так, в присутствии фульвокислот происходит растворение гидроксида  $Fe(OH)_{3(ТВ)}$ , поскольку при этом формируются фульватные комплексы  $Fe(ФК)_n^{3-n}$  [5].

2. Образование растворимых комплексных соединений способствует растворению твердой фазы. При этом, чем больше концентрация лиганда, образующего комплексное соединение с компонентом твердой фазы, тем активнее процесс растворения.

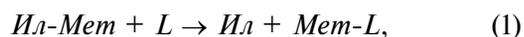
3. Растворимость твердой фазы возрастает прямо пропорционально увеличению констант устойчивости образующихся комплексных соединений [5]. Необходимо также отметить, что

большое влияние на процесс комплексообразования, а следовательно и на растворимость твердой фазы донных отложений, оказывает величина рН.

Такая многофакторность изменения растворимости веществ затрудняет ее предсказание, и поэтому основная информация о растворимости веществ может быть получена только экспериментальным путем.

Процесс десорбции ТМ за счет комплексообразования с органическими лигандами, являясь гетерогенным процессом, включает в себя несколько стадий: подвод лиганда к поверхности сорбента; диффузия лиганда в поровом пространстве (внутренняя диффузия); непосредственно комплексообразование; внутренняя диффузия образовавшихся комплексов; отвод комплексов в пространство раствора.

Схематично процесс вторичного загрязнения за счет комплексообразования с органическими лигандами ( $L$ ) можно представить следующим образом:



где *Ил-Мет* — иловые ДО с сорбированными на них тяжелыми металлами;  $L$  — органический лиганд; *Ил* — иловые ДО; *Мет-L* — растворимые органические комплексы.

Процесс сорбции схематично можно изобразить следующим образом:



$$Г = \frac{C_c}{C_p}, \quad (3)$$

где  $G$  — коэффициент распределения металла между сорбированной и растворенной фазами;  $C_c$  — концентрация металла в сорбированной фазе;  $C_p$  — концентрация металла в растворенной фазе.

Процесс комплексообразования:



$$K_{уст} = \frac{[Мет - L]}{[Мет][L]}, \quad (5)$$

где  $K_{уст}$  — константа устойчивости комплексных соединений;  $[Мет - L]$  — концентрация комплексных соединений;  $[Мет]$  — концентрация ионов металла;  $[L]$  — концентрация органических лигандов.

Тогда, учитывая уравнение (3) и равенство  $C_p = [Мет]$ , получим:

$$[Мет - L] = K_{уст} [Мет][L] = K_{уст} \frac{C_c}{Г} [L]. \quad (6)$$



Таким образом, вторичное загрязнение за счет комплексообразования будет зависеть от следующих факторов: химической природы растворенных органических веществ ( $K_{уст}$ ); прочности связи металл — сорбент ( $\Gamma$ ); содержания металла в сорбированной фазе ( $C_c$ ); концентрации органического лиганда ( $[L]$ ).

Повышение концентрации органических лигандов  $[L]$  в воде приведет к смещению равновесия в уравнении (1) и повышению концентрации комплексов  $[MeL]$  за счет десорбции металлов. Для оценки динамики вторичного загрязнения за счет процесса комплексообразования необходимо проведение лабораторного эксперимента.

Для исследования процесса десорбции ТМ из иловых ДО были выбраны органические вещества, способные образовывать наиболее устойчивые комплексные соединения с ионами ТМ. Из оксикислот, образующихся при ферментативном распаде ОВ и выделяющихся в процессе жизнедеятельности микроорганизмов, была выбрана лимонная кислота, которая с ионами ТМ образует устойчивые комплексные соединения и имеет достаточно высокую концентрацию в природных водах. Из органических поликислот природного происхождения были выбраны гуматы, которые образуют очень устойчивые комплексные соединения с ионами ТМ и концентрация которых имеет высокие значения, особенно в малопроточных водоемах.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

В эксперименте использовались искусственно загрязненные соединениями тяжелых металлов иловые донные отложения с медианным диаметром ( $d_{50}$ ) менее 1 мм массой 50 г с содержанием металлов 30 мкг/г. Донные отложения помещали в емкости и заполняли их нефилтрованной природной водой объемом  $V = 1$  л, не допуская взмучивания. Соотношение ила и воды составило 1:20.

В емкости с ДО и водой вводились искусственные добавки органических веществ (гумат натрия, лимонная кислота). Величина добавки соответствовала верхнему пределу концентрации органического лиганда в природных водах. Исследования проводились при температуре воды 18 °С. Исходная концентрация лимонной кислоты в воде составила  $4,7 \cdot 10^{-5}$  моль/л, гумата натрия —  $1 \cdot 10^{-6}$  моль/л ( $\approx 1$  мг/л). Параллельно проводился контроль за изменением концентрации металлов без введения комплексообразующих реагентов. В ходе эксперимента контролировалась валовая концентрация металлов в воде методом атомной спектrophотометрии.

Результаты лабораторных исследований показали, что скорость диффузии ионов и соединений

кадмия (II) из иловых ДО выше, чем у остальных исследуемых ТМ. Так, за 10 суток эксперимента из иловых ДО в воду за счет молекулярной диффузии поступило следующее количество металлов, мкг: Cu (II) — 1,13; Pb (II) — 1,0; Zn (II) — 2,7; Cd (II) — 7,2. Этот факт можно объяснить зависимостью коэффициента молекулярной диффузии от размера и, соответственно, молекулярной массы диффундирующих частиц — чем выше молекулярная масса, тем меньше коэффициент диффузии. Так, например, коэффициент диффузии свободных ионов металлов составляет  $n \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с, а коэффициент диффузии комплексных соединений металлов с растворенными органическими веществами —  $n \cdot 10^{-7}$  см<sup>2</sup>/с [10].

Для подтверждения этого объяснения была рассчитана степень комплексообразования исследуемых металлов по величине валовых концентраций ТМ и измеренных концентраций металлов, находящихся в ионной форме в данной природной воде, полученных с помощью ионоселективных электродов. Степень комплексообразования меди в данной природной воде составила 99,9 %; свинца — 96 %; кадмия — 65,6 %. Диффузионное поступление ТМ при этом с 1 м<sup>2</sup> за сутки составило: меди — 14,84; цинка — 37,344; свинца — 13,93; кадмия — 93,92 мкг.

Таким образом, наибольшей скоростью поступления из ДО обладает кадмий (II). Это можно объяснить несколькими причинами: 1) более высоким, по сравнению с другими исследуемыми металлами, значением коэффициента молекулярной диффузии; 2) более высоким, по сравнению с другими металлами, значением константы устойчивости образующихся цитратных комплексов; 3) низким, по сравнению с другими исследуемыми металлами, значением коэффициента распределения ( $\Gamma$ ).

Скорость гетерогенного процесса, лимитируемого диффузией вещества, описывается первым уравнением Фика и формально подчиняется уравнению реакции первого порядка ( $n = 1$ ).

$$\ln \frac{C_\tau}{C_0} = \frac{S}{V} K \tau, \quad (7)$$

где  $C_0$  — исходная концентрация металла в растворе, мкг/дм<sup>3</sup>;  $C_\tau$  — концентрация металла на момент времени  $\tau$ , мкг/дм<sup>3</sup>;  $S$  — площадь, занимаемая донными отложениями, м<sup>2</sup>;  $K$  — константа скорости процесса вторичного загрязнения, м · сут<sup>-1</sup>.

Процент поступления металлов из ДО за 10 суток элюирования не превышал 3 %. Процент извлечения Cu (II) из илов на десятые сутки эксперимента составил 2,33 %; Cd (II) — 2,89 %; Zn (II) — 2,50 %; Pb (II) — 1,04 %, т. е. загрязнение незначительное.

Результаты исследований поступления меди, цинка, свинца и кадмия из ДО за счет комплексообразования с растворимым гуматом натрия приведены на рис. 1 и 2. На представленных графиках видны максимумы концентраций металлов при  $t = 1$  сут. Наиболее ярко выражены они на кривых десорбции меди (II) и свинца (II), которые образуют наиболее устойчивые комплексы с гуматами. Так, концентрация меди за первые сутки элюирования возросла в 1,4 раза; Pb (II) — в 6,46; Zn (II) — в 1,52; Cd (II) — 1,24 раза. Степень извлечения металлов ( $S$ , %) из ДО на первые сутки эксперимента для Cu (II) составила 20,4 %; Zn (II) — 8,37 %; Pb (II) — 0,93 %; Cd (II) — 0,59 % (рис. 3).

Однако на вторые сутки эксперимента концентрация металлов в воде уменьшилась, на десятые сутки концентрация металлов в воде становилась еще меньше, чем была до введения гумата натрия. Уменьшилась и цветность воды, что свидетельствует об уменьшении концентрации гуматов в воде. Это явление часто происходит, когда вода

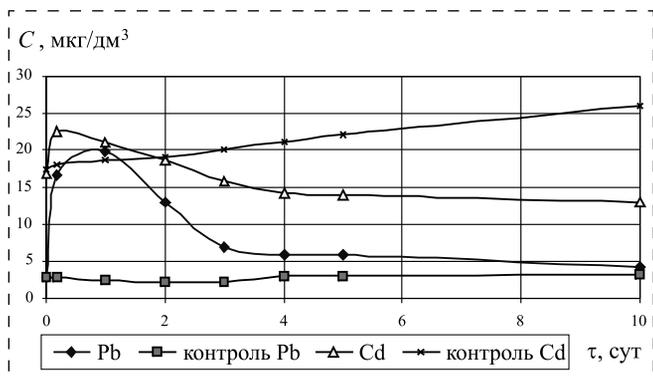


Рис. 1. Изменение концентрации свинца (II) и кадмия (II) в воде в зависимости от продолжительности их контакта с илстыми ДО при введении в систему гумата натрия (Pb, Cd) и без введения (контроль Pb; контроль Cd)

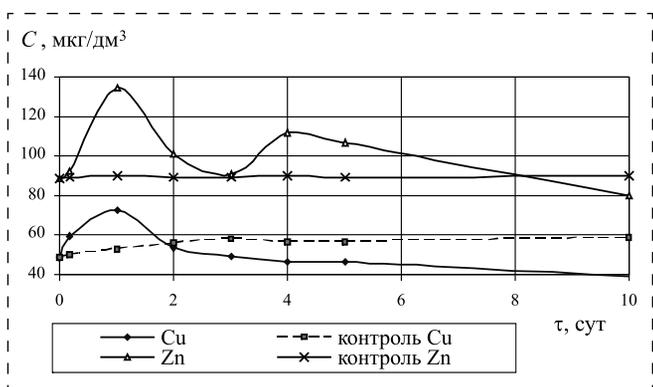


Рис. 2. Изменение концентрации меди (II) и цинка (II) в воде в зависимости от продолжительности их контакта с илстыми ДО при введении в систему гумата натрия (Cu; Zn) и без введения (контроль Cu; контроль Zn)

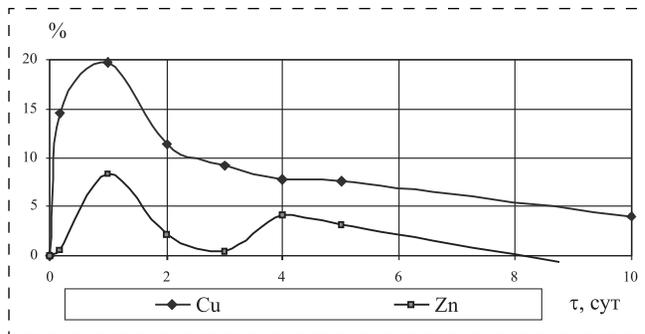


Рис. 3. Изменение степени извлечения меди (II) и цинка (II) из илстых ДО во времени при введении в систему гумата натрия

находится в стоячем состоянии (без перемешивания). Гуматы, молекулярная масса которых в нейтральной среде ( $pH = 6,5...8,5$ ) составляет более 10 000 а.е.м., представляют собой коллоидную фракцию, поэтому в отсутствии перемешивания или течения гуматы постепенно оседают на дно. Вследствие этого, для определения кинетических параметров процесса десорбции ТМ из илстых ДО, целесообразно рассматривать изменение концентрации ТМ в течение именно первых суток элюирования (см. рис. 1, 2).

Кинетика процесса вторичного загрязнения воды за счет комплексообразования с гуматом натрия в первые сутки элюирования формально описывается основным уравнением кинетики первого порядка ( $n = 1$ ).

Для определения констант скорости процесса десорбции тяжелых металлов из илов за счет комплексообразования с гуматами использовали опытные данные, представленные на рис. 4. При обработке полученных данных с использованием уравнения (7) были получены следующие значения констант скорости,  $м \cdot сут^{-1}$ : для Cu (II) — 0,0456; Zn (II) — 0,0516; Pb (II) — 0,0713; Cd (II) — 0,0279. Принимая во внимание тот факт, что энергия активации диффузионных процессов, в среднем составляет примерно 10 кДж/моль, были рассчитаны значения констант скорости процесса десорбции ТМ за счет комплексообразования с гуматами при

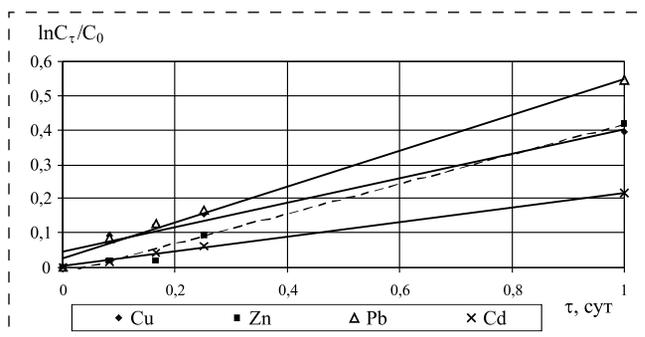


Рис. 4. Изменение  $\ln C_{\tau}/C_0$  во времени при введении в систему гумата натрия



### Значения констант скорости процесса десорбции тяжелых металлов из илов за счет комплексообразования с гуматами

Металл	$K, \text{ м} \cdot \text{сут}^{-1}$				
	$t = 6 \text{ }^\circ\text{C}$	$t = 8 \text{ }^\circ\text{C}$	$t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$t = 12 \text{ }^\circ\text{C}$	$t = 14 \text{ }^\circ\text{C}$
Cu (II)	0,0380	0,0395	0,0409	0,0419	0,0432
Zn (II)	0,0433	0,0446	0,0458	0,0474	0,0484
Pb (II)	0,0599	0,0617	0,0635	0,0655	0,0673
Cd (II)	0,0235	0,0241	0,0248	0,0256	0,0262

температурах воды, характерных для придонных слоев воды с августа по ноябрь месяцы: 6; 8; 10; 12; 14 °С. Полученные значения констант скорости  $K$  процесса десорбции представлены в таблице.

### Выводы

При изучении десорбции ТМ из илистых ДО в результате процесса комплексообразования установлено, что при повышении концентрации растворенных органических веществ в воде происходит вторичное загрязнение соединениями ТМ. Наибольшее поступление ТМ из ДО наблюдалось при повышении в воде концентрации гуматов, что объясняется высокой степенью устойчивости образующихся комплексных соединений.

Определены значения констант скорости процесса десорбции ТМ из ДО за счет комплексообразования с растворенными в воде органическими лигандами природного происхождения при различных условиях среды (рН, температура).

### Список литературы

1. Беззапонная О. В. Самоочищение поверхностных водных объектов от соединений тяжелых металлов // Экология урбанизированных территорий. — 2008. — № 2. — С. 58—62.
2. Ротермель М. В., Бучельников Д. Ю., Красненко Т. И., Сирина Т. П. Мониторинг уровня техногенных загрязнений водных объектов, расположенных на территории медно-колчеданных месторождений Урала // Техносферная безопасность. — 2013. — № 1. — С. 63—65.
3. Савельев С. Н., Савельева А. В., Фридланд С. В. Интенсификация очистки сточной воды от углеводородов окислительными методами применением в качестве катализатора стоков гальванопроизводства // Безопасность жизнедеятельности. — 2015. — № 1. — С. 40—44.
4. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в речных экосистемах. — Новосибирск: ГПНТБ СО РАН; ИВЭП СО РАН. — 2001. — 58 с.
5. Крайнов С. Р., Швец В. М. Гидрогеохимия. — М.: Недра, 1992. — 463 с.
6. Денисова А. И., Нахшина Е. П., Новиков Б. И., Рябов А. К. Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды. — Киев: Наукова думка. — 1987. — 163 с.
7. Нахшина Е. П. Микроэлементы в водохранилищах Днепра. Киев: Наукова думка. — 1983. — 157 с.
8. Линник П. Н., Набиванец Б. И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. — Л.: Гидрометеиздат. — 1986. — 296 с.
9. Линник П. Н., Искра И. В. Роль растворенных органических веществ в миграции цинка, свинца и кадмия в водохранилищах Днепра // Водные ресурсы. — 1997. — Т. 24. — № 4. — С. 494—502.
10. Линник П. Н., Васильчук Т. А., Зубенко И. Б. Роль донных отложений во вторичном загрязнении водной среды водохранилищ органическими веществами и тяжелыми металлами // Химия и технология воды. — 1999. — Т. 21. — № 1. — С. 30—46.

**O. V. Bezzaponnaia**, Associate Professor, Senior Researcher of adjuncture, e-mail: bezzaponnay@mail.ru, **M. P. Dalkov**, Professor of tactics and service Chair, **M. A. Spiridonov**, Chief Researcher of the Research Group UKPU, **A. U. Akulov**, Head of adjuncture, Ural Institute of the state Fire Service of Emercom of Russia, Ekaterinburg

## Secondary Pollution of Surface Water Bodies by Heavy Metal Compounds

*The article describes the process of secondary pollution of surface water bodies by heavy metal (HM) compounds by a process of complexation with dissolved organic matter (humates and citrates). The greatest release of HM from before was observed with increase in water concentration of humates, due to a high degree of stability of the formed complex compounds. The degree of extraction of metals from up bottom sediments for 1 day elution was as follows: Cu (II) — 20,4 %; Zn (II) — 8,37 %; Pb (II) — 0,93 %; Cd (II) — 0,59 %. The values of the rate constants of desorption process HM from bottom sediments due complexation with dissolved organic ligands (citrate, humates) at different environmental conditions (pH, temperature).*

**Keywords:** secondary pollution, heavy metals, water quality, bottom sediments, complexation, dissolved organic matter

## References

1. **Bezzaponnaia O. V.** Samoochishenie poverhnostnyh vodnyh obektov ot soedinenij tjazholyh metallov. *Jekologija urbanizirovannyh territorij*. 2008. N. 2. P. 58—62.
2. **Rotermel' M. V., Buchel'nikov D. Ju., Krasnenko T. I., Sirina T. P.** Monitoring urovnja tehnogennyh zagryaznenij vodnyh obektov, raspolozhennyh na territorii medno-kolchedannyh mestorozhdenij Urala. *Tehnosfernaja bezopasnost'*. 2013. N. 1. P. 63—65.
3. **Savel'ev S. N., Savel'eva A. V., Fridland S. V.** Intensifikacija ochistki stochnoj vody ot uglevodorodov okislitel'nymi metodami primeneniem v kachestve katalizatora stokov gal'vanoproizvodstva. *Bezopasnost' zhiznedjatel'nosti*. 2015. N. 1. P. 40—44.
4. **Papina T. S.** Transport i osobennosti raspredelenija tjazholyh metallov v rechnyh jekosistemah. Novosibirsk: GPNTB SO RAN; IVAP SO RAN, 2001. 58 p.
5. **Krajnov S. R., Shvec V. M.** Gidrogeohimija. M.: Nedra, 1992. 463 p.
6. **Denisova A. I., Nahshina E. P., Novikov B. I., Rjabov A. K.** Donnye otlozhenija vodohranilishh i ih vlijanie na kachestvo vody. Kiev: Naukova dumka, 1987. 163 p.
7. **Nahshina E. P.** Mikrojelementy v vodohranilishhah Dnepra. Kiev, Naukova dumka. 1983. 157 p.
8. **Linnik P. N., Nabivanec B. I.** Formy migracii metallov v presnyh poverhnostnyh vodah. — L.: Gidrometeoizdat. 1986. 296 p.
9. **Linnik P. N., Iskra I. V.** Rol' rastvorjonnyh organicheskikh veshhestv v migracii cinka, svinca i kadmija v vodohranilishhah Dnepra. *Vodnye resursy*. 1997. Vol. 24. N. 4. P. 494—502.
10. **Linnik P. N., Vasil'chuk T. A., Zubenko I. B.** Rol' donnyh otlozhenij vo vtorichnom zagryaznenii vodnoj sredy vodohranilishh organicheskimi veshhestvami i tjazhjolymi metallami. *Himija i tehnologija vody*. — 1999. Vol. 21, N. 1. P. 30—46.

УДК 66

**В. В. Кирсанов**, д-р техн. наук, проф. кафедры, e-mail: vvkirsanov@gmail.com, КНИТУ-КАИ им. А. Н. Туполева

## Расчет основных параметров биосистемы в условиях биодеструкции токсичных загрязняющих веществ с меняющейся концентрацией в производственных сточных водах

*Приведена краткая характеристика биосистемы и разработанная автором методика для расчета технологических и геометрических параметров (времени окисления в биосистеме, времени регенерации активного ила, прироста ила, объемов аэротенка и регенератора) комбинированного аэротенка коридорного типа для биодеструкции производственных стоков, учитывающая неравномерность нагрузок, показатель ХПК и объем регенерационной зоны.*

**Ключевые слова:** биосистема, аэротенк, вторичный отстойник, сточные воды, активный ил, объем биосистемы, время окисления, скорость окисления, время усреднения, время регенерации, регенерационная зона, коэффициент неравномерности нагрузок, зольность ила, усредненная проба, коэффициент прироста ила

Характерной особенностью современного производства является частая смена ассортимента выпускаемой продукции, диктуемая потребностями рынка. Изменение ассортимента конечных изделий обуславливает необходимость изменения в целом технологического процесса и отдельных его параметров, что связано с периодически меняющимися и резкими повышениями концентраций поллютантов в сточных водах (так называемые аномальные залповые сбросы) выше тех максимальных величин, к которым адаптированы микроорганизмы активного ила.

Аномальные залповые сбросы токсичных загрязнений приводят к угнетению ферментативной

деятельности микроорганизмов и в некоторых случаях — к их лизированию.

В практике эксплуатации биосистем применяется три типа аэротенков: аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и комбинированные аэротенки коридорного типа со сосредоточенной подачей активного ила (АИ) и дифференцированным распределением сточной воды (СВ). В аэротенках последнего типа регенерация АИ производится в первом по ходу движения жидкости коридоре (аэротенк с совмещенной зоной регенерации) [1].

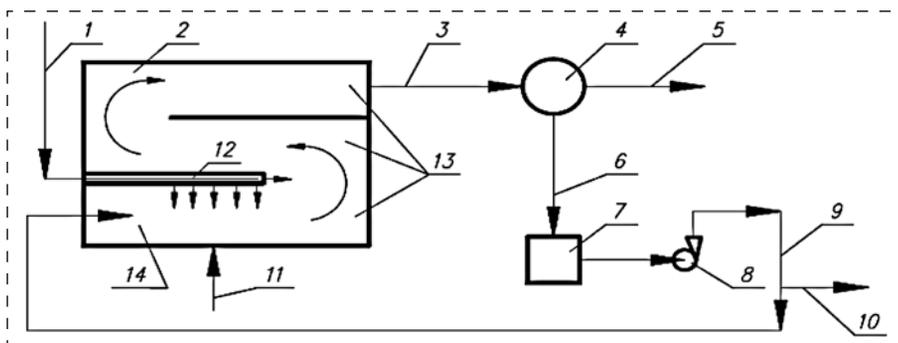
Биосистема очистки сточных вод состоит из аэротенка какого-либо типа, вторичного отстойника

(радиального с илососом или с илоскребом или вертикального типа), приемной иловой камеры и циркуляционного насоса для непрерывной перекачки возвратного ила непосредственно в аэротенк или через регенератор (или регенерационную зону аэротенка) в аэротенк (см. рисунок). Кроме сточной воды и возвратного циркуляционного АИ, в аэротенк подается воздух и, в случае очистки производственных СВ (в которых отсутствуют биогенные элементы —  $N_2$  и  $P$ ), раствор биогенных элементов концентрацией, необходимой для нормального функционирования микроорганизмов АИ.

Регенерация может проводиться в отдельно расположенном сооружении (регенераторе) или занимать один первый по ходу движения жидкости коридор (в трехкоридорном аэротенке, как показано на рисунке), или два коридора — в четырехкоридорном аэротенке [2].

Если в трехкоридорном аэротенке под регенерационную зону выделен один коридор, то объем регенератора составляет 33 % от полного объема аэротенка, если в четырехкоридорном аэротенке выделено два коридора, то объем регенератора составляет 50 % [3].

В комбинированном аэротенке со сосредоточенной подачей АИ и дифференцированным распределением СВ объем регенерационной зоны можно регулировать, перераспределяя подачу через окна. В условиях нестабильных и меняющихся во времени нагрузок, особенно характерных для производственных СВ, возможность регулирования регенерационной зоны является преимуществом, позволяющим регулировать объем регенерации и, соответственно, поддерживать уровень эффективности биоочистки на требуемом уровне [4].



**Классическая схема биосистемы, состоящей из комбинированного аэротенка трехкоридорного типа с совмещенной зоной регенерации:**

1 — СВ после механической и физико-химической очистки; 2 — комбинированный аэротенк трехкоридорного типа со сосредоточенной подачей АИ и дифференцированным распределением СВ; 3 — иловая смесь из аэротенка; 4 — вторичный отстойник; 5 — очищенная вода; 6 — возвратный циркуляционный ил после вторичных отстойников; 7 — приемная иловая камера; 8 — насос по перекачке циркуляционного АИ; 9 — циркуляционный возвратный ил; 10 — избыточный АИ; 11 — воздух от турбовоздуходувки на аэрацию в аэротенк; 12 — распределительный лоток дифференцированной подачи СВ в аэротенк; 13 — коридоры аэротенка; 14 — коридор (зона) регенерации АИ

*Примечание.*

*Проведенные автором исследования влияния различных объемов регенерации на эффективность биоокисления реального производственного стока химического предприятия в комбинированном трехкоридорном аэротенке со сосредоточенной подачей АИ и дифференцированным распределением СВ показали следующее.*

*При поступлении в аэротенк СВ с параметрами, соответствующими условиям технологического регламента — химическая потребность кислорода (ХПК) < 1000 мг $O_2$ /дм $^3$ ; полная биологическая потребность кислорода (БПК $_{п}$ ) < 810 мг $O_2$ /дм $^3$ ; фенол < 15 мг/дм $^3$ ; рН = 7,5...8,0; содержание неионогенных СПАВ < 20 мг/дм $^3$  (штатный режим биотехнологии), максимальная эффективность биодеструкции наблюдается при объеме регенерационной зоны 20...22 % общего объема аэротенка.*

*В случае же аномальных сбросов для повышения эффективности биоочистки целесообразно объем регенерационной зоны увеличивать до максимально возможного значения (33 %) [3].*

### **1. Определение необходимого времени окисления в биосистеме (аэротенк + вторичный отстойник)**

Необходимое время окисления в биосистеме в соответствии с методикой СНиП 2.04.03—85 [5] определяется по формуле:

$$t_{at}^{биос} = \frac{BPK_{п}^{вх} - BPK_{п}^{вых}}{[RX_{ai}^{рег} (1 - S_{ai}) r_c^{ХПК}]}, \quad (1)$$

где  $BPK_{п}^{вх}$  и  $BPK_{п}^{вых}$  —  $BPK_{п}$

полное соответственно на входе и выходе из биосистемы;  $R$  — степень рециркуляции АИ в биосистеме;  $X_{ai}^{рег}$  — концентрация активного ила в регенераторе;  $S_{ai}$  — зольность активного ила (в долях единицы);  $r_c^{ХПК}$  — средняя скорость окисления.

В формуле (1) не учитывается неравномерность нагрузок и залповые аномальные сбросы, нередко встречающиеся в современной практике эксплуатации биостанций. Поэтому в эту и в другие формулы данной методики вводится коэффициент неравномерности нагрузок по ХПК  $k_n^{ХПК}$ , который предлагается определять по следующей зависимости:

$$k_n^{\text{ХПК}} = (\text{ХПК}_{\text{max}}^{\text{ВХ}} + \text{ХПК}_{\text{min}}^{\text{ВХ}}) / \text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}, \quad (2)$$

где  $\text{ХПК}_{\text{max}}^{\text{ВХ}}$ ,  $\text{ХПК}_{\text{min}}^{\text{ВХ}}$  и  $\text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}$  — ХПК в разовой пробе перед аэротенком соответственно фактические максимальное, минимальное и регламентное.

Для более оперативного определения нагрузок на биосистему предлагается вместо БПК<sub>п</sub> ввести разовые значения ХПК ( $\text{ХПК}_{\text{max}}^{\text{ВХ}}$ ,  $\text{ХПК}_{\text{min}}^{\text{ВХ}}$ ,  $\text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}$  и  $\text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}$ ), а ХПК в усредненной пробе на входе в аэротенк определять из двух разовых проб как среднеарифметическое:

$$\text{ХПК}_{\text{ср}}^{\text{ВХ}} = (\text{ХПК}_{\text{max}}^{\text{ВХ}} + \text{ХПК}_{\text{min}}^{\text{ВХ}}) / 2. \quad (3)$$

Итак, с учетом предложенных изменений, необходимое время окисления (ч) в биосистеме определяется по следующей формуле [5]:

$$t_{\text{ат}}^{\text{биос}} = (\text{ХПК}_{\text{ср}}^{\text{ВХ}} - \text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}) / [RX_{\text{аи}}^{\text{рег}} (1 - S_{\text{аи}}) t_{\text{с}}^{\text{ХПК}}] + \exp(k_n^{\text{ХПК}}). \quad (4)$$

#### Примечание.

Для более объективной идентификации на входе в комбинированный аэротенк коридорного типа с регенерационной зоной в первом коридоре аэротенка, целесообразно в формулах (2), (3), (4) и других брать ХПК в усредненной пробе, а на выходе из аэротенка (или из вторичного отстойника), учитывая его большую буферность (более 6 ч) и соответственно, достаточное усреднение концентраций остаточных загрязняющих веществ, с целью повышения оперативности, брать разовую пробу на ХПК [5].

Степень рециркуляции АИ в биосистеме определяется по формуле:

$$R = X_{\text{аи}} / [(1000/J) - X_{\text{аи}}]. \quad (5)$$

Концентрация активного ила в регенераторе, г/дм<sup>3</sup>, определяется по формуле:

$$X_{\text{аи}}^{\text{рег}} = X_{\text{аи}} [(1/2R) + 1]. \quad (6)$$

Здесь  $X_{\text{аи}}$  — концентрация (доза) АИ в аэротенке, г/дм<sup>3</sup>;  $J$  — иловый индекс, см<sup>3</sup>/г; определяется по следующей формуле (или экспериментально):

$$J = V_i^{30} / X_{\text{аи}}^{\text{с.м}}, \quad (7)$$

где  $V_i^{30}$  — объем ила после 30-минутного отстаивания в цилиндре, %;  $X_{\text{аи}}^{\text{с.м}}$  — концентрация ила по сухой массе, г/дм<sup>3</sup>.

Средняя скорость окисления определяется по формуле:

$$r_{\text{с}}^{\text{ХПК}} = (\text{ХПК}_{\text{ср}}^{\text{ВХ}} - \text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}) / [X_{\text{аи}} (1 - S_{\text{аи}}) t_{\text{ат}}^{\text{биос}}] R + \exp(k_n^{\text{ХПК}}),$$

где  $S_{\text{аи}}$  — зольность АИ, доли единицы; или предварительно задается и затем в процессе эксплуатации уточняется.

## 2. Определение необходимого времени окисления собственно в аэротенке

$$t_{\text{ат}}^{\text{аэп}} = (2,5\sqrt{X_{\text{аи}}}) \text{I}g(\text{ХПК}_{\text{ср}}^{\text{ВХ}} / \text{ХПК}_{\text{регл}}^{\text{ВХ}}) + \exp(k_n^{\text{ХПК}}). \quad (8)$$

## 3. Определение времени регенерации

$$t_{\text{ат}}^{\text{рег}} = (t_{\text{ат}}^{\text{биос}} - t_{\text{ат}}^{\text{аэп}}) K, \quad (9)$$

где  $K$  — поправочный коэффициент, учитывающий объем регенерационной зоны; определяется по приведенной ниже таблице (вводится для коридорных аэротенков с регулируемой зоной регенерации) [5].

Поправочный коэффициент  $K$ ,  
учитывающий объем регенерационной зоны

Объем регенерационной зоны по отношению к объему аэротенка, %	Поправочный коэффициент $K$	
Отдельно расположенный регенератор	—	1,0
Совмещенный регенератор	30	0,95
	25	0,90
	20	0,85
	10	0,75

## 4. Определение объема аэротенка без регенератора

$$V_{\text{аэп}} = t_{\text{ат}}^{\text{аэп}} Q, \quad (10)$$

где  $t_{\text{ат}}^{\text{аэп}}$  — время окисления в аэротенке, определяется по формуле (8) или задается и в процессе эксплуатации уточняется;  $Q$  — расход СВ.

## 5. Объем аэротенка совместно с регенерационной зоной

$$V_{\text{аэп}}^{\text{рег}} = t_{\text{ат}}^{\text{аэп}} (1 + R) Q. \quad (11)$$



## 6. Определение объема регенерационной зоны

$$V_{\text{рег}} = t_{\text{аэр}}^{\text{рег}} RQ. \quad (12)$$

## 7. Определение прироста активного ила

СНиП 2.04.03—85, монографии и учебно-методическая литература в области биотехнологий рекомендуют следующую формулу для определения прироста активного ила:

$$F_{\text{сп}} = 0,8X_{\text{аэр}}^{\text{вх}} + K_{\text{пр}} \text{БПК}_{\text{п}}^{\text{вх}}, \quad (13)$$

где  $X_{\text{аэр}}^{\text{вх}}$  — концентрация взвешенных веществ в поступающем в аэротенк стоке, мг/см<sup>3</sup>;  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент прироста АИ, для городских СВ при проектировании принимается равным 0,3;  $\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{вх}}$  —  $\text{БПК}_{\text{п}}$  на входе в аэротенк.

Приведенная формула применима для бытовых сточных вод; для производственных сточных вод в данную формулу целесообразно ввести показатель ХПК, от соотношения которого с БПК зависит прирост активного ила, так как данное соотношение характеризует концентрацию трудноокисляемых загрязняющих веществ (чем больше разница между БПК и ХПК, тем меньше конструктивный обмен в бактериальной клетке и, соответственно, меньше прирост ила) [5].

Кроме того, прирост ила будет зависеть от неравномерности нагрузок и от залповых аномальных сбросов, — чем больше значение данных

показателей (идентифицируемых как  $k_{\text{н}}^{\text{ХПК}}$ ), тем меньше прирост ила.

С учетом приведенных поправок окончательную зависимость для определения прироста ила в биосистеме предлагается записать в следующем виде:

$$F_{\text{сп}} = \left[ 0,8X_{\text{аэр}}^{\text{вх}} + K_{\text{пр}} \left( \text{БПК}_{\text{п}}^{\text{вх.с.с.}} / \text{ХПК}^{\text{вх.с.с.}} \right) \right] - \exp(k_{\text{н}}^{\text{ХПК}}), \quad (14)$$

где  $K_{\text{пр}}$  — коэффициент прироста ила для производственных сточных вод с соотношением ХПК/БПК<sub>п</sub> перед аэротенками <0,3 предлагается принять 0,2; если ХПК/БПК<sub>п</sub> перед аэротенками — 0,3...0,5, то  $K_{\text{пр}}$  принимается 0,1;  $\text{ХПК}^{\text{вх.с.с.}}$  и  $\text{БПК}_{\text{п}}^{\text{вх.с.с.}}$  — ХПК и БПК полное, усредненные за 4 ч (за время нахождения СВ в сооружениях механической и физико-химической очистки, предшествующей биоочистке).

## Список литературы

1. **Воронов Ю. В., Яковлев С. В.** Водоотведение и очистка сточных вод: Учебник для вузов. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006 — 704 с.
2. **Хенце М., Армоес П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э.** Очистка сточных вод: Пер. с англ. — М.: Мир, 2004. — 480 с.
3. **Кирсанов В. В.** Теоретические и практические аспекты биологической очистки сточных вод в аэротенках: Монография / Под ред. А. Н. Глебова. — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2010. — 264 с.
4. **Кирсанов В. В.** Современные технико-технологические методы защиты окружающей среды. Т. I. Процессы и аппараты защиты гидросферы. — Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2012. — 496 с.
5. **СНиП 2.04.03—85.** Строительные нормы и правила. Канализация. Наружные сети и сооружения.

V. V. Kirsanov, Professor, e-mail: vvkirsanov@gmail.com, Kazan National Research Technical University — KAI

## The Calculation of the Basic Parameters of the Biosystem in Terms of Biodegradation of Toxic Pollutants with Varying Concentration of Industrial Wastewater

*The article gives a brief description of the biosystem and methodology developed by the author for the calculation of technological and geometrical parameters (time of oxidation in biological systems, the regeneration time of the activated sludge, sludge growth, the volume of the aeration tank and regenerator) combined aeration tank corridor type for biodegradation of industrial effluents, taking into account the uneven loads, COD and the volume of the regeneration zone.*

**Keywords:** biosystem, aeration, secondary settling tank, waste water, activated sludge, the amount of the biosystem, the oxidation, the oxidation rate, averaging time, the regeneration, the regeneration zone, the coefficient of uneven loads, the ash content of the sludge, the average sample growth rate of sludge

### References

1. **Voronov Ju. V., Jakovlev S. V.** Vodootvedenie i oshistka stochnyh vod: Uchebnik dlja vuzov. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2006. 704 p.
2. **Hence M., Armoes P., Lja-Kur-Jansen J., Arvan Je.** Oshistka stochnyh vod: Per. s angl. M.: Mir, 2004. 480 p.
3. **Kirsanov V. V.** Teoreticheskie i prakticheskie aspekty biologicheskoy oshistki stochnyh vod v aerotenkah: Monografija / Pod red. A. N. Glebova. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta, 2010. 264 p.
4. **Kirsanov V. V.** Sovremennye tehniko-tehnologicheskie metody zashhity okruzhajushhej sredy. T. I. Processy i apparaty zashhity gidrosfery. Kazan': Izd-vo Kazan. gos. tehn. un-ta, 2012. 496 p.
5. **SNiP 2.04.03—85.** Stroitel'nye normy i pravila. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija.

**И. Х. Мингазетдинов**, канд. техн. наук, проф., **А. Р. Галимова**, ст. препод.,  
e-mail: Galimovaalina585@gambler.ru, Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А. Н. Туполева — КАИ

## Разработка рациональной схемы ионообменного фильтра

*Рассмотрена актуальная задача очистки промышленных сточных вод от растворенных загрязняющих веществ (ионы тяжелых металлов, ПАВ, цианистые соединения). Описаны проведенные эксперименты на модельных растворах, которые позволили установить динамические характеристики поглощения ионов фильтроэлементом и выбрать параметры процесса до "проскока". Представлен барабанный ионообменный фильтр, в котором ионообменная ткань перемещается по сетчатому барабану, установленному в баке с очищаемой жидкостью. Использование данного фильтра позволит организовать замкнутые системы водоснабжения и значительно сократить число необходимых единиц оборудования.*

**Ключевые слова:** барабанный фильтр, ионообменная ткань, ионообменная емкость, регенерация, расчет параметров

### Введение

Промышленные сточные воды загрязняются различными по химическому составу и агрегатному состоянию веществами. Качественная очистка сточных вод представляет важную задачу, как в экологическом плане, так и с точки зрения экономики. Рациональная система позволяет организовать замкнутые системы водоснабжения, исключая стоки в водоем.

Очистка сточных вод от взвешенных веществ эффективно решается различными механическими методами — осаждение, центробежное разделение, фильтрация. Наиболее сложную задачу представляет очистка и удаление из сточных вод растворенных загрязняющих веществ (ионы тяжелых металлов, ПАВ, цианистые соединения). Такие загрязнители характерны для отходов различных гальванических процессов, промывных вод машиностроения и энергетики. Одним из перспективных методов очистки от растворимых загрязнителей является ионообменный метод.

### Сущность метода и эксперименты

Ионный обмен заключается во взаимодействии раствора с твердой фазой — ионитом, при этом находящийся в ионите противоион обменивается на другие ионы, находящиеся в воде и являющиеся загрязнителями. Процесс ионного обмена обусловлен разностью химических потенциалов ионов, участвующих в обмене. Реакция ионного обмена протекает до установления ионного равновесия и является обратимой. Способность

ионита поглощать ионы загрязнителя характеризуется обменной емкостью. Динамическая обменная емкость определяется путем проведения экспериментов до "проскока" поглощаемых ионов в фильтрат. Экспериментальные исследования по поглощению ионов меди из модельного раствора катионообменным материалом позволили определить динамические характеристики, приведенные на рис. 1.

Анализ полученных результатов показывает, что из исследуемого раствора поглощение ионов происходит линейно до определенного уровня ( $\approx 85\text{--}90\%$ ), характеризующего линию насыщения (зона I). После этого по экспоненциальной зависимости степень поглощения достигает максимального значения (зона II), и далее происходит "проскок", т. е. ионы не поглощаются,

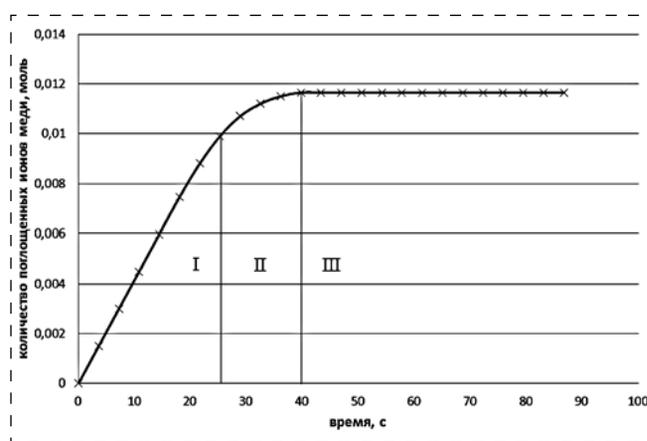


Рис. 1. Динамика поглощения ионов катионитом



а остаются в очищаемой воде (зона III). На практике при использовании ионообменной очистки необходимо для конкретного вида загрязняющих веществ определять динамические характеристики выбранного ионообменного материала. По полученным значениям выбирается время пребывания очищаемой воды в зоне ионного обмена, что будет определять производительность процесса. Однако не следует стремиться достигать полного использования обменной емкости до насыщения, так как концентрация загрязняющих веществ может изменяться в определенном диапазоне. Исходя из этого необходимо ввести коэффициент  $K = C_{\text{доп}}/C_{\text{нас}}$ , где  $C_{\text{доп}}$  — допустимая концентрация вещества в ионите;  $C_{\text{нас}}$  — концентрация загрязнителя в ионите на уровне насыщения. В зависимости от характера технологического процесса значение  $K$  можно задавать в диапазоне 0,6...0,8.

### Выбор ионита

Промышленность выпускает иониты различного вида: зерна, гранулы, волокнистые материалы, ткани, листы. Выбор вида ионита определяется конструктивно схемой очистного устройства. Практическая реализация ионообменных процессов осуществляется в ионообменных аппаратах колонного типа — насыпные, листовые фильтры, которые работают в периодическом режиме до полного исчерпания динамической емкости. Для восстановления емкости ионита аппараты останавливают и промывают регенерирующим раствором. В результате этого производительность процесса очистки значительно уменьшается.

Для осуществления непрерывного процесса очистки оборудуют два ионообменных аппарата, которые работают в противофазе: один — в режиме очистки, другой — в режиме регенерации. Вследствие этого значительно возрастает металлоемкость конструкций, требуются дополнительные площади, существенно увеличивается стоимость очистных сооружений. Для устранения отмеченного выше разработан ионообменный фильтр [1], в котором используется ткань из ионообменных волокон. Тканевые ионообменные материалы имеют ряд преимуществ по сравнению с гранулированными ионитами.

1. Тканевые ионообменные материалы имеют значительно большую удельную поверхность. Например, удельная поверхность гранулированных ионитов составляет в среднем  $0,1 \text{ м}^2/\text{г}$ , в то время как удельная поверхность волокон равна  $10...25 \text{ м}^2/\text{г}$ , что обеспечивает

более полное и быстрое улавливание загрязняющих веществ.

2. Большая доступность ионогенных групп для обмена ионов обеспечивает высокую скорость обмена и лучшие кинетические характеристики материала, причем высокая ионообменная емкость не снижается при многократных циклах регенерации.

3. Разнообразие форм волокнистых материалов (ткани, набивные модули и др.) дает возможность разрабатывать различные схемы ионообменных аппаратов.

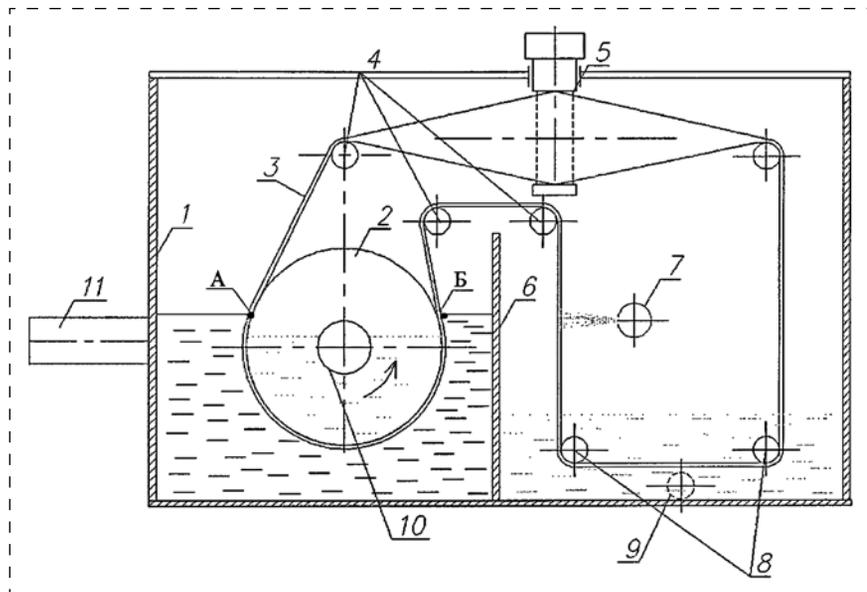
### Барабанный ионообменный фильтр

Разработан барабанный ионообменный фильтр [2], позволяющий проводить очистку воды от растворенных загрязнителей и непрерывно регенерировать ионообменный материал. Фильтр состоит из корпуса, разделенного перегородкой на два отсека: зона очистки загрязненной воды и зона регенерации ионообменного материала. В первом отсеке расположен сетчатый барабан, вращающийся от постороннего привода. Фильтровальная ткань из ионообменных волокон охватывает сетчатый барабан и проходит через систему роликов в зону регенерации. В отсеке регенерации имеется трубопровод для подвода регенерационной жидкости, которая подается через систему форсунок под давлением.

В зависимости от вида загрязняющих веществ может выбираться соответствующий ионообменный материал (катионит или анионит) и для каждого из них используется свой регенерационный раствор. Для катионитов применяют кислотную среду, а для анионитов — щелочную. Кроме того, система роликов в отсеке регенерации обеспечивает промывку ткани в слое регенерирующей жидкости. После промывки и восстановления исходных свойств ионообменная ткань поступает в зону очистки на барабан, и цикл очистки продолжается. Очищенная от загрязняющих веществ вода отводится через центральный патрубок по оси барабана.

Эффективность работы ионообменного фильтра определяется временем пребывания ионообменной ткани в зоне очистки, которое зависит от скорости вращения барабана. Определение технологических параметров предложенного устройства (рис. 2) базируется на приведенной ниже расчетной схеме.

Ионообменная лента охватывает барабан 2 диаметра  $D$ , погруженный в очищаемую жидкость на определенную глубину. Необходимо, чтобы



**Рис. 2. Барабанный ионообменный фильтр**

1 — корпус; 2 — сетчатый барабан; 3 — ионообменная мембрана; 4 — подвижные ролики; 5 — поворотные валы; 6 — перегородка; 7 — трубопровод подвода регенерирующей жидкости с системой форсунок; 8 — ролики отсека регенерации; 9 — патрубок подвода и отвода регенерирующей жидкости; 10 — патрубок отвода очищенной воды; 11 — патрубок подвода загрязненной воды

уровень жидкости был равен или ниже обхвата лентой барабана. При вращении барабана лента перемещается в жидкости от точки А до точки В и длина пути составляет:

$$L = mD\pi, \quad (1)$$

где  $m$  — коэффициент, определяющий долю погруженной части барабана.

Этот путь ионообменная лента должна пройти за время  $\tau_{\text{доп}}$  — допустимое время пребывания ленты в баке, которое выбирается на основе экспериментальных данных (по кривой динамики ионообменного поглощения (см. рис. 1)). Исследования проведены с хемосорбционными волокнами ВИОН КН-1 (Na-форма).

Для практической реализации предложенного устройства необходимо для каждого вида загрязняющего вещества и выбранного ионообменного материала снимать динамические характеристики ионного обмена.

Задавая вращение барабана с угловой скоростью  $\omega$ , можно определить линейную скорость движения ленты:

$$V_{\text{лин}} = \omega R, \quad (2)$$

где  $R$  — радиус барабана.

Время пребывания ионообменной ленты в жидкости

$$\tau_{\text{ж}} = \frac{L}{V_{\text{лин}}} = \frac{L}{\omega R}, \quad (3)$$

откуда

$$L = \tau_{\text{ж}}\omega R. \quad (4)$$

Приравнявая значения  $L$  из формул (1) и (4), принимая  $\tau_{\text{ж}} = \tau_{\text{доп}}$ , заменив  $D$  на  $2R$ , получим:

$$\omega = m \frac{2\pi}{\tau_{\text{доп}}}. \quad (5)$$

Значение коэффициента  $m$ , диаметра барабана  $D$  и вид ионообменного материала определяются особенностями и характером технологического процесса, исходной концентрацией загрязняющих веществ, объемом очищаемой жидкости. Кроме того, для конкретного вида загрязнителя необходимо лабораторным путем определять динамические характеристики ионного обмена для исключения "проскока".

## Выводы

Предложенное устройство барабанного ионообменного фильтра с использованием ионообменных материалов и реализацией непрерывной регенерации позволяет качественно очищать производственные сточные воды от загрязняющих веществ, дает возможность организовать оборотные системы водоснабжения и значительно сократить количество единиц оборудования.

## Список литературы

1. Мингазетдинов И. Х., Газеев Н. Х., Галимова А. Р. Разработка новых схем физико-химических методов очистки сточных вод // Журнал экологии и промышленной безопасности. — 2010. — № 4. — С. 66–71.
2. Патент РФ на полезную модель № 2010117119/05, 29.04.2010. Мингазетдинов И. Х., Маннапова А. Р. Ионообменный фильтр // Патент России № 97058. 2010. Бюл. № 24.



**I. H. Mingazetdinov**, Professor,  
**A. R. Galimova**, Senior Lecturer, e-mail: Galimovaalina585@rambler.ru, Kazan  
National Research Technical University — KAI

## Development of a Rational Scheme of Ion Exchange Filter

*Considered urgent task of purification of industrial waste water from dissolved contaminants (heavy metals, surfactants, cyanide compounds). These pollutants are characteristic of various galvanic processes, industrial water engineering and energy. The rational scheme of ion exchange filter with continuous regeneration of the filter.*

*As an active filter element selected from the ion-exchange fiber cloth VION KN-1 (Na-form). The experiments on model solutions possible to establish the dynamic characteristics of ion absorption filter element and choose the parameters of the process to "breakthrough." Selection of tissue ion exchange materials is explained advantages compared with granular ion exchangers (large specific surface area, high ion exchange rate, the diversity of fibrous materials).*

*Ion exchanger drum is designed in which the fabric moves through the ion exchange the mesh drum mounted in the tank with the cleaning liquid. The drum rotates at a speed outside of the tape, the dynamic characteristics of the particular ion exchange. Next, the tape is moved by a system of rollers in a regeneration chamber, where, depending on the type of fabric used certain ion exchange solution (acidic solution to the alkaline cation and anion resins). On the proposed scheme received a patent of the Russian Federation. Using this filter will help organize closed water system and significantly reduce the number of necessary pieces of equipment.*

**Keywords:** drum filter, ion exchange fabric, ion exchange capacity, regeneration, the calculation parameters

### References

1. **Mingazetdinov I. H., Gazeev N. H., Galimova A. R.** Razrabotka novyh shem fiziko-himicheskikh metodov ochistki

stoknyh vod. *Journal of environmental and industrial safety*. 2010. № 4. P. 66—71.

2. **Patent RF** for utility model № 2010117119/05, 29.04.2010. Mingazetdinov I. H., Mannapova A. R. Ionoobmennyy fil'tr. *Russian patent № 97058. 2010. Bul. № 24.*

## ОБРАЗОВАНИЕ EDUCATION

УДК 378

**К. Е. Панкин**<sup>1</sup>, канд. хим. наук, доц., e-mail: texmexium@mail.ru, **А. Ф. Крылов**<sup>2</sup>, канд. физ.-мат. наук, доц., **О. В. Кабанов**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.

<sup>1</sup> Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова,

<sup>2</sup> Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

## Разработка учебной программы по дисциплине "Физико-химические основы развития и тушения пожаров"

*Рассмотрен опыт разработки программы по дисциплине "Физико-химические основы развития и тушения пожаров" для студентов направления 280700 "Техносферная безопасность", профиль подготовки "Пожарная безопасность".*

**Ключевые слова:** физико-химические основы, развитие пожаров, тушение пожаров, компетенции

## Введение

В последнее время наблюдается устойчивый рост числа чрезвычайных ситуаций, вызванных хозяйственной деятельностью человека. Первые полтора десятилетия XXI века запомнились серией крупнейших техногенных катастроф, абсолютное большинство из которых произошли на предприятиях топливно-энергетического комплекса, химической промышленности и пр. Следует отметить, что практически половина всех чрезвычайных ситуаций (ЧС), происходящих в России и мире, связаны с пожарами и взрывами.

Ниже перечислены некоторые из таких ЧС.

— В ночь с 9 на 10 мая 2009 г. произошел взрыв и пожар на газопроводе в Москве, которому была присвоена пятая, самая высшая, категория сложности.

— 22 апреля 2010 г. в Мексиканском заливе у побережья американского штата Луизиана после взрыва, унесшего жизни 11 человек, и 36-часового пожара затонула управляемая буровая платформа "Deepwater Horizon".

— 11 марта 2011 г. на северо-востоке Японии на АЭС "Фукусима-1" после сильнейшего землетрясения произошла крупнейшая за последние 25 лет после катастрофы на Чернобыльской АЭС авария. Вслед за подземными толчками магнитудой 9,0 на побережье пришла огромная волна цунами, которая повредила 4 из 6 реакторов атомной станции и вывела из строя систему охлаждения, что привело к серии взрывов водорода, расплавлению активной зоны.

— 4 октября 2012 г. произошел пожар на предприятии ОАО "Саратовский нефтеперерабатывающий завод", принадлежащем концерну ТНК-ВР, из-за самовозгорания насосной установки.

— 18 апреля 2013 г. в американском городе Вест в штате Техас на заводе удобрений произошел мощный взрыв. Причина — нарушение правил работ со взрывоопасным нитратом аммония.

В связи с вышеизложенным направление подготовки "Техносферная безопасность" в последние годы приобретает все большую популярность. Так, в подготовке бакалавров по профилю "Пожарная безопасность" участвуют наряду с профильными учебными заведениями Государственной противопожарной службы МЧС России другие гражданские вузы. Ниже представлен далеко не полный список таких учреждений.

— Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС России.

— Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России.

— Академия Государственной противопожарной службы МЧС России.

— Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России.

— Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России.

— Курский государственный университет (бакалавриат).

— Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева (бакалавриат).

— Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова (бакалавриат).

— Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина (среднее специальное образование).

— Тольяттинский государственный университет (бакалавриат).

— Северный Арктический Федеральный университет им. М. В. Ломоносова (бакалавриат).

— Уфимский государственный авиационный технический университет (бакалавриат).

— Уфимский государственный нефтяной технический университет (бакалавриат).

Несмотря на большой интерес к направлению подготовки "Техносферная безопасность" реализация этого направления в ВУЗах гражданского назначения осложняется отсутствием четких представлений и критериев к изучаемым дисциплинам, которые могут быть учтены в рабочих программах в виде изучаемых тем.

### Местоположение дисциплины в учебном процессе

В соответствии с образовательным стандартом по направлению подготовки 280700 "Техносферная безопасность" профилем подготовки "Пожарная безопасность" дисциплина "Физико-химические основы развития и тушения пожаров" (ФХОРТП) находится в вариативной части математического и естественнонаучного цикла, т. е. является естественнонаучной дисциплиной, дающей представление о пожарах как процессах, подчиняющихся физическим и химическим законам, и представление о пожаротушении — как создании условий, препятствующих горению и свободному распространению пламени.

### Дисциплины, предшествующие изучению дисциплины ФХОРТП

Дисциплина "Физико-химические основы развития и тушения пожаров" относится к естественнонаучным и должна базироваться на знании следующих дисциплин: "Ноксология", "Химия", "Физика", "Высшая математика", изучаемых студентами в высшем учебном заведении:

— дисциплина "Ноксология" должна дать студентам представление о (1) техносфере, об опасностях, которые несут энергетические процессы, используемые человеком в его хозяйственной деятельности, (2) пожарах, являющихся следствием ошибок в использовании или управлении процессами получения и передачи энергии, хранения горючих веществ в хозяйственной деятельности и пожары в природной среде;

— дисциплина "Химия" должна дать студентам представление об окислительно-восстановительных реакциях как основе процесса горения, химической термодинамике и энергетике химического процесса, химическом средстве и направлении течения химической реакции, скорости химической реакции,



химическом равновесии и факторах, влияющих на него;

— дисциплина "Физика" должна дать студентам представление о началах (законах) термодинамики, внутренней энергии вещества и способах ее освобождения, энтальпии, энтропии, трансформации энергии в открытых и закрытых системах, процессах теплопередачи и т. п.;

— дисциплина "Высшая математика" должна дать студентам представление об общности применения приемов математики для материального мира и численной оценке процессов, сопровождающихся выделением энергии.

Для качественного усвоения дисциплины ФХОРТП студент должен знать теоретические основы процессов тепловыделения, а также уметь реализовать на практике действия при возникновении пожара.

### Последующие дисциплины

Дисциплина "Физико-химические основы развития и тушения пожаров" является базовой для изучения ряда последующих дисциплин: "Прогнозирование опасных факторов пожаров", "Организация защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций", "Расследование и экспертиза пожаров", "Пожарная тактика", "Безопасность технологических процессов", "Пожарная безопасность в строительстве":

— для дисциплины "Прогнозирование опасных факторов пожаров" будут полезны сведения об условиях, способствующих или препятствующих распространению пожара, факторах, усиливающих или ослабляющих скорость горения, дальности действия поражающих факторов пожаров;

— для дисциплины "Организация защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций" будут полезны сведения о физических принципах противодействия возникновению пожара и его свободному распространению в окружающей среде, о физических и химических принципах защиты населения и территорий от пожаров и их поражающих факторов, а также реализации физических и химических принципов на практике;

— для дисциплины "Расследование и экспертиза пожаров" будут полезны сведения о причинах возникновения и развития пожаров, а также физических и химических факторах, способствующих или препятствующих пожару;

— для дисциплины "Пожарная тактика" будут полезны сведения о способах и огнетушащих веществах, позволяющих локализовать и ликвидировать горение;

— для дисциплин "Безопасность технологических процессов", "Пожарная безопасность в строительстве" будут полезны сведения о возможном возникновении пожара при нарушении производственных процессов.

### Компетенции, развиваемые дисциплиной ФХОРТП

Дисциплина "Физико-химические основы развития и тушения пожаров" направлена на формирование у студентов следующих компетенций:

общекультурной компетенции — способности использовать законы и методы математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении профессиональных задач (ОК-11); профессиональной компетенции — способности ориентироваться в основных методах и системах обеспечения техносферной безопасности, обоснованно выбирать известные устройства, системы и методы защиты человека и природной среды от опасностей (ПК-8).

В результате освоения дисциплины ФХОРТП студент должен:

*знать:* законы естественных наук, которым подчиняется развитие и тушение пожаров, характеристики пожароопасности веществ и материалов, физико-химические основы, методы и технические способы реализации профилактики и тушения пожаров;

*уметь:* применять законы естественных наук для выявления условий, способствующих и препятствующих возникновению пожара, осуществлять оценку пожароопасности веществ, материалов; применять технические способы и приемы оценки процесса пожаротушения (тип, масса, скорость подачи огнетушащего вещества и т. п.);

*владеть:* культурой безопасности при обращении с энергетическими процессами, с пожароопасными веществами, методами и приемами оценки пожароопасной обстановки на объекте, а также организационными техническими способами противопожарной профилактики и тушения пожаров.

Уровнями освоения дисциплины являются "**Пороговый**" и "**Повышенный**". Для определения уровня усвоения студентом преподаваемого материала предлагаются следующие критерии.

**Пороговый уровень** освоения материала

*Знает:* основы развития и тушения пожаров; горючие вещества, окислители; источники зажигания, а также огнетушащие вещества и материалы; условия, способствующие возникновению пожаров и принципы пожаротушения.

*Понимает:* условия возникновения пожаров и пожаротушения; назначение классов пожарной опасности веществ и материалов, а также типы огнетушащих веществ; опасность возникновения возгорания при некоторых условиях и необходимость обеспечения мер противопожарной профилактики.

*Способен:* отнести вещество или материал к окислителям или горючим веществам, а также определить тип огнетушащего вещества; определить наличие пожарной опасности и условий пожаротушения при горении твердых, жидких и газообразных веществ; применять законы химической кинетики и термодинамики для процессов горения и тушения пожара.

*Умеет:* применять законы термодинамики и кинетики для процессов горения и пожаротушения; определять возможности возникновения возгорания и искать возможности тушения пожаров.

*Владеет:* практическими навыками оценки пожарной опасности веществ и способами тушения пожаров; культурой пожарной безопасности и принципами пожаротушения.

### **Повышенный уровень** освоения материала

**Знает:** законы естественных наук, отвечающих за развитие пожаров и тушение пожаров; свойства веществ и материалов, определяющих их пожароопасные или огнетушащие свойства; численные характеристики пожароопасных смесей и условия, способствующие или препятствующие возникновению горения.

**Понимает:** особенности развития и тушения отдельных видов пожаров; горение как сложный физико-химический процесс, а также особенности реализации на практике процессов тушения; границы условий пожарной опасности веществ и материалов и объем комплекса противопожарных мероприятий.

**Способен:** определить направление окислительно-восстановительного процесса и численно оценить огнетушащую способность веществ и материалов; дать оценку пожарной опасности и огнетушащей способности вещества; численно оценить скорость, направление и энергию процесса горения и характеристики процесса тушения пожара.

**Умеет:** количественно оценивать параметры горения и огнетушения с точки зрения термодинамики и химической кинетики; определять условия возникновения горения и обосновывать технику и приемы пожаротушения.

**Владеет:** практическими навыками оценки пожарной опасности веществ, условий возникновения пожаров и Основными методами и приемами тушения; методами прогнозирования возникновения условий пожарной опасности и методами реализации пожаротушения на практике.

### **Содержание дисциплины ФХОРТП**

Дисциплину "Физико-химические основы развития и тушения пожаров" необходимо изучать в течение одного семестра во второй половине цикла (5–7 семестры) обучения бакалавра по направлению подготовки 280700 — "Техносферная безопасность", когда студентом успешно освоены все естественнонаучные дисциплины. Такой выбор продиктован наличием в списке дисциплин другой родственной дисциплины "Теория горения и взрыва", также входящей в блок математических и естественнонаучных дисциплин. Так как физическая основа обеих дисциплин одинакова, то для того чтобы преподаваемый материал в значительной мере не перекрывался общая трудоемкость, по мнению авторов, должна составить 144 часа, из них аудиторная работа — 36 часов, самостоятельная работа — 108 часов (см. таблицу).

### **Комментарии к содержанию дисциплины ФХОРТП**

Студенты, обучающиеся в технических вузах, несмотря на обилие инженерных дисциплин, довольно трудно усваивают химию, особенно разделы, связанные с составлением химических реакций и применением к нему расчетов, связанных с законом сохранения массы вещества, химической термодинамикой и химической кинетикой, и некоторые

разделы физики, например термодинамику и молекулярную физику. По мнению студентов, все эти разделы объединяет некоторая отвлеченность предмета изучения дисциплины ФХОРТП от конечной цели обучения — получения диплома инженера в области техносферной безопасности. Тем не менее такое мнение ошибочно и недостаток знаний в области естественных наук вызывает затруднения в усвоении материала об огнетушащей способности веществ. Все это заставляет уделить внимание повторению материала, связанного с окислительно-восстановительными реакциями, химической термодинамикой и химической кинетикой, вопросами молекулярной физики, превращениями и передачей теплоты в открытых и закрытых системах применительно к развитию и тушению пожаров.

Затем необходимо уделить внимание вопросам горения веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях: газов, жидкостей и твердых веществ, а потом, на основании изученного материала, перейти к принципам пожаротушения и их реализации на практике, попутно объяснив механизм действия огнетушащих веществ. Все этому практически не уделяется внимание в ходе изучения естественнонаучных дисциплин.

Отличительной особенностью дисциплины ФХОРТП является возможность объяснить с точки зрения физики и химии процессы, способствующие возникновению и развитию пожаров, а также физическую и химическую природу процессов пожаротушения и основу действия огнетушащих веществ разных типов. Этим дисциплина ФХОРТП отличается от родственной дисциплины "Теория горения и взрыва", в которой основное внимание уделяется физике взрывных процессов, образованию и распространению ударных волн и пр.

### **Оценочные средства для проведения входного, рубежного и выходного контролей**

Обязательной составляющей любой дисциплины являются оценочные средства, представляющие собой список вопросов, на которые студенты должны дать ответы для определения преподавателем уровня усвоения компетенций.

*Вопросы, рассматриваемые на аудиторных занятиях*

1. Типы химических реакций.
2. Окислительно-восстановительные реакции, приводящие к пожарам и взрывам.
3. Термодинамика химического процесса.
4. Законы (начала) термодинамики.
5. Передача теплоты в закрытых и открытых термодинамических системах.
6. Тепловой эффект (энтальпия) химической реакции. Закон Гесса.
7. Экзотермические и эндотермические процессы.
8. Понятие энтропии при превращении вещества.
9. Уравнение Гиббса для химического процесса.
10. Кинетика химической реакции.
11. Скорость химической реакции.
12. Закон действующих масс.
13. Понятие химического равновесия.



### Структура и содержание дисциплины

№ п/п	Тема занятия. Содержание	Неделя семестра	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Вид занятия	Форма проведения	Количество часов	Количество часов
1	<b>Цели, задачи, методы дисциплины "Физико-химические основы развития и тушения пожаров"</b>	1	Л	Т	2	8
2	Окислительно-восстановительные реакции, приводящие к пожарам	2	ЛР	Т	2	6
3	<b>Факторы, необходимые для возникновения пожаров</b>	3	Л	В	2	8
4	Горючие вещества, окислители, источники зажигания, их параметры и характеристики	4	ЛР	Т	2	6
5	<b>Термодинамика горения</b>	5	Л	Т	2	8
6	Первое начало термодинамики применительно к процессам горения	6	ЛР	Т	2	6
7	<b>Кинетика горения</b>	7	Л	В	2	8
8	Скорость химической реакции и факторы, влияющие на нее	8	ЛР	Т	2	6
9	<b>Объемное горение и горение конденсированных сред.</b> Воспламенение и горение газообразных, жидких, твердых веществ и материалов. Механизм выгорания жидкостей и твердых веществ	9	Л	В	2	8
10	Физико-химические основы тушения пожаров	10	ЛР	Т	2	6
11	<b>Физико-химические принципы прекращения горения</b>	11	Л	Т	2	8
12	Термодинамические факторы, препятствующие горению	12	ЛР	Т	2	6
13	<b>Кинетические факторы, препятствующие горению</b>	13	Л	Т	2	4
14	Расчет физико-химических условий, необходимых для прекращения горения	14	ЛР	М	2	6
15	<b>Огнетушащие вещества, их виды и характеристики</b>	15	Л	Т	2	4
16	Классификация огнетушащих веществ по виду их действия и характеристикам	16	ЛР	М	2	6
17	<b>Механизмы действия огнетушащих веществ</b>	17	Л	Т	2	4
18	Расчет массы огнетушащего вещества, необходимой для тушения пожара	18	ЛР	Т	2	—
19	Итого за семестр	—	—	—	36	108
Итого:	—	—	—	—	36	108

Условные обозначения:

Виды аудиторной работы: Л — лекция; ЛР — лабораторная работа.

Формы проведения занятий: Т — лекция/занятие, проводимое в традиционной форме; В — лекция-визуализация; М — моделирование.

14. Константа химической реакции и константа равновесия химической реакции.

15. Направление течения химического процесса.

16. Принцип Ле-Шателье и его влияние на направление химического процесса.

17. Горючие вещества и их характеристики.

18. Горючие газы. Дайте определение и приведите примеры.

19. Легковоспламеняющиеся жидкости. Дайте определение и приведите примеры.

20. Горючие жидкости. Дайте определение и приведите примеры.

21. Горючие пыли. Дайте определение и приведите примеры.

22. Виды окислителей и их характеристики.

23. Виды источников зажигания.

24. Параметры источников зажигания.

25. Понятие конденсированного вещества.

26. Горение конденсированных веществ. Формирование паро-(газо-)-воздушного облака. Процессы испарения и возгонки.

27. Горение жидкостей. Формирование диффузионной зоны горения.

28. Особенности горения твердых веществ.

29. Физические основы процесса тушения пожара.
30. Химические основы процесса тушения пожара.
31. Принципы прекращения горения.
32. Реализация принципов прекращения горения на практике.
33. Прекращение горения с точки зрения термодинамики.
34. Прекращение горения с точки зрения химической кинетики.
35. Расчет условий прекращения горения.
36. Огнетушащие вещества и их характеристики.
37. Классификация огнетушащих веществ.
38. Классификация огнетушащих веществ по агрегатному состоянию.
39. Классификация огнетушащих веществ по типу огнетушащего действия.
40. Огнетушащие вещества охлаждающего действия. Приведите примеры.
41. Физико-химическая природа действия огнетушащих веществ охлаждающего действия.
42. Механизм действия охлаждающего огнетушащего вещества.
43. Огнетушащие вещества изолирующего действия. Приведите примеры.
44. Физико-химическая природа действия изолирующего огнетушащего вещества.
45. Механизм действия изолирующего огнетушащего вещества.
46. Огнетушащие вещества разбавляющего действия. Приведите примеры.
47. Физико-химическая природа действия разбавляющего огнетушащего вещества.
48. Механизм действия разбавляющего огнетушащего вещества.
49. Огнетушащие вещества ингибирующего действия. Приведите примеры.
50. Физико-химическая природа действия ингибирующего огнетушащего вещества.
51. Механизм действия ингибирующего огнетушащего вещества.
52. Особенности применения огнетушащих веществ.
53. Подача огнетушащего вещества в зону горения.
54. Огнетушащие составы.
55. Количество огнетушащего вещества, необходимого для прекращения горения.
56. Получение огнетушащих веществ.
57. Хранение огнетушащих веществ.
58. Способы тушения пожаров.

#### *Вопросы для самостоятельного изучения*

1. Типы химических реакций.
2. Реакции с выделением теплоты.
3. Реакции с поглощением теплоты.
4. Термодинамика химических процессов.
5. Кинетика химических процессов.
6. Направление химических процессов.
7. Скорость реакции и константа скорости реакции.
8. Энтальпия химической реакции.
9. Энтропия химической реакции.
10. Горение как термодинамический процесс.
11. Разнообразие горючих веществ.

12. Разнообразие окислителей.
13. Разнообразие источников зажигания.
14. Горение жидкостей.
15. Горение твердых веществ.
16. Химическая уязвимость горения.
17. Физическая уязвимость горения.
18. Прекращение горения.
19. Параметры среды, влияющие на устойчивость горения.
20. Способы тушения пожаров.
21. Принципы прекращения горения и их реализация на практике.
22. Огнетушащие вещества.
23. Первичные средства тушения пожаров.
24. Подручные средства тушения пожаров.
25. Применение огнетушащих веществ.
26. Классы огнетушащих веществ.
27. Принципы действия огнетушащих веществ.
28. Правила выбора огнетушащих веществ.
29. Разнообразие огнетушащих веществ.
30. Механизм горения и его уязвимые стадии.

#### **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины ФХОРТП**

Анализ изданной литературы за последние 10 лет (время активного внедрения Федеральных государственных образовательных стандартов 3-го поколения) показал отсутствие специализированной литературы по рассматриваемой дисциплине. Поэтому необходимо изданную литературу по техническим и естественным наукам подбирать таким образом, чтобы эти материалы удовлетворяли требованиям примерной рабочей программы. Фактически единственной монографией, затрагивающей вопросы физико-химических основ горения и тушения пожаров, является работа [1]. К сожалению, эта книга является библиографической редкостью, так как издана в 1980 г. и согласно требованиям Государственного образовательного стандарта ее можно включить только в список дополнительной литературы. Поэтому, анализируя содержание современных университетских учебников и монографий, авторы подобрали список и могут рекомендовать основные [1—6] и дополнительные источники [7—11]. Литературные источники, представленные в списке литературы, полностью удовлетворяют требованиям рабочей программы.

#### **Выводы**

В результате проделанной работы составлена примерная программа дисциплины "Физико-химические основы развития и тушения пожаров", определено ее местоположение в учебном плане подготовки бакалавра по направлению 280700 — "Техносферная безопасность", обоснованы: трудоемкость дисциплины; разделы дисциплины; распределение учебных часов на изучение дисциплины.



## Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики. Том 3. Молекулярная физика и термодинамика. — М.: Лань, 2011. — 224 с.
2. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. — М.: Физматлит, 2006. — 544 с.
3. Кузнецов С. И. Курс физики с примерами решения задач. Часть I. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика. — М.: Лань, 2014. — 464 с.
4. Румянцев Б. В. Окислительно-восстановительные процессы: Учебное пособие. — М.: Бинوم. Лаборатория знаний, 2013. — 285 с.
5. Буданов В. В., Ломова Т. Н., Рыбкин В. В. Химическая кинетика. — М.: Лань, 2014. — 288 с.
6. Афанасьев Б. Н., Акулова Ю. П. Физическая химия. — М.: Лань, 2012. — 416 с.
7. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров: Учебное пособие. — М.: Издательство Высшей инженерной пожарно-технической школы МВД СССР, 1980. — 256 с.
8. Фраанк-Каменецкий Д. А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М.: Наука, 1987. — 234 с.
9. Померанцев В. В. Сборник задач по теории горения. — Л.: Гостеххимиздат, 1983. — 151 с.
10. Хитрин Л. Н. Физика горения и взрыва. — М.: Изд-во МГУ, 1967. — 442 с.
11. Льюис Б., Эльбе Г. Горение, пламена и взрывы в газах. — М.: Изд. Ин. Лит., 1948. — 311 с.

**К. Е. Pankin**<sup>1</sup>, Associate Professor, e-mail: texmexium@mail.ru,  
**А. Ф. Krylov**<sup>2</sup>, Associate Professor, **О. В. Kabanov**<sup>1</sup>, Associate Professor,  
<sup>1</sup> Saratov State agrarian University named after N. I. Vavilov,  
<sup>2</sup> Chernyshevsky Saratov State University

## The Development of "Physico-Chemical Basis of Fire and Firefighting" Education Program

*This paper presents the results of the education program for "Physico-chemical basis of fire and firefighting" discipline of the Federal State Educational Program 280700 "Technosphere safety" which is implemented at the "Technosphere safety, equipment for transport and technology" department in "Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov". The relevance and place of the discipline in the educational process within the scope of implementation of the training profile "Fire Safety" and the amount spent on the study of the subject hours were justified. We formulate competencies which to be realized during implementation of the education program "Physico-chemical basis of fire and firefighting". We provide to describe of the formed competencies ("know", "understand", "method" "can" and "owns") in the "threshold" and "elevated" levels of development. Discipline content and the distribution of classroom hours and independent work of the student and submitted comments were presented. We discuss evaluation tools (issues which addressed in the implementation of training modules), as well as the necessary methods of employment (including active learning methods). Recent published books and textbooks which fully help students to learn "Physico-chemical basis of fire and firefighting" discipline were analyzed and a list of recommended issues (primary and secondary part) was presented.*

**Keywords:** fire, firefighting, physical and chemical basis, competencies, discipline content, methods of education (including active learning methods), distribution of education time, recommended references

### References

1. Savel'ev I. V. Kurs obshhej fiziki. Tom 3. Molekuljarnaja fizika i termodinamika. M.: Lan', 2011. 224 p.
2. Sivuhin D. V. Obshhij kurs fiziki. Tom 2. Termodinamika i molekuljarnaja fizika. M.: Fizmatlit, 2006. 544 p.
3. Kuznecov S. I. Kurs fiziki s primerami reshenija zadach. Chast' I. Mehanika. Molekuljarnaja fizika. Termodinamika. M.: Lan', 2014. 464 p.
4. Rumjancev B. V. Okislitel'no-vosstanovitel'nye processy: Uchebnoe posobie. M.: Binom. Laboratorija znaniij, 2013. 285 p.
5. Budanov V. V., Lomova T. N., Rybkin V. V. Himicheskaja kinetika. M.: Lan', 2014. 288 p.
6. Afanas'ev B. N., Akulova Ju. P. Fizicheskaja himija. M.: Lan', 2012. 416 p.
7. Abduragimov I. M., Govorov V. Ju., Makarov V. E. Fiziko-himicheskie osnovy razvitiya i tushenija pozharov. Uchebnoe posobie. M.: Izdatel'stvo Vysshej inzhenernoj pozharo-tehnicheskoi shkoly MVD SSSR, 1980. 256 p.
8. Fraank-Kameneckij D. A. Diffuzija i teploperedacha v himicheskoi kinetike. M.: Nauka, 1987. 234 p.
9. Pomerancev V. V. Sbornik zadach po teorii gorenija. L.: Gostehhimizdat, 1983. 151 p.
10. Hitrin L. N. Fizika gorenija i vzryva. M.: Izd-vo MGU, 1967. 442 p.
11. L'juis B., Jel'be G. Gorenje, plamena i vzryvy v gazah. M.: Izd. IN. Lit., 1948. 311 p.

Межрегиональная специализированная выставка

# НЕФТЬ • ГАЗ ЭКОЛОГИЯ ЭНЕРГО 2015

29 - 30 октября 2015г.  
г.Ноябрьск



## ОРГАНИЗАТОРЫ:

Администрация г. Ноябрьск  
Выставочная компания СибЭкспоСервис-Н» г. Новосибирск



ООО «СибЭкспоСервис-Н»  
630090, Новосибирск, пр. Коптюга 4, оф. 113  
Тел./факс: (383) 335-63-50 (многоканальный)  
E-mail: ses@avmail.ru



Генеральный  
информационный  
спонсор:

ДубльГис-Ноябрьск 0+

III ЕЖЕГОДНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ВЫСТАВКА

ВУЗ  
ПРОМ  
ЭКСПО  
2015

ОТ ИДЕИ К РЕАЛЬНОСТИ

- БОЛЕЕ 100 ВУЗОВ,  
а также:
- ПРОМЫШЛЕННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ
- НАУЧНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ
- МАЛЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРЕДПРИЯТИЯ
- ИНЖИНИРИНГОВЫЕ ЦЕНТРЫ
- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЛАТФОРМЫ
- ГОСУДАРСТВЕННЫЕ КОРПОРАЦИИ
- ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ КЛАСТЕРЫ

2-4 ДЕКАБРЯ 2015

Федеральная площадка для демонстрации потенциала  
современных технологий и научных изобретений России  
Научный шаг в будущее России

[vuzpromexpo.ru](http://vuzpromexpo.ru)

организаторы:



стратегические партнеры:



ПРИ ПОДДЕРЖКЕ  
ПРАВИТЕЛЬСТВА  
МОСКВЫ

Технополис «Москва» г. Москва, Волгоградский проспект 42/13

### 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](mailto:bjd@novtex.ru), <http://novtex.ru/bjd>

Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: [rusak-maneb@mail.ru](mailto:rusak-maneb@mail.ru)

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 01.06.15. Подписано в печать 15.07.15. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ815.

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)