



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

6(150)  
2013

## СОДЕРЖАНИЕ

### Редакционный совет:

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

Главный редактор  
РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора  
ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь

ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

БЕЛИНСКИЙ С. О.  
ИВАНОВ Н. И.  
КАЛЕДИНА Н. О.  
КАЧАНОВ С. А.  
КАЧУРИН Н. М.  
КЛЕЙМЕНОВ А. В.  
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.  
КСЕНОФОНТОВ Б. С.  
КУКУШКИН Ю. А.  
МАЛАЯН К. Р.  
МАСТРЮКОВ Б. С.  
МАТЮШИН А. В.  
МИНЬКО В. М.  
МИРМОВИЧ Э. Г.  
ПАНАРИН В. М.  
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.  
ФРИДЛАНД С. В.  
ХАБАРОВА Е. И.  
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

### ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

- Ильин С. М., Тушин А. М.** Государственная экспертиза условий труда как инструмент экономических методов управления охраной труда . . . . . 2
- Миненко Н. А., Попов В. А., Панов П. Б., Владимирова О. О., Шукина Н. А.** Применение медицинских средств защиты кожи для снижения тяжести химических ожогов . . . . . 6

### ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Коровин В. А.** Как реформировать законодательство о безопасности в промышленности . . . . . 10

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Рыбаков Ю. С., Дальков М. П.** Охрана водных объектов на территории железнодорожной станции . . . . . 15
- Андрюшкин А. Ю.** Устойчивость процесса распыления при диспергировании жидких отходов . . . . . 19

### РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

- Рудковская Е. В., Омельчук Ю. А., Гомеля Н. Д.** Синтез и оценка эффективности сульфонов как стабилизаторов накипеобразования и ингибиторов коррозии металлов для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения . . . . . 23
- Маслеева О. В., Курагина Т. И., Малафеев О. Ю., Пачурин Г. В.** Резервы энергосбережения в системах освещения образовательных учреждений . . . . . 29

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Лукьянович А. В., Дурнев Р. А., Котосорова А. С.** Оповещение населения при чрезвычайных ситуациях: задача обоснования параметров текстовых сообщений . . . . . 35
- Карцев В. Н., Панкин К. Е., Крылов А. Ф.** Возможно ли обустройство самоочищающихся от снега скатных крыш? . . . . . 41

### ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Бузановский В. А.** Наносенсоры взрывопожарной безопасности объектов добычи, транспортировки и использования природного газа . . . . . 44

### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- Шаврак Е. И.** Вероятностные характеристики неблагоприятных гидрохимических событий в Цимлянском водохранилище . . . . . 49

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ

- О ГОСТ Р ЕН 1005-3—2010** "Безопасность машин. Физические возможности человека. Часть 3. Рекомендуемые пределы усилий при работе на машинах" . . . . . 54
- Приложение. Ксенофонов Б. С., Таранов Р. А., Козодаев А. С., Балина А. А.** Анализ риска подтопления и затопления селитебных территорий в случаях выпадения сильных ливней. Часть I

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.

УДК 331.45

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

## Государственная экспертиза условий труда как инструмент экономических методов управления охраной труда

*Рассмотрено направление совершенствования деятельности органов Государственной экспертизы условий труда, предусматривающее включение экономического механизма заинтересованности работодателя на основе трехстороннего подхода, используемого Международной организацией труда.*

**Ключевые слова:** Государственная экспертиза условий труда, экономический механизм, роль государственного эксперта, стратегия охраны труда, управление профессиональными рисками

**Ilin S. M., Tushin A. M. Official Examination of Conditions of Labor as a Tool of Economic Methods OSH-management**

*We propose the direction of improvement of the activities of official examination of conditions of labor that provides for inclusion of the economic mechanism of the employer's interest based on the tripartite approach employed by the International Labor Organization.*

**Keywords:** Official examination of conditions of labor, the economic mechanism, a role of a state expert, the strategy of OSH, occupational risks management

При переходе к экономическим методам управления охраной труда социально значимым является вопрос правомерности предоставления компенсаций за условия труда на рабочем месте. По результатам государственной экспертизы условий труда (ГЭУТ) работникам могут быть предоставлены компенсации за тяжелую работу, работу с вредными и (или) опасными условиями труда, а также за ущерб здоровью, нанесенный в результате несчастного случая на производстве [1, 8]. В России с принятием Федерального Закона "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" реализуется солидарная ответственность работодателя и государства по выплатам компенсаций пострадавшим [9]. Однако в современном обществе эта система практически изжила себя и

используется только в СНГ и некоторых странах Восточной Европы.

В большинстве развитых стран в настоящее время реализуются так называемые схемы компенсации ущерба от несчастных случаев на производстве [5]. При разработке таких схем соблюдаются шесть жестких принципов, регламентирующих назначение и размер компенсационных выплат, осуществляемых работодателем самостоятельно. Перечислим эти принципы [5].

— Получение пособия при несчастном случае на производстве — одно из основных прав человека, оно должно быть обеспечено всем работникам.

— Несчастные случаи, произошедшие по пути на работу и с работы, рассматриваются как произошедшие на производстве.

— Пособие при несчастном случае выплачивается при любом возникновении трудовых отношений и не зависит от продолжительности трудового стажа.

— В случае долговременной потери трудоспособности пособие выплачивается не единовременно, а периодически.

— Ко всем работникам (гражданам страны и трудящимся-мигрантам) применяются одинаковые нормы и правила.

— Компенсация при потере кормильца составляет как минимум 50 % от его заработной платы, а в случае временной или полной потери им трудоспособности — минимум 60 %.

Компенсации работникам, получившим травмы, полностью выплачиваются работодателем, и эта обязанность работодателей закреплена законодательно.

При такой организации ответственности работодатель сам заинтересован в создании безопасных условий труда, чтобы не допустить возникновения несчастного случая и избежать угрозы здоровью работников. Реализация подобной схемы соответствует идее системы управления профессиональными рисками, главный смысл которой: "Кто создает риски, тот ими и управляет" [6]. Реализация в

России, по примеру развитых стран, схемы, при которой пострадавшим от производственных травм и профессиональных заболеваний работодателем выплачиваются утраченный доход и компенсируются медицинские расходы, позволит стимулировать работодателя к непрерывному улучшению условий труда. В связи с этим должна быть модернизирована система социального страхования, техническое оснащение и компетенция органов контроля и надзора в этой сфере. Кроме того, необходимо сформировать институт профессиональных аудиторов в области оценки профессиональных рисков [3]. Изменены должны будут и цели проведения ГЭУТ, декларированные в Трудовом кодексе [8]. Стратегия модернизации Государственной экспертизы условий труда должна учитывать общепризнанные международные принципы, определенные входящими в Международную организацию труда (МОТ) представителями трех сторон социально-трудовых отношений: работники, работодатели, органы власти. Этот трехсторонний подход обеспечит гибкость и необходимую основу социальной востребованности института ГЭУТ.

Среди субъектов, на основании обращений которых проводится ГЭУТ, основную массу составляют работодатели, профессиональные союзы, их объединения, иные, уполномоченные работниками, представительные органы, органы Фонда социального страхования, судебные органы, а также органы государственного надзора и контроля над соблюдением требований охраны труда [7]. В этом списке представлены все три стороны структуры МОТ. Их чувство корпоративной социальной ответственности должно стать залогом постоянного совершенствования условий и охраны труда для предупреждения случаев производственного травматизма, профессиональных заболеваний и гибели людей на производстве.

Основная финансовая нагрузка по реализации предупредительных и защитных мер, основанных на результатах оценки профессиональных рисков и проведения аттестации рабочих мест по условиям труда (АРМ), ложится на работодателя. Государство, в лице своих законодательных и исполнительных органов, имеет возможность так организовать проведение ГЭУТ, чтобы данная процедура, подобно независимому финансовому и техническому аудиту относительно применяемых технических/технологических решений, способов управления производством и соответствия технического состояния сложных инженерных систем и оборудования требованиям нормативных актов, предоставляла в распоряжение работодателя основания

для финансовой оптимизации деятельности по охране труда.

Реализация аудиторской функции представляется возможной через изменение состава целей проведения ГЭУТ согласно Трудовому кодексу и наделение государственных экспертов правом, а может быть, и обязанностью оказания консультативных услуг в сфере реализации превентивных мероприятий по охране труда. Государственный эксперт, проводя оценку условий труда, должен не просто констатировать наличие их отклонений от допустимого уровня, но и рекомендовать организации пути достижения безопасных условий труда на рабочем месте. Эксперт должен показать работодателю, какие финансовые потери предприятия могут быть связаны с производственным травматизмом и профессиональной заболеваемостью и раскрыть их структуру. Экспертная поддержка, оказываемая работодателю с учетом интересов работников, может стать тем важным аспектом деятельности ГЭУТ, который поднимет ее авторитет и значимость как инструмента контроля государства над состоянием условий и охраны труда. Разумеется, для решения этой задачи структуры ГЭУТ должны быть укомплектованы штатом высококвалифицированных специалистов-экспертов.

Сфера трудовых отношений по своей природе находится в процессе постоянных изменений, вызванных глобальными преобразованиями экономики и соответствующими быстрыми темпами производственных и социальных изменений. Возникновение новых технологий и новых рисков вносит неопределенность в сферу организации труда и трудовых отношений. Это требует от экспертов сосредоточения на новых направлениях работы, новых методах исследования и новых задачах. Кроме того, для отслеживания и обеспечения выполнения нормативно-правовых требований, они должны также обладать гибкостью и динамизмом, необходимыми для реализации их профилактической и консультативной роли.

Новая стратегия охраны труда должна быть основана на экономическом подходе. В связи с этим должны быть сформулированы следующие конкретные задачи, относящиеся к экономике взаимоотношений ГЭУТ и бизнеса:

— ГЭУТ выявляет механизм, связывающий охрану труда и экономику;

— ГЭУТ оказывает консультативную помощь сторонам социального партнерства по эффективной и экономичной реализации их усилий, направленных на поддержание трудоспособности и функциональных возможностей работников.



В основе планирования успешной деятельности в области охраны труда должен быть системный подход, способствующий адекватной постановке проблем охраны труда и выработке эффективной стратегии их разрешающей.

- Где мы находимся?
- К чему мы хотим прийти?
- Как нам этого достигнуть?

Исходной базой планирования могут быть статистические данные по производственному травматизму, профессиональным заболеваниям, размеру выплаченных компенсаций за тяжелую работу и работу с вредными и (или) опасными условиями труда.

По данным Роструда наблюдается рост числа пострадавших от несчастных случаев на производстве. Так, за период 2009—2010 гг. число погибших при добыче полезных ископаемых увеличилось на 37 %. Возросло число пострадавших со смертельным исходом в таких видах экономической деятельности, как животноводство, обрабатывающие производства, целлюлозно-бумажное производство, издательская и полиграфическая деятельность (более чем в 2 раза), производство резиновых и пластмассовых изделий (почти в 2 раза), производство автомобилей, прицепов и полуприцепов (в 2 раза) [2].

В общей структуре причин несчастных случаев на производстве с тяжелыми последствиями свыше 72 % случаев вызваны типичными управляемыми причинами организационного характера — нарушением требований безопасности, неудовлетворительной организацией производства работ, а также недостатками в обучении работников приемам безопасного труда, нарушениями трудовой дисциплины и др. [2].

Одним из важнейших направлений изменения такой тяжелой ситуации в области охраны труда в сторону улучшения является совершенствование механизма взаимодействия государства и бизнеса. Назрел переход от системы с главенствующей ролью государства, не соответствующей современным экономическим требованиям, к системе экономического партнерства в рамках трехстороннего подхода МОТ.

Прямые и скрытые затраты, связанные с происшествиями, происходят из-за финансовых потерь от страховых взносов, повреждения оборудования, отвлечения руководителей и персонала на расследование происшествий и дополнительное обучение, от штрафов и негативного воздействия на имидж организации.

Проводя экспертизу, эксперты ГЭУТ могут получить информацию о финансовых потерях в результате заболеваемости, травматизма и иных ста-

тистических данных непосредственно на предприятии и проследить связь между ними и состоянием условий труда. Исходя из этих данных, эксперты имеют возможность предлагать превентивные мероприятия, определять задачи и средства их выполнения.

Экономическая эффективность мероприятий по охране труда проявится в большей степени, если привлекать ГЭУТ на этапе проектирования строительства, реконструкции, технического перевооружения производственных объектов, производства и внедрения новой техники, внедрения новых технологий, чтобы проанализировать планы предстоящих мероприятий и внести в них необходимые коррективы. В противном случае, внесение изменений в организацию предупредительных и защитных мер может встать в противоречие с фактически установленным оборудованием и ограничить эти изменения или сделать их менее выгодными с экономической точки зрения.

Выбор направления капиталовложений в улучшение производственной среды всегда подразумевает наличие альтернативных вариантов. Неудачное планирование такого рода затрат приводит, как правило, к бесполезным издержкам. В этой ситуации для предприятия очень важна поддержка со стороны эксперта и его рекомендации по применению экономичных и эффективных мер.

Мероприятия по улучшению производственной среды, исходя из важности и экономических затрат на их реализацию, условно можно разделить на четыре категории:

**малозатратные и важные:** не требуют больших материальных вложений и дают значительный эффект; их исполнение имеет приоритет;

**затратные и важные:** требуют для своей реализации существенных материальных затрат, но их реализация очень важна, например, для удовлетворения нормативных требований; их следует выполнять, но при этом оптимизировать по затратам;

**малозатратные и неважные:** мероприятия дают незначительный эффект, но для повышения общего уровня безопасности их следует реализовать;

**высокозатратные и неважные:** реализацию такого рода мероприятий следует отложить на перспективу, но постоянно иметь в виду и при первой возможности исключить саму необходимость их проведения.

Для того чтобы выстроить иерархию приоритетов реализации превентивных и защитных мер, эксперты должны обладать специальными знаниями в различных областях, таких как система законодательного и нормативно-правового обеспечения охраны труда, экономика и техника. Все эти

области знаний подвержены постоянным изменениям и появлению новых разделов и направлений. Для оказания эффективных консультационных услуг предприятиям эксперты должны проходить обучение и поддерживать свои познания на достаточно высоком уровне.

Консультируя предприятия и стремясь к минимизации расходов на контроль состояния условий труда, эксперты могут использовать в своей работе известные инструменты оценки влияния производственной среды и в первую очередь условий труда на экономику предприятия [4]. Разработаны методы оценки экономических потерь от несчастных случаев, невыходов на работу, текучести кадров, досрочных уходов на пенсию в связи с инвалидностью и экономического эффекта, полученного предприятием в результате превентивных мероприятий по охране труда. Не все мероприятия по улучшению условий труда, которые эксперт может рекомендовать к реализации на предприятии, оказываются экономически выгодными. Выгодны, как правило, те мероприятия, которые не требуют значительных материальных затрат. В основном они предполагают соблюдение требований к организации производства в соответствии с действующими правилами по охране труда, сочетание ответственности работников за собственное здоровье и безопасность и их участия в управлении предприятием, учет принципов эргономики при планировании закупок нового оборудования, активную работу по профилактике травматизма. К экономически невыгодным для предприятия часто относят мероприятия, связанные с воплощением технических решений, основанных на требованиях законов и стандартов, а также комплексные мероприятия для повышения безопасности оборудования, химической безопасности, снижению запыленности и уровня шума, касающиеся всех работающих.

Выдача рекомендаций не входит в обязанности государственного эксперта по охране труда, и они не отражаются в заключении по результатам экспертизы. Придание ГЭУТ аудиторско-консультативной функции позволит повысить ее социальную значимость и авторитетность наряду с повышением эффективности контроля со стороны государства за качеством проводимой работы. Результаты проведенной экспертизы должны стать исходными данными для планирования и осуществления превентивных мероприятий по охране

труда. Чтобы заинтересовать работодателя, государственный эксперт, ведя с ним диалог, должен проявить свои знания производства и экономики и предложить адекватные превентивные меры. В некоторых случаях эти меры могут быть элементом определенного стандартного набора, в более сложной ситуации они могут основываться на личном опыте и творческих способностях эксперта. Важно, чтобы эксперт использовал действенные и полезные для предприятия средства.

#### Список литературы

1. **Доклад** Министерства здравоохранения и социального развития РФ "О реализации государственной политики в области охраны труда в Российской Федерации в 2008 году". — М., 2009. — 59 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <http://www.armot-irk.ru/doc/doclad.pdf> (13.02.12).
2. **Жарова Н. В.** Пути решения проблем // Охрана труда и социальное страхование. — 2001. — № 3. — С. 3—13.
3. **Корж В. А.** Концепция формирования и нормативно-правового обеспечения системы оценки и управления профессиональными рисками в Российской Федерации / Материалы IV Международной конференции "Национальная стратегия снижения профессиональных рисков и создания безопасных условий труда на рабочих местах. 8—10 декабря 2009 г. — М., 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <http://www.gmpr.ru/dynamic.php?dynamic=1242&view=print> (15.02.12).
4. **Модель** ТУТА Инструмент оценки стоимости охраны производственной среды на предприятии / Министерство социального обеспечения и здравоохранения Финляндии. — Тампере, 2000. — 40 с.
5. **Охрана** труда и бизнес. Международная организация труда, 2007. — 132 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <http://www.kalinkom.ru/publikacii-mot/publikacii-mot/ekonomika-i-oxrana-truda/index.html> (14.02.12).
6. **Сафонов А. Л.** Управление рисками и профилактика в сфере охраны труда в новых условиях / Материалы Всероссийской конференции, посвященной Всемирному дню охраны труда. 28 апреля 2010 г. — М., 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа URL: <http://www.minzdravsovc.ru/labour/safety/15> (15.02.12).
7. **Состояние** условий и охраны труда в субъектах Российской Федерации, различных видах экономической деятельности в 2009 году и меры по их улучшению / Научно-аналитические материалы ФГУ "ВНИИ охраны и экономики труда" Минздравсоцразвития России / Под общей редакцией Н. П. Пашина. — М., 2010. — 90 с.
8. **Трудовой кодекс** Российской Федерации (с изменениями). [Электронный ресурс] — ГАРАНТ Информационно-правовой портал (19.09.2011).
9. **Федеральный закон** от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний" (с изменениями). Принят Государственной Думой 2 июля 1998 г., одобрен Советом Федерации 9 июля 1998 г. [Электронный ресурс] — ГАРАНТ Информационно-правовой портал (19.01.2011).



УДК 613.6.

**Н. А. Миненко**<sup>1</sup>, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., **В. А. Попов**<sup>1</sup>, д-р мед. наук, проф., ст. науч. сотр., **П. Б. Панов**<sup>2</sup>, д-р мед. наук, консультант,

**О. О. Владимирова**<sup>3</sup>, канд. биол. наук, науч. сотр., **Н. А. Щукина**<sup>1</sup>, науч. сотр.

<sup>1</sup> НИЦ Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург

<sup>2</sup> Отделение геополитики и безопасности Северо-западного отделения РАЕН, г. Санкт-Петербург

<sup>3</sup> НИИЦ (МБЗ) НИИИ (ВМ) Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова, г. Санкт-Петербург

E-mail: natalya\_minenko@mail.ru

## Применение медицинских средств защиты кожи для снижения тяжести химических ожогов

Представлены результаты исследований экспериментального препарата — мази, содержащей вещество с инфракрасным спектром поглощения (хондроитинсульфат), превентивно наносимого на поверхность кожи животных при действии агрессивной жидкости (30 % едкого натра) на кожу через пакет защитных материалов. Приведены данные зависимости тяжести химических ожогов от состава экспериментальных препаратов. Показано, что профилактический эффект — снижение тяжести глубоких ожогов при нанесении на кожу 30 %-ного едкого натра через пакет материалов — обусловлен наличием в экспериментальном препарате активного компонента с инфракрасным спектром поглощения — хондроитинсульфата. Даны зависимости защитного противоожогового эффекта от количества этого компонента в составе экспериментального препарата (дозозависимый эффект).

Показано, что профилактическое применение экспериментального препарата ускоряет регенеративные процессы в ожоговой ране. Обсуждается предполагаемый механизм возникновения химических ожоговых поражений кожи и возможность применения подобных препаратов для профилактики ожогов при контакте кожи с агрессивными жидкостями.

**Ключевые слова:** хондроитинсульфат, ожог, едкий натр, кожный покров, профилактика, мазь

**Minenko N. A., Popov V. A., Panov P. B., Vladimirova O. O., Chukina N. A. An Application Medical Meanses of the Skin Defence for the Lowering Chemical Burns Degree**

The results experimental researches of application the ointment containing substance with an infra-red spectrum of absorption — hondroitinisulfat, preventive inflicted on a surface of a skin animals by acting 30 % caustic soda on a skin through a package of the protective materials, are presented. Dependence of the degree chemical burn defeats of a structure the experimental substances is studied. It is stated that the prophylactic

unburn effect — levelling deep burns when infliction on a skin 30 % caustic soda through a package of the protective materials — is caused by the presence of substance with an infra-red spectrum of absorption — the hondroitinisulfat. The connection of unburn protective effect and amount of active component — the hondroitinisulfat in the experimental substance (dozodepended effect) is found. Prophylactic application of experimental substance speeds up the regenerative processes in the burn wound. Hypothesis of the mechanism rise of the skin chemical burns and a possibility of application the similar preparations for prophylactic of the burns with contact between the skin and aggressive liquids are adduced.

**Keywords:** hondroitinisulfat, burn, caustic soda, skin cover, prophylactic, ointment

**Введение.** В настоящее время известен способ профилактики ожоговых поражений кожного покрова с использованием защитной одежды [1]. Однако этот способ не гарантирует безопасность при контакте кожи с агрессивными жидкостями высокой концентрации (свыше 20...25 %) [2].

Кожный покров в производственных условиях подвергается обычно комбинированному воздействию физических, химических и механических факторов [2]. Средства индивидуальной профилактики (спецодежда, фартуки, перчатки) не всегда могут ограничить контакт поверхности кожи с вредно действующими на нее веществами, поскольку не всегда можно ими пользоваться, например, по технологическим причинам. В этих случаях применение защитных мазей (паст) является единственным средством защиты кожи [2, 3].

Известны защитно-профилактические мази, например, гидрофобные препараты (паста ИЭР-2, крем силиконовый "Защитный" или крем силиконовый ПМС-30). Недостатком этих мазей является их низкая эффективность при воздействии агрессивных жидкостей (кислот, щелочей). Они эффек-

тивны только при воздействии кислот и щелочей, концентрация которых не выше 20 % [2, 3].

Возможно, чтобы повысить эффективность профилактики возникновения химических ожогов с помощью мазей, необходимо в составе тканей кожного покрова увеличить количество молекулярных структур, поглощающих энергию, которая освобождается в результате реакций, протекающих в тканях с участием агрессивных жидкостей. В этом случае часть энергии, которая могла бы привести к деструкции тканей, будет поглощена этими структурами. Предполагаемый состав медицинских средств защиты кожи должен включать определенные структуры, физико-химические свойства которых сходны со свойствами структур тканей кожного покрова. Таким условиям в наибольшей степени отвечают препараты, содержащие сульфоксидные связи, например, высокомолекулярный полисахарид хондроитинсульфат. Однако неизвестно, при каком количестве активного компонента хондроитинсульфата в составе экспериментального препарата, предварительно нанесенного на кожу, начнет проявляться его защитный противоожоговый эффект (какова зависимость эффекта от количества сульфоксидных связей) и не вызовет ли применение препарата аллергических реакций. Решению этих задач и посвящена настоящая работа.

**Цель работы.** Исследование дозозависимого эффекта при профилактическом применении экспериментального препарата, содержащего сульфоксидные связи, для снижения тяжести химических ожогов в системе: "агрессивная жидкость → пакет защитных материалов → экспериментальный препарат → кожа животного".

**Материалы и методы.** Исследования выполнены на белых нелинейных крысах-самцах массой 180...200 г, которых содержали в условиях вивария на обычном пищевом рационе. Животных выводили из опыта посредством эфирного наркоза.

Морфологическое строение кожи белых крыс вполне сравнимо со строением и свойствами кожи человека [4], что дает возможность воспроизведения у крыс ожоговых поражений, близких к тем, которые могут быть у человека.

В качестве защиты применялся двухслойный пакет материалов из хлопчатобумажной ткани арт. 222, плотно прилегающий к коже животного (для стандартности проведения эксперимента), на поверхность которой предварительно был нанесен экспериментальный препарат.

Для приготовления экспериментального препарата с заданными свойствами использовали "Хондроитин-акос" (производитель: ОАО "Синтез", Россия) как наиболее подходящий по составу фармпрепарат. Этот препарат (хондроитин-4-сульфат) содержит в своем составе дисахаридные единицы с компонентами: D-глюкуроновая кислота, N-ацетил-D-галактозамин-4-сульфат [5]. Актив-

ным компонентом препарата являлся хондроитинсульфат, а мазевой основой — ланолин, как вещество, способствующее постепенному проникновению молекул хондроитинсульфата в более глубокие слои кожного покрова (но не за его пределы), и вазелин, удерживающий мазь на поверхности кожи [5]. Предложенная рецептура не вызывала раздражения кожи у животных и при необходимости легко удалялась с поверхности кожи ватным тампоном.

Нанесение ожогов осуществлялось по специально разработанной методике, которая обеспечивала воспроизводимость степени тяжести травмы [6]. Площадь поверхности кожи животного, подвергавшейся воздействию 30 %-ного едкого натра, составляла  $10 \pm 2$  %. Количество препарата, наносимого на кожу, составляло 2 г; концентрация хондроитинсульфата в его составе менялась в диапазоне от 15 до 40 %, как и при исследовании профилактического применения этого препарата для снижения тяжести термических ожогов [6]. Время нахождения его на коже до наложения защитного пакета составляло 7 мин, а суммарное время нахождения препарата на коже, включая и время нанесения агрессивного вещества, достигало 13 мин.

Исследования были выполнены в двух вариантах воспроизведения поражений: а) без применения превентивно наносимых веществ (контрольная группа); б) при превентивном применении различных мазей (опытная группа). Использовались четыре вида мазей: мазь № 1, содержащая ланолин и вазелин в соотношении 1:1; мазь № 2, в состав которой входит хондроитинсульфат, ланолин и вазелин в соотношении 15:42,5:42,5; мазь № 3, в состав которой входит хондроитинсульфат, ланолин и вазелин в соотношении 30:35:35; мазь № 4, в состав которой входит хондроитинсульфат, ланолин и вазелин в соотношении 40:30:30 весовых единиц (в.е.) соответственно.

Для оценки глубины ожога и динамики развития местного ожогового процесса использовали визуальный контроль, гистологические исследования и учитывали длительность полного заживления ожоговой раны. Забор гистологического материала осуществлялся ежедневно с 5-х по 27-е сутки опыта.

Оценка степени тяжести ожога проводилась по двум классификациям, поскольку в классификации химических ожогов, в отличие от классификации термических поражений, отсутствует степень ожога IIIБ.

Статистическая обработка полученных результатов проводилась методами линейной статистики при использовании пакета прикладных программ "Statgraphics", непараметрического критерия Вилкоксона, рангового T-критерия Манна-Уитни. Наполняемость выборочных групп составляла шесть особей. Различия полученных результатов определялись при 95 %-ном уровне вероятности.



**Результаты и их обсуждение.** В таблице представлены результаты, свидетельствующие об эффективности профилактического применения экспериментальных мазей при воздействии 30 %-ного раствора едкого натра.

Воздействие 30 %-ного раствора едкого натра на кожу через хлопчатобумажную ткань без применения превентивно наносимых веществ (мазей) на поверхность кожного покрова приводит к развитию ожога III степени (по классификации химических ожогов) или ШБ—IV степени (по классификации термических поражений) (см. таблицу). При этом время полного заживления составляет 33...35 суток (контрольная группа).

При использовании мази, содержащей только связующие вещества (ланолин и вазелин), наблюдалось снижение тяжести ожога в пределах III степени (по классификации химических ожогов) и ША степени (по классификации термических поражений), при этом наблюдалось уменьшение срока полного заживления ожога по сравнению с контрольной группой до 22...23 суток (см. таблицу).

Воздействие 30 %-ного раствора едкого натра на кожу через хлопчатобумажную ткань при профилактическом применении мази, содержащей активный компонент — хондроитинсульфат в 15 %-ной концентрации (опытная группа), также приводит к снижению тяжести ожога в пределах III степени (по классификации химических ожогов) и уменьшению срока полного заживления ожога по сравнению с контрольной группой, при этом время полного заживления составляет 21... 23 суток (см. таблицу).

При использовании мази, содержащей хондроитинсульфат в 30 %- или 40 %-ной концентрации (опытная группа), наблюдалось снижение тяжести ожога по сравнению с контрольной группой до II степени (как по классификации химических ожогов, так и по классификации термических поражений) и значительное уменьшение сроков полного заживления ожога до 13...15 суток (см. таблицу).

**Влияние концентрации активного компонента в составе экспериментального препарата на степень тяжести и сроки заживления ожоговых ран**

Группа	Концентрация активного компонента, %	Время заживления, сут.			Степень тяжести ожога по классификации поражений		
		min	max	медиана	химических	термических	
Контрольная Опытная	Мазь № 1	0	33	36	34,0	III	ШБ—IV
	Мазь № 2	0	21	23	22,5	III	ША
	Мазь № 3	15	21	23	22,0	III	ША
	Мазь № 4	30	14	16	15,0	II	II
	Мазь № 5	40	13	15	14,5	II	II

Применение различных концентраций активного компонента — хондроитинсульфата принципиально влияет на время полного заживления ожоговых ран, полученных при воздействии едкого натра: время заживления во всех опытных группах было практически достоверно ( $p \leq 0,05$ ) меньше аналогичного показателя в контрольной группе.

Результаты исследования показали, что время заживления ожоговых ран в опытных группах изменялось неоднозначно по мере возрастания концентрации активного компонента.

Исследование статистических показателей не выявило статистически значимого различия в сроках полного заживления ожоговых ран при концентрации активного компонента — хондроитинсульфата 0 % по сравнению с 15 %, а также 30 % по сравнению с 40 %; достоверно быстрее происходило заживление ран при концентрациях хондроитинсульфата 30, 40 % по сравнению с концентрацией 0 %, а также — 30, 40 % по сравнению с 15 %.

Как показали гистологические исследования, наиболее существенные изменения определялись на образцах кожи животных из контрольной группы. На 11-е сутки после воздействия едкого натра над поверхностью раны наблюдали наличие толстого сухого струпа, в составе которого можно было определить все слои дермы, включая жировую клетчатку. Такая степень поражения соответствует ШБ—IV степени по номенклатуре термических поражений.

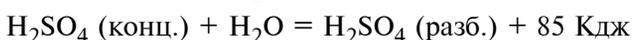
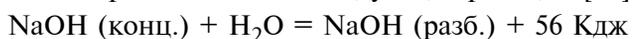
Превентивное применение мази, содержащей активный компонент — хондроитинсульфат в концентрации 15 %, привело к снижению тяжести ожога по сравнению с контролем (см. таблицу). Как показали гистологические исследования, на 11-е сутки после воздействия в зоне поражения наблюдалось выраженное утолщение эпидермиса с частичным отторжением покрывающего его струпа, под которым хорошо прослеживались образованные de novo роговые чешуйки. Такой ожог относится к III степени (по номенклатуре химических ожогов) и ША степени (по классификации термических поражений).

Превентивное применение мази, содержащей активный компонент в концентрации 30...40 %, существенно снизило тяжесть поражения по сравнению с контрольной группой (см. таблицу). Как показали морфологические исследования, на 11-е сутки после воздействия над поверхностью кожи в зоне поражения находились тонкие чешуйки струпа, слабо контактирующие с хорошо визуализируемыми роговыми чешуйками эпидермиса. Сосочковый слой дермы выглядел заметно сглаженным. В нем прослеживалась умеренная гиперемия сосудов и незначительная лейкоцитарная инфильтрация. Такой ожог возможно отнести к II степени (как по классификации химических ожогов, так и по номенклатуре термических поражений).

Предпосылкой к исследованию послужил тот факт, что ковалентные сульфоксидные связи S—O способны к поглощению определенной полосы спектра частот инфракрасного (теплового) излучения [7]. Также есть факты, доказывающие поглощение энергии инфракрасного излучения в роговом слое эпидермиса [8].

Известно, что в структуре и функции кожи основную роль играют кислые мукополисахариды (МПС), в том числе хондроитинсульфат, дерматансульфат, кератосульфат, гепарин, молекулы которых содержат в большом количестве ковалентные связи S—O [9]. МПС находятся во всех слоях эпидермиса и в дерме кожного покрова [9]. Приведенные факты позволяют предположить участие кислых мукополисахаридов, а значит и ковалентных связей S—O, в поглощении тепловой энергии, выделяющейся при прохождении агрессивной жидкости вглубь кожного покрова, что и приводит, отчасти, к возникновению ожогового поражения.

В настоящее время механизм поражения клеток и тканей агрессивными веществами детально не изучен [10]. Химические вещества, например, наиболее используемые в промышленности, хорошо растворимые в воде серная кислота, едкий натр и едкий калий, продолжают разрушать ткани до тех пор, пока они не инактивируются в тканях путем нейтрализации и разбавления [10]. В тканях кожного покрова возможны следующие реакции [11]:



Учитывая, что растворение концентрированных серной кислоты и едкого натра в глубоких слоях эпидермиса и дермы сопровождается значительным выделением теплоты [11], а также, учитывая наличие в составе хондроитинсульфата большого количества ковалентных S—O связей, поглощающих тепловую энергию, можно предположить, что противоожоговый эффект экспериментального препарата, отчасти, обусловлен квантово-механическими свойствами этих связей. Ланолин и вазелин, входящие в состав экспериментального препарата в качестве мазевой основы, не содержат структур, интенсивно поглощающих тепловую энергию; инертны по отношению к кислотам и щелочам [5].

Таким образом, чтобы предотвратить возникновение ожогового поражения или снизить его тяжесть при действии агрессивной жидкости (хорошо растворимой в воде), необходимо в составе кожного покрова увеличить количество структур, поглощающих ее энергию. Результаты гистологических исследований образцов кожи, а также спектральные характеристики используемых веществ [7] позволяют предположить, что эту функцию выполняет экспериментальный препарат, содержащий хондроитинсульфат. Проникая в кожный покров, молекулы препарата,

содержащие в большом количестве сульфоксидные связи, поглощают энергию, которая освобождается в результате биохимических реакций, идущих с участием агрессивной жидкости в глубоких структурах кожного покрова, защищая их от разрушения.

Проведение донорской носки образца хлопчатобумажной ткани с предварительно нанесенным на поверхность кожи экспериментальным препаратом (ровным слоем в количестве не менее 0,1 г/см<sup>2</sup>) не оказало токсического действия и не привело к аллергическим реакциям [12].

Полученные результаты подтверждают предложенную гипотезу, согласно которой предполагаемый состав превентивных наносимых препаратов с заданными свойствами (или медицинских средств защиты кожи) должен включать определенные структуры, физико-химические свойства которых идентичны свойствам структур кожного покрова.

**Заключение.** Установлена прямая зависимость защитного противоожогового эффекта от количества активного компонента — хондроитинсульфата в составе экспериментального препарата (дозозависимый эффект).

Профилактический противоожоговый эффект достигается способом, включающим использование пакета материалов (защитной одежды) после нанесения на поверхность кожи мази данного состава ровным слоем в количестве не менее 0,1 г/см<sup>2</sup> [12].

Полученные результаты позволяют рекомендовать предложенную рецептуру экспериментального препарата, содержащего хондроитинсульфат, для профилактического применения в качестве медицинского средства защиты кожи от химических ожогов.

#### Список литературы

1. **Вороненко Ю. В., Повстаной Н. Е., Тонковид О. Б.** Методические рекомендации. Факторы риска и профилактика ожогов в быту и на производстве. — Киев, 1990. — С. 22—25.
2. **Брайнина М. Л., Климова Л. П.** Средства индивидуальной защиты рук. — М., 1990. — С. 104.
3. **Средства индивидуальной защиты.** Каталог. — М.: Информатрех, 2000. — С. 138.
4. **Кочетыгов Н. И.** Ожоговая болезнь. — Л.: Медицина, 1973. — 245 с.
5. **Справочник Видаль** Лекарственные препараты в России: справочник. — М.: АстраФармСервис, 2008. — 1696 с.
6. **Миненко Н. А., Пелешок С. А., Панов П. Б.** Способ восстановления химического ожога при воздействии агрессивных жидкостей на кожу через пакет материалов // Инновационная деятельность в Вооруженных Силах РФ: тезисы докл. науч.-практ. конф. — СПб., 2006. — С. 238.
7. **Накамото К.** ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. — М.: Мир, 1991. — 278 с.
8. **Галанин Н. Ф.** Лучистая энергия и ее гигиеническое значение. — Л.: Медицина, 1977. — 256 с.
9. **Чернух А. М., Фролов Е. П.** Кожа (строение, функция, общая патология и терапия). — М.: Медицина, 1982. — С. 56—59.
10. **Парамонов Б. А.** Ожоги. — СПб.: СпецЛит, 2000. — С. 7—112.
11. **Некрасов Б. В.** Основы общей химии. — М.: Химия, 1 т., 1973. — С. 316—317.
12. **Пат. № 2429819** Российская Федерация. Мазь для профилактики химических ожогов кожного покрова и способ профилактики химических ожогов кожного покрова с использованием мази / Миненко Н. А., Панов П. Б., Мамедов Р. К., Золотарев В. М., Владимиров О. О., Ивантеева Е. П.; зарегистрир. 27.09.11.

УДК 34.028.5, 629.364.1

**В. А. Коровин**, д-р техн. наук, председатель, НП "Безопасность ПТО", г. Челябинск  
E-mail: v.korovin@rez.ru

## Как реформировать законодательство о безопасности в промышленности\*

*В статье рассмотрены пути реализации системной реформы законодательства о безопасности в промышленности. Показано, что путем объединения государственного регулирования безопасности продукции и производственных процессов в единый регулятивный комплекс можно добиться одновременного повышения безопасности в промышленности и снижения административных барьеров для бизнеса.*

**Ключевые слова:** безопасность в промышленности, государственное регулирование, производственные процессы, законодательство, реформа

**Korovin V. A. How to Reform Legislation about the Safety in Industry**

*In the article considered the ways of implementation systemic of reform legislation about safety in industry. In presented article speaks, by combining the state regulation of safety production and production processes in the single regulating complex one can achieve increase the safety in industry and lowering administrative barriers for the business.*

**Keywords:** safety of the industry, state regulation, production processes, legislation, reform

В "Концепции совершенствования государственной политики в области обеспечения промышленной безопасности с учетом необходимости стимулирования инновационной деятельности предприятий на период до 2020 года", предложенной Ростехнадзором и одобренной 28.07.2011 Президиумом Правительства РФ, достаточно полно и, по мнению автора, корректно сформулированы задачи государственного регулирования в этой сфере.

Но до настоящего времени однозначно не определены даже подходы к их решению.

Причина этого носит фундаментальный характер и обусловлена попытками реформаторов действовать в рамках Федерального закона № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производ-

ственных объектов" (далее — Закон № 116-ФЗ). Он является тем монстром, о который разбиваются любые реформы законодательства о безопасности в промышленности, и не позволяет устранить системные пороки существующей нормативной базы:

а) излишне жесткое ограничение предпринимательской деятельности по причине множества явно избыточных безальтернативных обязательных норм, в том числе устаревших;

б) неэффективные и затратные для бизнеса и государства процедуры контроля (надзора) и допуска на рынок;

в) ориентация на ведомственное нормотворчество, порождающая конфликт интересов и препятствующая проведению реформ.

Действительно, построение любой системы регулирования (управления), хоть в технических, хоть в социальных системах, должно начинаться с однозначного определения цели управления, которая должна подразумевать количественную измеримость финального результата. Если цель не определена, то нечего достигать и неясно, что делать. Как указывают д-р техн. наук В. В. Солодовников и другие ученые, "необходимо подчеркнуть важность и определяющую роль четкой формулировки цели управления. Нет цели — нет и управления!" [1]. Сказанное про технические системы в полной мере относится и к государственному регулированию в рамках указанной Концепции.

Конкретизация цели государственного регулирования нужна и для оценки регулирующего воздействия принимаемого нормативного акта — сопоставления ожидаемого результата от его принятия с реальными затратами бизнеса и общества на реализацию его требований. Такая оценка принципиально необходима, поскольку перекося сторону безопасности, нарушение разумного баланса интересов бизнеса и общества, будет тормозить развитие экономики страны, что впоследствии негативно скажется на той же безопасности.

На первый взгляд, целью государственного регулирования в данном случае является обеспечение промышленной безопасности. Однако промышленная безопасность в Законе № 116-ФЗ опре-

\* Публикуется в порядке обсуждения.

делена как "состояние защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах и последствий указанных аварий". При этом понятия "состояние защищенности" и "жизненно важные интересы личности и общества" неконкретны и не имеют законодательного определения.

"Состояние защищенности" как неизмеримая категория может толковаться произвольно. В том числе как удовлетворительное в любых условиях, так и в смысле абсолютной безопасности, которая недостижима и противоречит пониманию безопасности как отсутствию недопустимого риска (статья 2 Закона № 184-ФЗ "О техническом регулировании").

Еще сложнее понять, что подразумевается под жизненно важными интересами личности и общества. Безопасность и условия труда наверняка относятся к жизненно важным интересам работника предприятия. Но и получение достойной зарплаты за свою работу явно относится к его жизненно важным интересам. Предотвращение банкротства предприятия, пожалуй, тоже нельзя исключить из числа жизненно важных интересов его работников (они потеряют свою работу). Если же техногенная катастрофа на градообразующем предприятии приведет к длительной остановке производства и всплеску безработицы, то это, даже при отсутствии травм и человеческих жертв, явно приведет к ущемлению жизненно важных интересов большинства жителей моногорода. Сохранение личностных и аксиологических идеалов как высших норм нравственной личности и нравственного представления о благом и должном также относится к жизненно важным интересам личности.

Разработка корректных нормативно-правовых актов, предусматривающих достижение неопределенной и неизмеримой категории, невозможна по определению.

Основной целью нормативного регулирования в законодательстве о безопасности в промышленности разумно установить достижение того состояния, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью работников предприятия и третьих лиц. Применительно к реализации функций Ростехнадзора речь идет в первую очередь об организационно-технических аспектах безопасности. Но нельзя забывать и про социально-экономические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и прочие аспекты.

Искусственный разрыв единого нормативного поля, противоестественный отрыв норм по безопасной эксплуатации машин и оборудования от норм в сфере охраны труда и техники безопасно-

сти и ставка на ведомственное нормотворчество в действующем законодательстве о безопасности в промышленности привели к многочисленным конфликтам правовых норм и к неоптимальности разграничения полномочий Ростехнадзора и других контрольных (надзорных) органов — Роструда, Роспотребнадзора и т. п. Нелогично, когда надзор за безопасностью работников, например, на кузнечно-прессовом оборудовании находится в компетенции Роструда, а безопасность работы менее травмоопасных мостовых кранов в этом же цехе контролирует Ростехнадзор. Сохранение этой практики не позволяет устранить сложившийся регулятивный хаос, препятствует снижению уровня коррупции и устранению избыточных административных барьеров для бизнеса.

В законодательстве о безопасности в промышленности, кроме предотвращения недопустимого риска, связанного с причинением вреда жизни или здоровью людей, может и должно быть предусмотрено достижение необходимых уровней экологической и социальной безопасности, сохранение государственного имущества, имущества физических или юридических лиц и т. п. Но эти цели государственного регулирования производственной деятельности также должны быть конкретны и измеримы. О них целесообразно говорить лишь в отношении крайне ограниченного количества критически важных, стратегических и особо опасных объектов инфраструктуры РФ (атомные электростанции, гидроэлектростанции и т. п.), последствия аварий на которых выходят за пределы промышленной площадки и несут угрозу экономической, социальной и экологической безопасности региона или Российской Федерации в целом. На остальных, особенно негосударственных предприятиях, повреждение оборудования, материальный, моральный, социальный, экологический и иной ущерб от аварий, — это вопросы и проблемы главным образом собственников и руководителей этих предприятий, но не Ростехнадзора, не государства. Для их разрешения достаточно механизмов гражданской ответственности по действующим договорам страхования ответственности, судебной и профсоюзной защиты и т. п.

Другим вопросом, без решения которого невозможно построить любую эффективно действующую систему регулирования, в том числе государственного регулирования в промышленности, является корректное определение объектов регулирования.

Закон № 116-ФЗ оперирует с опасными производственными объектами, за которые приняты предприятия или их цехи, участки, площадки. На них, в свою очередь, может располагаться множе-



ство иных производственных объектов, том числе различных технических устройств. В итоге, на одной промышленной площадке образуется "матрешечный" объект, на котором нередко подлежат регистрации и государственному регулированию десятки и сотни разнообразных объектов; на каждый из таких объектов должен быть подготовлен отдельный комплект документации, получены согласования, разрешения, оформлены отдельные страховки и т. д.

Для реализации государственного регулирования в рамках Закона № 116-ФЗ существует, в общей сложности, несколько сотен ведомственных актов Ростехнадзора, содержащих бесчисленное множество обязательных требований как к производственным процессам, так и ко многим его деталям. Их выполнение в полном объеме на практике невозможно, тем более, что часть из них взаимно противоречива и не отвечает реалиям сегодняшнего дня. И это несмотря на то что предприниматели, по оценке Андрея Козицына (Российский Союз промышленников и предпринимателей), ежегодно тратят на эти цели около 200 млрд руб., причем преимущественно не на практическое решение вопросов безопасности (модернизацию оборудования, приобретение дополнительных средств защиты и т. п.), а на выполнение формальных требований, подготовку документов, оплату экспертиз. Проще говоря, на "бумажки" [2].

С другой стороны, инспекторы Ростехнадзора реально не в состоянии вникнуть в детали производственного процесса и проверить исполнение множества этих обязательных требований и нередко ограничиваются лишь контролем наличия и правильности оформления "бумажек". Такой "точечный" контроль объекта в статическом режиме (в текущий момент времени) не позволяет достоверно определить реальный уровень его безопасности и дать прогноз этого уровня даже на недалекую перспективу. Соответственно, невозможно установить и адекватные меры наказания для нарушителей требований безопасности.

Контроль множества мелких деталей производственного процесса приводит также к прямому вмешательству в производственную деятельность предприятий. Это было допустимо во времена СССР. Но сегодня, когда большинство предприятий стали частными, такой подход противоречит нормам гражданского законодательства.

Таким образом, Закон № 116-ФЗ является непреодолимым препятствием на пути реализации эффективного государственного контроля и регулирования в сфере обеспечения безопасности в промышленности.

Современный подход к регулированию (менеджменту), в том числе к государственному, основан на понимании регулирования как непрерывной взаимосвязи действий и функций. Он подразумевает отношение к любой деятельности как к процессу и в мировой практике стал общепризнанным. В том числе в менеджменте качества (стандарты серии ISO 9000, ГОСТ Р ИСО 9001), экологической безопасности (ISO 14000, ГОСТ Р ИСО 14000), охраны здоровья и безопасности труда (OHSAS 18000, ГОСТ 12.0.230—2007).

Под объектом государственного регулирования в этом случае логично понимать опасный производственный процесс в его материальном воплощении — производственную площадку, поскольку в производственном процессе в той или иной степени задействовано все предприятие, с оформлением единственного разрешительного документа — сертификата или декларации соответствия производственного процесса требованиям безопасности. Технические устройства, применяемые на таком объекте, в обоснованных случаях должны иметь свои сертификаты или декларации соответствия. Никаких дополнительных обязательных "бумаг" при этом быть не должно.

Существующие экспертные организации в сфере промышленной безопасности при этом могут быть преобразованы в органы по сертификации. При таком подходе автоматически решается вопрос об ответственности экспертов, поскольку ответственность за необоснованную выдачу сертификата соответствия предусмотрена частью 2 статьи 19.19 "Кодекса РФ об административных правонарушениях" и частью 1 статьи 238 "Уголовного кодекса РФ".

Государственному инспектору в этом случае будет достаточно контролировать уровень риска (безопасности) при эксплуатации объекта, а не соблюдение множества обязательных требований (выше мы говорили, что цель государственного регулирования должна быть определена и измерима).

Владелец объекта не меньше, чем органы власти, заинтересован в отсутствии аварий и, тем более, катастроф. С этой точки зрения задачи владельца объекта и органа государственного контроля (надзора) совпадают и они должны решаться совместно. Сложившаяся практика, когда задачей государственного инспектора является выявление нарушений и наложение штрафов, затратна для бизнеса и государства, коррупциогенна и неэффективна с точки зрения обеспечения безопасности. Крупным шагом в реализации этого прогрессивного подхода в нашей стране было принятие

27 декабря 2002 г. Федерального закона № 184-ФЗ "О техническом регулировании".

На протяжении последнего десятилетия не утихали споры между сторонниками и противниками несовместимых между собой Законов № 116-ФЗ и № 184-ФЗ. В 2007 г. противники реформ одержали важную победу — был принят Федеральный закон от 01.05.2007 № 65-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О техническом регулировании"». Из сферы разработки и принятия обязательных требований были исключены процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, не связанные с требованиями к продукции, и меры в области охраны труда. Дальнейшая деградация реформы законодательства была закреплена Федеральными законами от 21.07.2011 № 255-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон "О техническом регулировании"» и от 19.07.2011 № 248-ФЗ "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с реализацией положений Федерального закона "О техническом регулировании". Деятельность в области промышленной безопасности, безопасности технологических процессов окончательно была выведена из сферы действия Закона № 184-ФЗ, а вместо технических регламентов в этих сферах предусмотрена разработка федеральных норм и правил (ФНП). Тем самым реформа законодательства в отношении производственных процессов фактически остановлена.

Реализация разрушительной идеи выведения производственных процессов из единого регулятивного комплекса безопасности, осуществляемого согласно Закону № 184-ФЗ, заблокировала и механизмы устранения избыточных административных барьеров для бизнеса, снижения технологического отставания отечественных предприятий, повышения конкурентоспособности продукции и снижения коррупции, противоестественно разъединила технические аспекты безопасности продукции и производственных процессов.

Одновременно в эти годы происходил планомерный отход от принципа добровольного применения национальных стандартов. Например, распоряжением Правительства РФ от 21.06.2010 № 1047-р утвержден «Перечень национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений"».

Однако законодательство практически всех промышленно развитых стран содержит требова-

ния по безопасности производственных процессов, которые определены как требования безопасности работающих при производстве продукции и аналогичные требованиям российского законодательства в сфере "техники безопасности" или "охраны труда". Причем они относятся именно к сфере технического регулирования и изложены либо в Директивах (например, в Евросоюзе основная из них — 89/391/ЕЕС "Минимальные требования по обеспечению безопасности на рабочем месте") и технических регламентах, либо в иных документах, которые по своему статусу де-юре или де-факто эквивалентны техническим регламентам.

В отношении как продукции, так и процессов производства, в технические регламенты по аналогии с Директивами ЕС разумно включать только собственно нормы, а не конкретные методы их достижения, которые остаются в стандартах, применяемых на добровольной основе. Следование стандартам автоматически обеспечивает выполнение требований технических регламентов, тогда как использование нестандартных решений требует дополнительного подтверждения соответствия (испытаний, расчетов и т. д.) (принципы "Презумпции соответствия" и "Нового подхода", принятые в странах Евросоюза).

В конечном счете важен реальный уровень безопасности, а не то, каким образом он достигнут. С другой стороны, свобода в выборе путей обеспечения безопасности позволит снять избыточные административные барьеры для бизнеса без ущерба для безопасности. Ведь аварии происходят, главным образом, не из-за того, что у нас в стране мало обязательных требований по безопасности, а потому, что они не соблюдаются. Поэтому сокращение обязательных требований путем применения национальных стандартов (ГОСТ Р) на добровольной основе и перехода к контролю реального уровня безопасности на производстве приведет не к снижению, а к повышению уровня безопасности при одновременном улучшении условий для ведения бизнеса.

Организационно реформу законодательства о безопасности в промышленности можно провести двумя способами.

1. Путем вычленения и переноса в технические регламенты базовых параметров безопасности технологических процессов, содержащихся в существующей массе нормативных документов Ростехнадзора, их отделения от тех характеристик процессов, которые являются служебными, могут варьироваться и изменяться по мере совершенствования технологий и должны быть изложены в национальных стандартах.



2. Путем формирования обязательных требований по безопасности из условия их гармонизации с Директивами ЕС. При этом стандарты EN и ISO достаточно через технические комитеты (ТК) по стандартизации перевести на русский язык, зарегистрировать в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов (часть 2 статьи 16.1 Закона № 184-ФЗ) и использовать в качестве национальных стандартов.

Суммируя изложенное, для эффективной реализации одобренной Президиумом Правительства РФ "Концепции совершенствования государственной политики в области обеспечения промышленной безопасности с учетом необходимости стимулирования инновационной деятельности предприятий на период до 2020 года" необходимо осуществить перечисленные ниже мероприятия.

1. Внести в сферу применения Федерального закона № 184-ФЗ "О техническом регулировании" отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении требований к процессам производства продукции, в том числе обязательных требований, изложенных в технических регламентах и федеральных нормах и правилах, требований, применяемых на добровольной основе и изложенных в национальных стандартах, сводах правил и иных документах в сфере стандартизации, а также при оценке соответствия процессов производства продукции обязательным требованиям. Либо принять новый Федеральный закон о государственном регулировании производственных процессов, гармонизированный с законом "О техническом регулировании".

2. Упразднить Федеральный закон № 116-ФЗ "О промышленной безопасности опасных производственных объектов". Прочие федеральные законы в сфере безопасности в промышленности ("Об использовании атомной энергии", "О недрах", "О безопасности гидротехнических сооружений", "О безопасности объектов топливно-энергетического комплекса", "О газоснабжении в Российской Федерации" и т. п.) преобразовать в технические регламенты, либо в эквивалентные им федеральные нормы и правила, гармонизировав их с законом "О техническом регулировании" (его эквивалентом в части регулирования производственных процессов) и Директивами Евросоюза.

3. Отказаться от использования термина "промышленная безопасность". Целью государствен-

ного регулирования производственной деятельности установить достижение того состояния производственного процесса, при котором вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу и окружающей среде находится на приемлемом уровне. Для тех объектов, потенциальный вред от аварий на которых имеет небольшой уровень тяжести, ограничиться достижением реальной безопасности людей. Вопросы сохранения имущества и экологии рассматривать лишь в отношении небольшого числа объектов, отнесенных к особо опасным и наиболее важным для экономики регионов и страны в целом.

4. Изменить характер взаимоотношений бизнеса и Ростехнадзора, сделав упор на реализацию регулирующих функций, на установление партнерских отношений, на контроль со стороны Ростехнадзора не множества обязательных требований (мелких деталей), а уровня безопасности производственных процессов в целом с реализацией принципов и методологии современной системы административного управления безопасностью. В отношении объектов с невысоким уровнем опасности предусмотреть право предприятий на выбор альтернативных режимов регулирования — выдача разрешительных документов и государственный контроль (надзор), либо саморегулирование, страхование ответственности (с корректировкой законодательства о страховании в части усиления привязки страховых сумм и тарифов к реальному уровню опасности объектов).

5. На предприятиях, использующих опасные производственные процессы, целесообразно стимулировать внедрение единой системы управления (менеджмента) качеством и безопасностью продукции (аналогично подходам Hazard Analysis Critical Control Points), основанной на принципах количественной оценки опасных факторов, установления критических пределов для каждой точки контроля, мониторинга, разработки корректирующих и предупреждающих действий, процедур учета и документирования.

#### Список литературы

1. Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Теория автоматического управления техническими системами: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ, 1993. — 492 с.
2. Козицын А. А. Развитие законодательства о промышленной безопасности: взгляд бизнеса // [http://www.nisse.ru/business/article/article\\_1736.html?effort=3](http://www.nisse.ru/business/article/article_1736.html?effort=3).

УДК 331.4:625.31

**Ю. С. Рыбаков**, д-р техн. наук, проф., Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург,

**М. П. Дальков**, д-р геогр. наук, проф., Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России, г. Екатеринбург

E-mail: thkm@mail.ru

## Охрана водных объектов на территории железнодорожной станции

*Рассмотрены проблемы, возникающие на территории железнодорожной станции из-за неорганизованного диффузного стока. Отмечено, что такой неорганизованный сток отличается рядом особенностей, которые затрудняют контроль за источниками загрязнения, обуславливают невозможность точной оценки массы выноса загрязняющих веществ и делают неправомерным использование традиционных методов для очистки диффузных стоков; кроме того, наносит вред здоровью железнодорожников. На примере станции Екатеринбург-Сортировочный предложены мероприятия по улучшению экологического состояния ее территории. Также предложена технология очистки сточных вод до предельно допустимых значений, использующая биоинженерные системы, в основе которых лежит применение растительного биоценоза.*

**Ключевые слова:** сточные воды, неорганизованный сток, территория железнодорожной станции, водные объекты, поллютанты, технология очистки стоков, биоинженерные сооружения

**Rybakov Yu. S., Dalkov M. P. Protection of Water Objects at the Railway Station Territory**

*The article dwells upon the problems occurring at the railway station territory because of diffusive gutter. This very gutter is highly harmful for health and workability of railway workers. This process is characterized by a number of specific features making it so much difficult to control the contamination sources, impossible precise evaluation of contamination substances (pollutants) and making it non-legitimate to use traditional methods of diffusive gutters refining. The authors offer actions to improve ecological state of Ekaterinburg-Sortirovochny Station territory and measures to protect the workers health and labour. Also they present the technology of sewage water refining with the use of bioengineering facilities based on vegetable biocenosis.*

**Keywords:** sewage water, non-organized gutter, railway station territory, water objects, pollutants, gutters refining technologies, bioengineering edifices

### Введение

В последние годы, несмотря на сокращение объемов промышленного производства, все больше причиной загрязнения сточных вод служит неорганизованный, плохо управляемый рассредоточенный сток с водосборной территории, в том числе от находящихся в этой зоне населенных пунктов, сельскохозяйственных объектов, предприятий горно-металлургического комплекса, пищевой промышленности, железнодорожного транспорта и многих других отраслей [1].

Неорганизованный сток отличается рядом особенностей, которые затрудняют контроль за источниками загрязнения, обуславливают невозможность точной оценки массы выноса загрязняющих веществ и делают неправомерным использование традиционных методов для очистки диффузных стоков.

Практически по всей стране источники рассредоточенного стока доминируют в общем загрязнении водных объектов. Однако на ряде предприятий (в том числе и на железнодорожном транспорте) до сих пор бытует мнение, что их производство не наносит вреда окружающей среде, хотя это далеко не так [2, 3].

Железнодорожный транспорт занимает ведущее место в транспортной системе России как в перевозке грузов, так и в пассажирообороте. В процессе его функционирования происходит существенное загрязнение атмосферного воздуха, воды и почв. Работа железнодорожного транспорта характеризуется значительными объемами водопотребления и водоотведения. При этом в водные объекты попадают в больших количествах нефтепродукты, кислоты, щелочи, моющие вещества, антисептики, фенолы, соли тяжелых металлов и много других веществ органического и неорганического происхождения, включая удобрения и ядохимикаты. Контакт с такими стоками наносит вред здоровью и работоспособности железнодорожников [4].

Очистка таких стоков очень сложна. Расход сточных вод на предприятиях железнодорожного транспорта колеблется от 200 до 4000 м<sup>3</sup>/сутки без



учета значительных объемов стоков, которые формируются в периоды весеннего половодья и дождевых паводков и загрязнены поллютантами, свойственными данному железнодорожному объекту.

### Характеристика объекта исследований

В качестве объекта исследований была выбрана станция Екатеринбург-Сортировочный, сток с которой направляется практически без очистки в Верх-Исетское водохранилище. Это водохранилище — источник хозяйственно-питьевого, рекреационного и промышленного водопользования; расположено на западной окраине г. Екатеринбурга непосредственно вблизи жилой застройки и территории промышленных предприятий, зон санитарной охраны не имеет.

Ежедневно из Верх-Исетского водохранилища на питьевые цели забирается более 70 тыс. м<sup>3</sup> воды водопроводом Свердловского отделения железной дороги и Северной фильтровальной станцией МУП "Водоканал", в отдельные периоды водозабор из водохранилища ведется головными сооружениями водопровода МУП "Водоканал" в объеме до 150 тыс. м<sup>3</sup> в сутки, кроме того, Верх-Исетское водохранилище используется в качестве источника питьевого водоснабжения завода "Уралмаш" и новой фильтровальной станции турбомоторного завода.

Ниже перечислены источники загрязнения водохранилища.

1. Поверхностные и дренажные воды Верх-Исетского металлургического завода.

2. Территория станции Екатеринбург-Сортировочный с постоянно действующими шестью выпусками ливневых и промышленных сточных вод, наиболее загрязненный из которых выпуск № 5.

3. Территория между станциями Екатеринбург-Сортировочный и Электродепо, захлапленная бытовым мусором и нефтепродуктами.

4. Промывные сточные воды фильтровальной станции водопровода Свердловской железной дороги, поступающие по рельефу через небольшой заболоченный участок в Верх-Исетское водохранилище.

5. Промывные сточные воды после фильтров головных сооружений и западной фильтровальной станции МУП "Водоканал", поступающие в озеро Здохня, которое связано протокой с Верх-Исетским водохранилищем.

6. Поверхностные и грунтовые воды, поступающие с территории жилой застройки района станции.

7. Поверхностные и дренажные воды с части жилой застройки по улицам Крауля — Западная и свалки промходов на улицах Крауля — Красные Зори, поступающие в водохранилище через постоянно действующий выпуск по улице Торфорезов.

8. Неорганизованный поверхностный сток от предприятий и жилого сектора полуострова Большеконный.

9. Неблагоустроенный частный сектор поселка Палкино.

10. Садово-огородные хозяйства.

11. Смыв с полосы отчуждения железной дороги, проходящей в зоне санитарной охраны.

12. По бассейну реки Исеть — это сбрасываемые в озеро Исетское промышленные стоки от предприятий г. Среднеуральска, а также не имеющие канализации населенные пункты Коптяки, Мурзинка, турбазы и лагеря отдыха, коллективные сады и железнодорожные пути станции Исеть.

13. Вторичным источником загрязнения Верх-Исетского водохранилища служат массивные донные отложения, объем которых определяется на уровне 10 млн м<sup>3</sup>, загрязненные нефтепродуктами, органическими соединениями, алюминием, железом, марганцем, сурьмой, свинцом, мышьяком, медью, ртутью, ванадием, цинком, хромом, фосфором, а также патогенными микроорганизмами, спорными бактериями, яйцами гельминтов и цистами простейших.

Со сточными водами предприятий в Верх-Исетское водохранилище сбрасываются нефтепродукты, формальдегид, СПАВ, хлорорганические соединения, железо, медь, цинк, никель, алюминий, марганец, кадмий, магний, фосфор, азот и некоторые другие.

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в Верх-Исетском водохранилище (район станции "Электродепо") приведены в таблице.

В соответствии с приведенными данными фоновая загрязненность водного объекта не соответствует утвержденным ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения первой категории по показателям: железо общее, нефтепродукты, алюминий, что вызвано антропогенными нагрузками (сброс стоков от действующих промышленных предприятий города, поверхностных стоков с территории станции Екатеринбург-Сортировочный и прилегающей жилой застройки).

Большинство других химических веществ и элементов обнаруживаются в концентрациях ниже предельно допустимых для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, однако в течение 2007—2011 гг. зарегистрированы превышения ПДК по содержанию таких элементов,

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в Верх-Исетском водохранилище

Вещество	Фоновая концентрация, мг/л	ПДК в воде водохранилища, мг/л
Взвешенные вещества	57,4	Сф + 0,25
Сульфаты	61,7	100,0
Хлориды	21,2	300,0
Минерализация	195,1	1000,0
Железо общее	0,84	0,1
Нефтепродукты	0,15	0,05
Алюминий	0,4775	0,04

как ртуть — до 2,4 ПДК (0,0012 мг/дм<sup>3</sup>); кадмий — до 2 ПДК (0,002 мг/дм<sup>3</sup>); хлороформ — до 4,7 ПДК (0,28 мг/дм<sup>3</sup>), трихлорэтилен — до 2,48 ОДУ (0,149 мг/дм<sup>3</sup>), марганец — до 5,4 ПДК (0,54 мг/дм<sup>3</sup>) и др. Кроме того, в воде водохранилища обнаруживаются колифаги, яйца гельминтов (аскарид, крысиного цепня), цисты простейших (лямблии), патогенные микроорганизмы.

Причиной загрязнения грунта территории, а отсюда поверхностного и подземного стоков, служит утечка на пути и межпуте нефтепродуктов из цистерн, неисправных котлов и сливных приборов во время перевозки и отстоя, во время заправки локомотивов, с колесных пар и неплотно закрытых бунк при движении составов, при заправке бунк и т. д.

По результатам исследований выявлено существенное загрязнение грунта исследуемой территории нефтепродуктами, содержание которых фиксировалось в пределах 11,3...77,66 г/кг грунта. Пробы грунта содержали также ряд токсичных компонентов неорганического происхождения. Например, содержание свинца превысило величину ПДК в 1,6—46,9 раза, мышьяка в 35—50 раз; было отмечено превышение содержания никеля, хрома, марганца, меди, цинка, сурьмы.

Как было отмечено выше, наиболее загрязненным является выпуск № 5, концентрация нефтепродуктов в воде которого, берущего очищенные сточные воды локомотивного и вагонного депо, фильтровальной станции, поверхностный и подземный сток с части территории рассматриваемой железнодорожной станции, фиксировалась в пределах 0,03...1,94 мг/л. Доказательством загрязнения подземных вод служит факт повышения концентрации нефтепродуктов вниз по течению выпуска № 5. Исследовалось качество воды выпуска в двух точках: на выходе из-под пассажирского хода и непосредственно в месте впадения в Верх-Исетское водохранилище. Длина исследуемого участка около 200 м, разница абсолютных высот около 5 м. Все русло выпуска занято растительным сообществом, включающим виды тростника, рогоза, манника, осоки, ивы и др.

### **Мероприятия по улучшению экологического состояния территории железнодорожной станции**

В первую очередь необходимо исключить попадание загрязняющих веществ в поверхностный сток при осуществлении технологических процессов станции [5]. Для этого нужно разработать и реализовать перечисленные ниже мероприятия.

1. Исключить сброс воды с фильтровальной станции через территорию железнодорожной станции либо организовать сброс в глухих трубах. Для этих целей планируется перевести фильтровальную станцию на полный водооборот, что воз-

можно только при переводе технологического процесса на обеззараживание с помощью озона.

2. На участке зафиксированного фронта продвижения загрязненных подземных вод в районе одной из наблюдательных скважин для перехвата пленки плавающих и эмульгированных нефтепродуктов с поверхности подземного грунтового потока создать горизонтальный дренаж в виде траншеи с уложенной в ней дренажной трубой.

3. Разработать технологическую схему очистки сточных вод.

4. Установить дополнительные нефтеловушки в водоотводной канаве, где наблюдается разгрузка линзы плавающих нефтепродуктов, образованная в результате аварии.

5. Провести ревизию складов горюче-смазочных материалов, участков технологических сливов смазочных материалов и накопителей сточных вод для принятия мер по исключению утечек нефтепродуктов.

6. Организовать на территории станции наблюдение и контроль за состоянием подземной гидросферы для оценки эффективности выполняемых защитных мероприятий.

7. Выполнить контрольное опробование подземных и поверхностных вод на территории станции и в прибрежной полосе водохранилища по расширенному спектру возможных загрязнителей.

### **Технология очистки сточных вод**

Проблему очистки сточных вод станции Екатеринбург-Сортировочный до значений ПДС можно решить с помощью биоинженерных технологий, в основе которых лежит использование растительного биоценоза. При локальном выпуске сточных вод доочистка их организовывается на особых устройствах, засаженных высшей водной растительностью (ВВР), которая играет положительную роль при формировании качества воды.

Поглощая значительное количество биогенных элементов и способствуя этим снижению уровня эвтрофирования водоема, ВВР выполняет роль биофильтра, усваивает и перерабатывает различные ядохимикаты, например фенолы, ДДТ, способствует осаждению взвешенных и органических веществ, поступающих в водоем с площади водосбора, насыщает воду кислородом и создает благоприятные условия для развития перифитонного сообщества, которое, в свою очередь, выступает главным деструктором загрязняющих веществ.

Изучение роли высшей водной растительности и микроорганизмов в самоочищении поверхностных вод от нефти и нефтепродуктов в природных условиях и лабораторных опытах показало [7—10], что в деструкции нефтяных загрязнений определяющим является их совместное действие. Симбиоз



определяет жизнедеятельность нефтеокисляющих бактерий и интенсивность бактериального очищения воды от нефти. Роль водных растений сводится к увеличению поверхности контактирования нефти с микрофлорой и стимуляции жизнедеятельности последней выделениями макрофитов.

Биоинженерными системами называется комплекс гидравлически объединенных сооружений, обеспечивающих последовательную доочистку сточных вод биоценозом до уровня, допускающего сброс последних в водные объекты общего пользования.

Учеными УрГУПС и РосНИИВХ, в частности В. В. Бондаренко, А. М. Асонова, О. Р. Ильясова, А. Н. Попова разработана технология организации и использования биологической инженерной системы (БИС) для охраны водных объектов от загрязненного стока, предложена принципиальная схема рационального использования растительности для очистки стока и доказана эколого-экономическая эффективность их в охране водных объектов [5–8]. Использование БИС имеет весьма широкие перспективы, так как в них осуществляется доочистка сточных вод промышленности и коммунального хозяйства (предварительно очищенных на локальных или типовых сооружениях), очистка рассредоточенного стока, а также очистка воды от компонентов, появившихся в водном объекте как результат вторичного загрязнения (например, от фитопланктона). Для эффективного использования растительного биоценоза в качестве биофильтра и удаления из водоема биогенных и органических веществ фитомассу необходимо убирать (скашивать), так как накопленные химические вещества в наземной части растения с окончанием вегетационного периода мигрируют в корневую часть, которая при отмирании может стать источником вторичного загрязнения.

Высокая поглотительная способность высшей водной растительности по отношению к химическим ингредиентам, их способность подавлять развитие фитопланктонных водорослей и обеспечивать благоприятные условия для развития микроорганизмов-деструкторов позволяют восстанавливать биологическую ценность воды, т. е. делают ее пригодной для проживания в ней гидробионтов без всякого ущерба неопределенно долгое время.

Предложена технологическая схема очистки сточных вод, несущих значительную массу органического, теплового загрязнения и загрязнения нефтепродуктами (рис. 1).

Первым этапом организации очистки поверхностных сточных вод служит отстаивание, которое осуществляется с помощью прудов-отстойников. Последние устанавливают при подходящих местных условиях для их размещения (при наличии оврагов, котлованов и др.). Они представляют собой

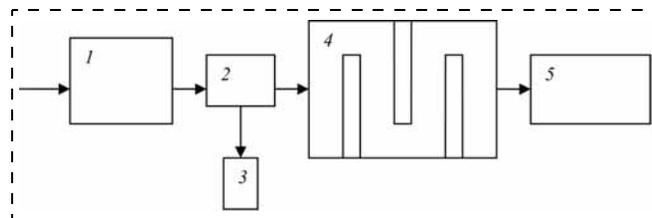


Рис. 1. Технологическая схема БИС для доочистки сточных вод выпусков:

1 — пруд-отстойник; 2 — нефтеловушка; 3 — емкость для сбора нефтепродуктов; 4 — сооружение с биологической загрузкой из ВВР; 5 — водоем или водоток-приемник очищенных сточных вод

неглубокие земляные бассейны, в которых, как и в процессе самоочищения водоемов, сточные воды очищаются за счет естественной аэрации, аэробного и анаэробного разложения загрязнений микроорганизмами, поглощения образующихся продуктов распада водной растительностью и улетучивания газообразных веществ в атмосферу. Остающийся осадок с неорганическими примесями (пыль, песок и др.) накапливается на дне и раз в несколько лет требует удаления.

Отстойники предназначены для удаления из воды основной массы нерастворенных органических (около 80 %) и минеральных (около 20 %) веществ, находящихся во взвешенном и плавающем состояниях. Частично в них задерживаются и коллоидные загрязнения. Для повышения эффективности очистки целесообразно заселять пруды-отстойники рогозом, камышом и другой водной растительностью, которая в период вегетации способна извлекать из воды некоторые соединения.

При медленном протекании сточной жидкости через отстойник тяжелые примеси, в том числе тяжелые нефти, осаждаются, легкие — всплывают. В процессе отстаивания отдельные частицы взвеси слипаются и укрупняются, образуя хлопья сложной конфигурации и малой плотности. Скорость их осаждения зависит от плотности частиц, а также от трения между ними и жидкостью, на которое влияют концентрация, форма и размер частиц, вязкость и температура сточной жидкости (оптимальная 15...25 °С) и другие факторы. На ход процесса отстаивания оказывают воздействие также образование газовых пузырьков в жидкости, местные завихрения потока, которые могут приводить к разрушению образовавшихся хлопьев и выносу взвеси из пруда-отстойника.

Второй этап очистки — организация БИС. Вначале в сооружениях этих систем размещают биологическую загрузку. Основным элементом биологической загрузки рекомендован тростник обыкновенный. Посадка ВВР производится в начале вегетационного периода: май месяц. С прекращением вегетации надводная часть биомассы загрузки

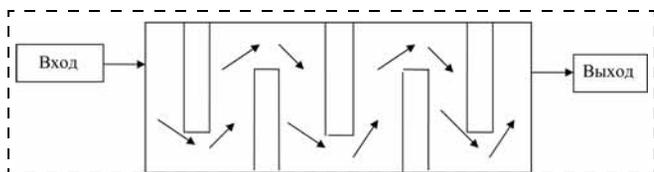


Рис. 2. Гидравлика потока в БИС доочистки сосредоточенного стока

изымается из акватории сооружения и утилизируется соответствующим образом (в качестве органического удобрения при отсутствии загрязнения тяжелыми металлами, в противном случае после сжигания отправляется в шламонакопитель). Вход сточных вод — в голову сооружения, работа по принципу: один вход — один выход (рис. 2).

Гидравлика потока должна предусматривать последовательное прохождение стока по всем элементам сооружения БИС. Время пребывания воды в БИС определяется гидрохимическими параметрами на входе и регламентируемыми показателями на выходе, но не должно превышать более 10 суток.

### Вывод

Использование БИС, организованных на основе разработанных параметров формирования биологической загрузки, гидравлических и гидрохимических режимов эксплуатации, позволит выполнять эффективную очистку сточных вод рассредоточенных выпусков перед поступлением их в водный объ-

ект, что поможет улучшить состояние почв и водных объектов. А это, в свою очередь, повысит качественное состояние территории железнодорожной станции и улучшит условия труда на ней.

### Список литературы

1. **Водные ресурсы** Свердловской области / ФГУП РосНИИВХ. Под ред. Н. Б. Прохоровой. — Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. — 432 с.
2. **Рыбаков Ю. С.** Предотвращение загрязнения вод стоком с техногенных образований цветной металлургии // Экология и безопасность жизнедеятельности / Сб. научн. тр. — Екатеринбург: УрГУПС, 2003. — С. 75—83.
3. **Водосбор.** Управление водными ресурсами на водосборе / ФГУП РосНИИВХ. Под ред. А. М. Черняева и М. П. Далькова. — Екатеринбург: Виктор, 1994. — 252 с.
4. **Рыбаков Ю. С.** Транспорт, вода и качество жизни населения // Экология и безопасность жизнедеятельности / Сб. научн. тр. — Екатеринбург: УрГУПС, 2004. — С. 86—92.
5. **Бондаренко В. В., Дерябин В. Н., Попов А. Н.** Биоинженерные методы и сооружения // Россия: водохозяйственное устройство. — Екатеринбург: "Аэрокосмоэкология", 1999. — С. 285—294.
6. **Асонов А. М., Ильясов О. Р.** Новая концепция технологии очистки поверхностных сточных вод с водосбора // Водное хозяйство России. — 2000. — Т. 2. — № 1. — С. 65—71.
7. **Бондаренко В. В.** Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами и рассредоточенным стоком с помощью биоинженерных систем. // Автореферат дисс. на соиск. ученой степени доктора техн. наук. — Екатеринбург, 2000. — 38 с.
8. **Бондаренко В. В.** Некоторые аспекты использования биоинженерных систем в защите водоисточников от загрязнения // Водные ресурсы. — 2001. — Т. 3. — № 4. — С. 361—363.

УДК 628.474.373

**А. Ю. Андриюшкин**, канд. техн. наук, доц., Балтийский государственный технический университет "Военмех" имени Д. Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

## Устойчивость процесса распыления при диспергировании жидких отходов

*Диспергирование утилизируемых жидкостей эффективно проводить сверхзвуковым газодинамическим распылением. Проведен анализ узлов распыления с различной компоновкой. Изложены результаты экспериментального исследования устойчивости процесса распыления вязкой (эмульсии) и низковязкой (воды) жидкости.*

**Ключевые слова:** переработка, утилизация, распыление

**Andryushkin A. Yu.** *Stability of the Process of the Spraying on Dispersion Liquid Waster*

*Dispersion utilized liquid effectively to conduct supersonic gas spraying. The organized analysis of the nodes of the spraying with different arrangement. The stated results of the experimental study to stability process spraying viscous (the emulsions) and fluid (water) to liquids.*

**Keywords:** conversion, utilization, spraying



Переработка и утилизация жидких отходов связана с их диспергированием. От степени измельчения отходов зависит скорость и полнота прохождения химических реакций. На переработку жидкие отходы поступают в виде многокомпонентных смесей (суспензий, паст, пульп, эмульсий). Эти смеси имеют повышенную вязкость, поэтому их диспергирование затруднено. Для диспергирования вязких жидкостей в последнее время используют сверхзвуковое газодинамическое распыление, которое повышает эффективность процесса переработки и утилизации, в том числе и при сжигании углеводородных отходов. Поэтому исследование процессов распыления вязких жидкостей является актуальной задачей.

### Анализ принципиальных конструктивных решений узлов распыления

Большое влияние на размеры образующихся при распылении капель оказывает конструкция узла распыления. В зависимости от свойств распыляемых композиций можно использовать узлы распыления внешнего и внутреннего перемешивания, т. е. жидкость подают в поток газа на выходе из узла распыления или внутри него (рис. 1).

Узел распыления с внутренним перемешиванием жидкости и газа (рис. 1, а) представляет собой корпус с коническим соплом или соплом Лавала, в расширяющейся части которого выполнены отверстия для подачи жидкости, по центральному каналу подают газ. Перемешивание жидкости и газа происходит внутри узла распыления, причем подача жидкости осуществляется под углом к потоку газа. Данное конструктивное решение имеет ряд недостатков. При данной компоновке затруднительно использовать вязкую жидкость, особен-

но содержащую твердые частицы. Трудно организовать при данной конструкции подачу в факел распыления нескольких компонентов смеси независимо друг от друга. Во время эксплуатации возможно засорение каналов подачи жидкости и самого сопла. Для устранения засорения необходимо остановить работу, разобрать узел распыления и промыть его, что очень неудобно.

Ряд недостатков, присущих узлам распыления с внутренним перемешиванием жидкости и газа, был устранен в узлах распыления с внешним перемешиванием (рис. 1, б, в). При внешнем перемешивании жидкость подают в поток газа за пределами узла распыления, что исключает его засорение. Канал подачи газа может быть выполнен осесимметрично или асимметрично относительно канала подачи жидкости. Осесимметричная компоновка узла распыления представляет собой канал подачи газа в виде кольцевой щели, охватывающей канал подачи жидкости (см. рис. 1, б). При асимметричной компоновке узла распыления канал подачи газа выполнен в виде серповидной щели, охватывающей канал подачи жидкости (см. рис. 1, в). Такие компоновки узлов распыления технологичны, возможна подача в факел распыления сразу нескольких компонентов или композиций приготовляемой смеси. Недостатком узлов распыления с щелевыми соплами подачи газа является трудность получения сверхзвукового режима истечения газа, что не позволяет получать капли высокой дисперсности при распылении вязких жидкостей.

Узлы распыления с многоструйной подачей газа (рис. 2) имеют ряд преимуществ. Многоструйная подача газа в факел распыления позволяет организовать развитую систему скачков уплотнения. Взаимодействие одиночных сверхзвуковых струй приводит к появлению новых скачков уплотнения, проходя которые капли жидкости подвергаются интенсивному дроблению. Использование этого эффекта позволяет значительно увеличить дисперсность образующихся капель. Жидкость подают по каналу, расположенному между струями газа. Газ вытекает из каналов в виде системы сверхзвуковых струй, расположенных по окружности (или по дуге окружности). Сопла подачи газа могут быть установлены в узле распыления относительно канала подачи жидкости произвольным образом.

При необходимости число каналов подачи жидкости может быть увеличено, т. е. подача жидкости может осуществляться спреерно. Расстановкой каналов подачи жидкости относительно каналов подачи газа можно влиять на параметры факела распыления (форма зоны орошения, плотность орошения, окружное распределение жидкости относительно оси узла распыления). Для повышения

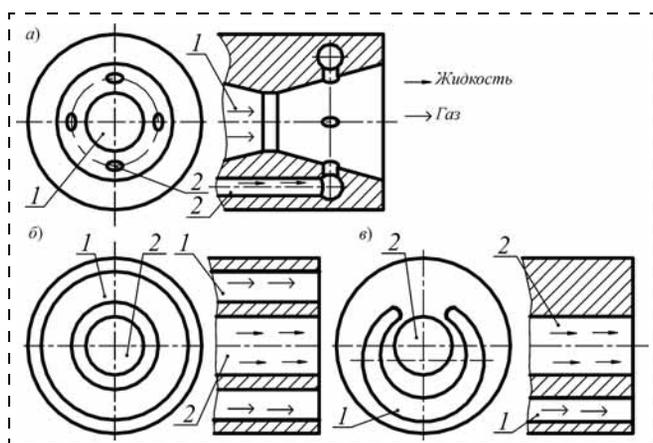
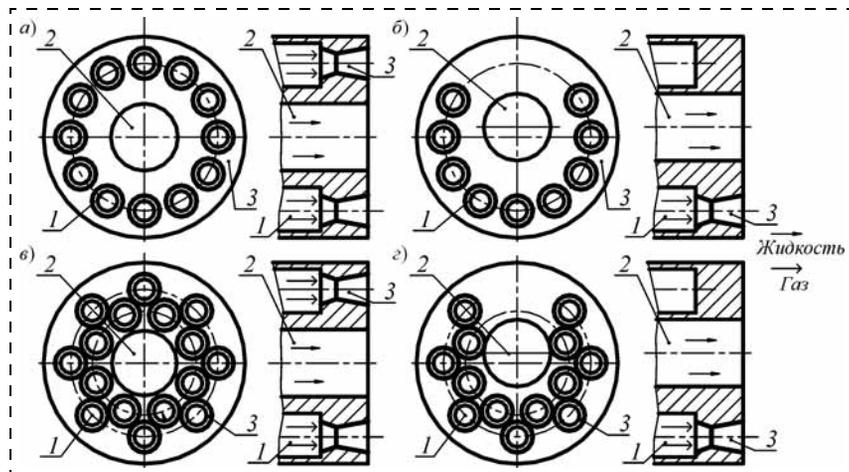


Рис. 1. Компоновки узлов распыления:

а — с внутренним перемешиванием; б — осесимметричная с внешним перемешиванием; в — асимметричная с внешним перемешиванием; 1 — канал подачи газа; 2 — канал подачи жидкости



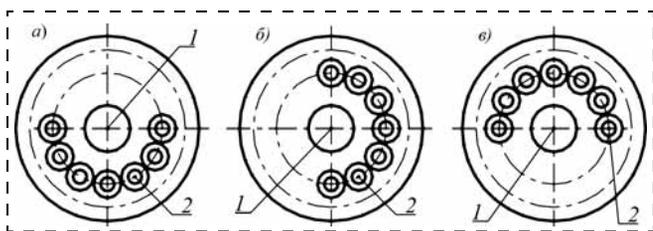
**Рис. 2. Компоновки узлов распыления с многоструйной подачей газа:**  
*a* — осесимметричная, однорядная; *б* — асимметричная, однорядная; *в* — осесимметричная двухрядная; *г* — асимметричная, двухрядная; 1 — канал подачи газа; 2 — канал подачи жидкости; 3 — сопло

эффективности диспергирования в узле распыления сопла подачи газа могут быть расположены в несколько рядов относительно канала подачи жидкости (см. рис. 2, *в*, *г*). Таким образом, многоструйная подача газа в факел распыления позволяет изменять технологические режимы распыления в широком диапазоне параметров [1—6].

### Устойчивость процесса распыления

Устойчивость процесса распыления — способность организовать стабильный факел распыления при подаче в него с определенными параметрами потоков жидкости и газа.

Пространственное положение узла распыления оказывает существенное влияние на стабильность факела распыления, особенно это значимо для асимметричных компоновок. При асимметричной компоновке на устойчивость процесса распыления оказывает влияние расположение сопел подачи газа относительно канала подачи жидкости. В эксперименте распыление проводилось из узла распыления с серповидной компоновкой в трех позициях, при положении сопел подачи газа (воздуха) относительно канала подачи жидкости снизу, сбоку, сверху (рис. 3).



**Рис. 3. Положения сопел подачи газа относительно канала подачи жидкости (серповидная компоновка узла распыления):**  
*a* — снизу; *б* — сбоку; *в* — сверху; 1 — канал подачи жидкости; 2 — сопло подачи газа

При достаточно большом количестве сопел подачи газа изменение их положения относительно канала подачи жидкости на процесс распыления оказывает несущественное влияние. При нахождении сопел подачи газа снизу по отношению к каналу подачи жидкости струя жидкости под действием собственного веса отклоняется в сторону сверхзвуковых струй (см. рис. 3, *a*). Поэтому расстояние между соплами подачи газа и каналом подачи жидкости значительного влияния на процесс распыления не оказывает. В положении, когда сопла подачи газа находятся сбоку или сверху (см. рис. 3, *б*, *в*), т. е. сила тяжести, действующая на струю жидкости, направлена вниз, эжекционная способность сверхзвуковых струй настолько велика,

что струя жидкости увлекается сверхзвуковым потоком. Однако при недостаточном количестве сопел подачи газа или при большом расстоянии между ними и каналом подачи жидкости процесс распыления может становиться неустойчивым.

Процесс распыления может быть устойчивым при определенном минимальном расходе газа, если сопла, через которые он подается, расположены оптимально. В эксперименте изменялось число сопел подачи газа  $n_c = 3 \dots 21$ , т. е. постепенно увеличивался расход газа  $Q_{\Gamma}$ . Диаметр критического сечения сопла  $d_{кр} = 1$  мм, при этом расход газа через одно сопло составляет  $Q_{\Gamma} = 14 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ , число Маха на срезе сопла  $M = 1,5$ . Варьировался диаметр канала подачи жидкости  $d_{кж} = 1, 2, 3, 4, 5$  мм, при этом расход жидкости составлял  $Q_{ж} = 1,57 \cdot 10^{-6}; 6,28 \cdot 10^{-6}; 1,41 \cdot 10^{-5}; 2,51 \cdot 10^{-5}; 3,93 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$  соответственно. Проводилось распыление жидкостей различной вязкости: воды ( $\mu_{ж} = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ) и эмульсии ( $\mu_{ж} = 0,050 \text{ Па} \cdot \text{с}$ ). Устойчивость процесса распыления зависит от соотношения расходов жидкости и газа или начальной концентрации жидкости в многофазной струе  $z_{ст} = Q_{ж}/Q_{\Gamma}$ .

При небольшом числе сопел (3...9) процесс распыления проходил устойчиво только при положении сопел подачи газа снизу (см. рис. 3, *a*). При положении сопел сбоку (см. рис. 3, *б*) процесс распыления проходил нерегулярно, распылялась незначительная часть жидкости, эжектируемая струями газа. Положение сопел подачи газа сверху (см. рис. 3, *в*) относительно канала подачи жидкости является самым неблагоприятным положением для распыления. При небольшом числе сопел подачи газа струя жидкости отклонялась вниз под действием силы тяжести и не распылялась.

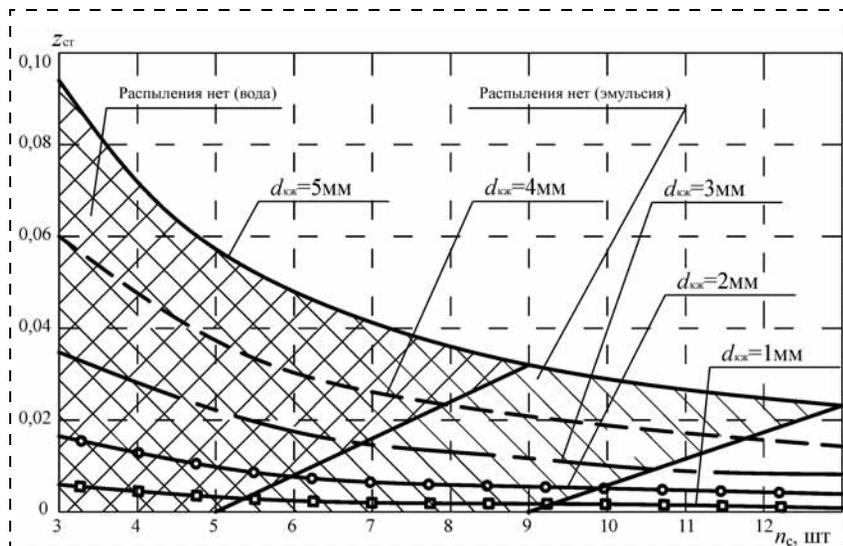


Рис. 4. Зависимость начальной концентрации жидкости в струе  $z_{ст}$  от числа сопел подачи газа  $n_c$  при различном диаметре канала подачи жидкости  $d_{кж}$

Устойчивость процесса распыления также зависит от вязкости жидкости, чем выше вязкость, тем сложнее организовать стабильный факел распыления. В случае расположения сопел подачи газа сверху относительно канала подачи жидкости для струи низковязкой жидкости (воды) устойчивое распыление наступает при числе сопел  $n_c = 5...9$  в зависимости от расхода жидкости (диаметра канала подачи жидкости  $d_{кж} = 1...5$  мм) (рис. 4). Устойчивое распыление вязкой жидкости (эмульсии) наступает при большем числе сопел подачи газа  $n_c = 9...13$ , при том же расходе жидкости (диаметре канала подачи жидкости  $d_{кж}$ ). На графике рис. 4 области неустойчивого распыления заштрихованы.

Устойчивость процесса распыления зависит от соотношения расходов жидкости и газа или начальной концентрации жидкости в многофазной струе  $z_{ст}$ . Для асимметричных компоновок важно положение сопел подачи газа относительно канала подачи жидкости, особенно при горизонтальном расположении распылителя. При самом неблагоприятном положении (сопла подачи газа сверху канала подачи жидкости) узла распыления с серповидной компоновкой устойчивый процесс распыления воды наблюдается при числе сопел подачи газа  $n_c = 5...9$ , эмульсии —  $n_c = 9...13$  в зависимости от диаметра канала подачи жидкости  $d_{кж}$ .

## Выводы

1. Сверхзвуковое газодинамическое распыление эффективно при диспергировании жидких отходов, представляющих собой многокомпонентные смеси.
2. При переработке и утилизации вязких жидкостей рационально использовать узлы распыления с многоструйной подачей газа в факел распыления и с внешним перемешиванием жидкости и газа.
3. Устойчивый процесс распыления наступает при определенном соотношении расходов жидкости и газа. Для устойчивого распыления вязкой жидкости (эмульсии) требуется больший расход газа, чем при распылении низковязкой жидкости (воды).

## Список литературы

1. Патент на изобретение № 2311964 МПК<sup>7</sup> В05В 7/08. Распылитель жидкости / Андрюшкин А. Ю., Галинская О. О., Засухин О. Н., Мешков Е. В. Заявитель и патентообладатель: БГТУ "ВОЕНМЕХ". Заявка: 2006112431/12 от 13.04.2006, опубликован 10.12.2007. Официальный сайт ФИПС: [www.fips.ru](http://www.fips.ru).
2. Патент на изобретение № 2320425 МПК<sup>7</sup> В05В 7/08. Устройство для распыления жидкости / Андрюшкин А. Ю. Заявитель и патентообладатель: БГТУ "ВОЕНМЕХ". Заявка: 2006119387/12 от 02.06.2006, опубликован 27.03.2008. Официальный сайт ФИПС: [www.fips.ru](http://www.fips.ru).
3. Патент на полезную модель № 92811 МПК<sup>7</sup> В01F 5/18. Секторный распылитель / Андрюшкин А. Ю. Заявитель и патентообладатель: БГТУ "ВОЕНМЕХ". Заявка: 2009142579/22 от 18.11.2009, опубликован 10.04.2010. Официальный сайт ФИПС: [www.fips.ru](http://www.fips.ru).
4. Патент на полезную модель № 93703 МПК<sup>7</sup> В05В 1/34. Распылитель с вихревой камерой / Андрюшкин А. Ю. Заявитель и патентообладатель: БГТУ "ВОЕНМЕХ". Заявка: 2009146562/22 от 15.12.2009, опубликован 10.05.2010. Официальный сайт ФИПС: [www.fips.ru](http://www.fips.ru).
5. Патент на полезную модель № 93704 МПК<sup>7</sup> В05В 7/28. Газожидкостная форсунка / Андрюшкин А. Ю. Заявитель и патентообладатель: БГТУ "ВОЕНМЕХ". Заявка: 2010101387/22 от 18.01.2010, опубликован 10.05.2010. Официальный сайт ФИПС: [www.fips.ru](http://www.fips.ru).
6. Патент на полезную модель № 105598 МПК<sup>7</sup> В05В 3/12. Распылитель с пористым элементом / Андрюшкин А. Ю. Заявитель и патентообладатель: БГТУ "ВОЕНМЕХ". Заявка: 2011101135/05 от 12.01.2011, опубликован 20.06.2011. Официальный сайт ФИПС: [www.fips.ru](http://www.fips.ru).

УДК 628.1.034.2

**Е. В. Рудковская**, преп., Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, **Ю. А. Омельчук**, канд. хим. наук, доц., руководитель Института экологической и информационной безопасности, Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности;  
**Н. Д. Гомеля**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"  
E-mail: ruda\_lena@mail.ru

## Синтез и оценка эффективности сульфонатов как стабилизаторов накипеобразования и ингибиторов коррозии металлов для ресурсосберегающих водооборотных систем охлаждения

*Приведены результаты исследований по использованию стабилизаторов накипеобразования на основе метилсульфонатов. Проведена оценка их эффективности как стабилизаторов накипеобразования при упаривании воды (коэффициент упаривания  $K_u \approx 1,5$ ), данные вещества перспективны и в качестве ингибиторов коррозии металлов.*

**Ключевые слова:** ингибиторы коррозии, стабилизаторы накипеобразования, стабилизационный эффект, сульфонаты

**Rudkovskaya E. V., Omelchuk J. A., Gomelya N. D. Synthesis and Performance Evaluation Sulphonates as a Stabilizer of Scale Formation and Corrosion Inhibitors Metals for Resource Saving Cooling of Water Circulation Systems**

*In work results research on the use of stabilizers of scale formation based on methylsulphonates. An assessment of their effectiveness as a stabilizers scale formation by evaporating of water (evaporation rate  $K_e \approx 1,5$ ), these substances are promising also as inhibitors of metal corrosion.*

**Keywords:** corrosion inhibitors, stabilizers, scale formation, the stabilization effect, sulphonates

### Введение

В промышленно развитых странах часто основным потребителем воды являются промышленные предприятия, которые потребляют порядка 60 % используемых природных вод. Большая часть воды используется в водооборотных системах охлаждения. Использование воды для охлаждения имеет масштабы, значительно превосходящие масштабы всех остальных видов по-

требления воды, причем удельный вес этой категории в общем объеме производственного водоснабжения продолжает расти.

В водооборотных системах охлаждения наибольшие объемы воды расходуются в теплообменной аппаратуре для отведения лишней теплоты. Только на компенсацию потери воды в оборотных системах водоснабжения отдельные предприятия тратят тысячи, и даже сотни тысяч кубических метров в сутки.

В условиях оборотных систем многократный подогрев воды до 40...45 °С и охлаждение ее в градирнях или брызгальных бассейнах приводит к поглощению оксида углерода (IV) и отложению на поверхностях теплообменников и трубах карбоната кальция [1].

Для борьбы с накипеобразованием в наше время широко используют разнообразные стабилизаторы [2]. На сегодняшний день известны химические соединения, которые проявляют эффективные защитные свойства по отношению к отложениям солей жесткости [3, 4]: неорганические поли- и метафосфаты, эфиры фосфорной кислоты и их соли, фосфоновые кислоты и их соли, аминокислоты и их соли, полимерные ингибиторы и композиции смешанного типа.

Необходимость в разработке новых стабилизаторов накипеобразования существует потому, что известные реагенты не совсем удовлетворяют существующим требованиям. Прежде всего, следует отметить, что при гидролизе полифосфаты превращаются в неактивные о-фосфаты, которые ускоряют осадкоотложения не только за счет нерастворимых фосфатов кальция, но и за счет того, что фосфор является биогенным элементом. Они стимулируют биообрастание на градирнях, других сооружениях, в коммуникациях.



Фосфоновые кислоты являются дорогими реагентами. А если учитывать большие объемы воды в оборотных системах, то их использование приводит к значительным издержкам.

Сульфонаты, полученные из доступных реагентов, в случае достаточной эффективности могут позволить снизить расходы на водоподготовку, в целом повысить эффективность использования воды.

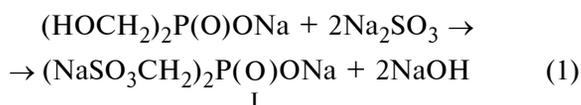
Поэтому целью данных исследований была разработка высокоэффективных стабилизаторов накипеобразования на основе доступных метилсульфонатов, которые проявляли бы и ингибирующие свойства по отношению к коррозии металлов.

### Методы и результаты исследований

В данном исследовании в качестве рабочей среды использовали севавтопольскую водопроводную воду с жесткостью до 8,5 мг-экв/дм<sup>3</sup> и щелочностью до 7...8 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Как стабилизаторы накипеобразования кроме известных фосфонатов — оксиэтилендифосфоновой кислоты (ОЭДФК) и нитрилтриметилфосфоновой кислоты (НТМФК) были использованы более дешевые полифосфатные реагенты, такие как триполифосфат натрия (ТПФNa) и гексаметафосфат натрия (ГМФNa).

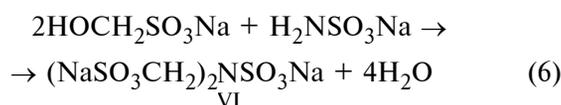
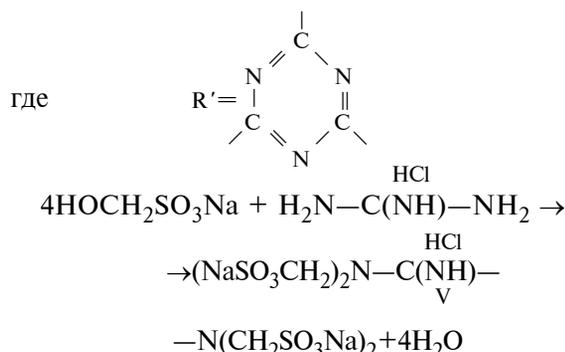
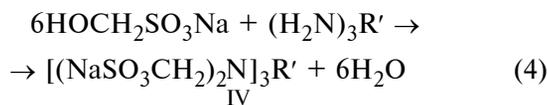
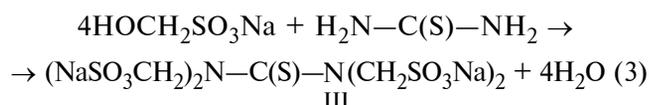
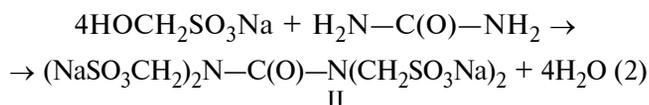
Также были синтезированы новые стабилизаторы на основе метилсульфонатов. В процессах синтеза стабилизаторов накипеобразования и ингибиторов коррозии использовали реакции конденсации амидов с альдегидами и метилольными соединениями.

Натриевую соль диметиленсульфонат фосфиновой кислоты (I) получали при взаимодействии натриевой соли диметилсульфонат фосфиновой кислоты с сульфитом натрия:



Выход продукта (I) составляет 81 %.

Тетраметилсульфонат карбамида (II), тетраметилсульфонат тиокарбамида (III), гексаметиленсульфонат меламина (IV), тетраметилсульфонат хлоргидрата гуанидина (V) и нитрилдиметилсульфонат сульфата натрия (VI) получали при взаимодействии соответствующих амидов с метилсульфонатом (реакции 2—6):



Получение сульфонов II—VI проводили в концентрированных растворах. Данные продукты из растворов не выделяли, поэтому их реальное химическое строение не подтверждено специальными исследованиями, а выбрано с учетом возможного направления протекания реакций.

Для проведения исследований по оценке эффективности накипеобразования использовали термостат. Температура поддерживалась на уровне 40 °С. Пробы воды в объеме 100 см<sup>3</sup> и пробы воды, обработанные стабилизаторами, помещали в термостат при  $t = 40$  °С и выдерживали пока они не упаривались на ≈30...40 %.

Стабилизаторы накипеобразования использовали в дозах от 2 до 50 мг/дм<sup>3</sup>. После охлаждения пробы фильтровали и определяли остаточную жесткость воды.

Стабилизационный эффект, %, рассчитывали по формуле [5]:

$$\begin{aligned} \text{СЭ} &= \left(1 - \frac{\Delta\text{Ж}_i}{\Delta\text{Ж}}\right) 100; \quad (7) \\ \Delta\text{Ж}_i &= \text{Ж} - \text{Ж}_i; \\ \Delta\text{Ж} &= \text{Ж} - \text{Ж}_0, \end{aligned}$$

где  $\Delta\text{Ж}$  — снижение жесткости в холостом опыте, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $\Delta\text{Ж}_i$  — снижение жесткости в опыте со стабилизатором накипеобразования, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $\text{Ж}$  — жесткость исходной воды, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $\text{Ж}_0$  — остаточная жесткость в холостой пробе, мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $\text{Ж}_i$  — остаточная жесткость в пробе со стабилизатором накипеобразования, мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Противонакипный эффект, %, рассчитывали по формуле:

$$\text{ПЭ} = \frac{\text{Ж}_i}{\text{Ж}} 100. \quad (8)$$

В случае, когда вода упаривается, рассчитывается коэффициент упаривания как отношение начального объема  $V_H$  пробы к остаточному объему пробы  $V_{ост}$ :

$$K_y = \frac{V_H}{V_{ост}}. \quad (9)$$

В данной работе начальную жесткость, остаточную жесткость в холодном опыте ( $J_0$ ) и опытах со стабилизаторами ( $J_i$ ), определяли при анализе, а для расчета  $CЭ$  и  $ПЭ$  использовали рассчитанную теоретически начальную жесткость  $J_T$ :

$$J_T = J K_y; \quad (10)$$

тогда:

$$CЭ = \left( 1 - \frac{J_T - J_i}{J_T - J_{ост}} \right) 100 = \left( 1 - \frac{\Delta J_i}{\Delta J} \right) 100; \quad (11)$$

$$ПЭ = \frac{J_i}{J_T} 100. \quad (12)$$

Оценку эффективности синтезированных веществ как ингибиторов коррозии проводили в статических условиях при температуре 18 °С. Продолжительность испытаний 168 ч.

Скорость коррозии определяли массометрическим методом. Концентрации ингибиторов составляли 2...10 мг/дм<sup>3</sup>, результаты испытаний получали усреднением данных из четырех параллельных опытов.

Массометрическое измерение проводили следующим образом: для испытаний готовились образцы в виде прямоугольных пластин разных размеров. Перед испытаниями образцы шлифовали вручную, затем полировали механически тонким абразивным материалом до полного удаления неровностей, остающихся от шлифования, маркировали. Обезжиривание проводили этиловым спиртом, затем взвешивали на аналитических весах с точностью  $\pm 0,0001$  г. После завершения испытаний с металла очищали продукты коррозии, пластины промывали, высушивали и снова взвешивали. Образцы изготовляли из углеродистой стали марки Ст3, латуни Л2 и меди М2, являющихся неотъемлемой частью конструктивных материалов технологического оборудования водооборотных циклов предприятий.

Скорость коррозии определяли массометрическим методом исходя из следующего выражения:

$$V = \frac{(m_H - m_K)}{\tau S}, \quad (13)$$

$$V' = \frac{(m_H - m_K) 8,76}{S \tau \rho_{ме}}, \quad (14)$$

где  $V$  — скорость коррозии, г · м<sup>2</sup>/ч;  $V'$  — скорость коррозии, мм/год;  $m_H$  — первоначальная масса образца, г;  $m_K$  — масса образца после испытаний, г;  $S$  — поверхность образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  — длительность испытаний, ч;  $\rho_{ме}$  — плотность металла, г/см<sup>3</sup>; 8,76 — коэффициент для перехода от измерения весового показателя скорости коррозии в расчете на 1 ч к глубинному показателю в расчете на 1 год.

Таблица 1

Оценка эффективности фосфоновых кислот по стабилизации водопроводной воды при ее упаривании ( $T = 40$  °С)

Стабилизатор	Доза, мг/ дм <sup>3</sup>	$C_{Ca}^*$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$C_{Mg}^*$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$K_y$	$J_T$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$J_0$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$J_i$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$\Delta J_i$ ( $\Delta J$ ), мг-экв/дм <sup>3</sup>	$CЭ$ , %	$ПЭ$ , %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
—	0	4,8	2,8	1,64	12,46	5,02	—	(7,44)	—	—
ОЭДФК	2	9,4	3,0	1,64	12,46	5,02	12,40	0,06	99,20	99,52
	5	7,8	2,6	1,37	10,41	5,02	10,40	0,01	99,87	99,90
	10	7,2	3,2	1,39	10,56	5,02	10,40	0,16	97,85	98,48
	20	8,8	2,8	1,67	12,69	5,02	11,60	1,09	85,35	91,41
	50	7,2	2,4	1,39	10,56	5,02	9,60	0,96	87,10	90,91
НТМФК	2	8,4	1,2	1,50	11,40	5,02	9,60	1,80	75,80	84,21
	5	8,4	2,4	1,43	10,87	5,02	10,80	0,07	99,06	99,36
	10	8,6	2,8	1,52	11,55	5,02	11,40	0,15	97,98	98,70
	20	8,0	3,2	1,52	11,55	5,02	11,20	0,35	95,30	96,97
	50	7,6	1,8	1,39	10,56	5,02	9,40	1,16	84,41	89,02
НТМФК; Zn <sup>2+</sup>	2;2	11,6	3,6	2,00	15,20	5,02	15,20	0,00	100,0	100,0
	5;2	7,1	3,6	1,47	11,17	5,02	11,20	0,00	100,0	100,0
	10;2	7,6	2,8	1,35	10,26	5,02	10,40	0,00	100,0	100,0
	20;2	8,2	2,2	1,40	10,64	5,02	10,40	0,24	96,77	97,74
	50;2	7,2	2,4	1,27	9,65	5,02	9,60	0,05	96,33	99,48

\*  $C_{Ca}$  и  $C_{Mg}$  — концентрации катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  соответственно.



Таблица 2

Зависимость эффективности стабилизации воды от типа и дозы полифосфатов и фосфиновых кислот при ее упаривании ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Стабилизатор	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	$C_{Ca}^*$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$C_{Mg}^*$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$K_y$	$J_T$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$J_O$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$\Delta J_i (\Delta J)$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	СЭ, %	ПЭ, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
—	—	4,8	2,8	1,64	12,46	(5,02)	(7,44)	—	—
ТПФNa	2	8,0	3,0	1,45	11,02	11,00	0,02	99,73	98,82
	5	8,8	2,0	1,47	11,17	10,80	0,37	95,03	96,68
	10	8,0	3,2	1,46	11,10	11,20	0,00	100,0	100,0
	20	8,4	3,2	1,60	12,16	11,60	0,56	92,47	95,39
	50	8,4	2,8	1,54	11,70	11,20	0,50	93,28	95,73
ГМФNa	2	6,0	5,6	1,57	11,93	11,60	0,33	95,56	97,20
	5	8,0	2,4	1,39	10,56	10,40	0,16	97,85	98,48
	10	8,2	2,2	1,41	10,72	10,40	0,32	95,70	97,01
	20	7,6	3,2	1,46	11,10	10,80	0,30	95,97	93,30
	50	8,2	2,6	1,43	10,87	10,80	0,07	99,06	99,36

\*  $C_{Ca}$  и  $C_{Mg}$  — концентрации катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  соответственно.

Коэффициент торможения рассчитывали по формуле:

$$j = \frac{V'_x}{V'_и}, \quad (15)$$

где  $V'_x$  — скорость коррозии металла в холостой пробе, мм/год;  $V'_и$  — скорость коррозии металла в воде с ингибитором коррозии, мм/год.

Степень защиты от коррозии, %, определяли по формуле:

$$Z = \left(1 - \frac{1}{j}\right) \cdot 100. \quad (16)$$

При стабилизации воды по отношению к осадкоотложениям достаточно высокой была эффективность фосфиновых кислот (табл. 1). Так, уже при дозе 2 мг/дм<sup>3</sup> ОЭДФК был достигнут стабилизационный эффект на уровне 99,2 %.

Полная стабильность воды была достигнута при использовании НТМФК с цинком в концентрациях от 2 до 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Практически во всех опытах получены высокие результаты по противонакипному эффекту. При этом увеличение дозы с 2 до 50 мг/дм<sup>3</sup> практически не влияет на стабильность воды.

Результаты по эффективности стабилизации воды с помощью фосфиновых кислот и полифосфатов приведены в табл. 2.

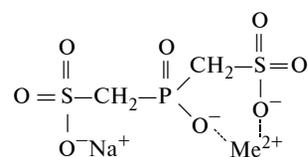
Как видно из таблицы полифосфаты — ТПФNa и ГМФNa обеспечивают высокую стабильность воды по отношению к накипеобразованию при коэффициенте упаривания 1,39...1,60 в диапазоне концентраций ингибиторов от 2 до 50 мг/дм<sup>3</sup>.

Уже при дозе 2 мг/дм<sup>3</sup> стабилизационный эффект достигал 95,5...99,7 %.

Результаты по эффективности стабилизации воды с помощью сульфонов приведены в табл. 3.

Традиционные фосфонаты и полифосфаты были эффективны как ингибиторы накипеобразования при упаривании воды. Синтезированный с доступных реагентов стабилизатор (I) был не менее эффективен и при дозе 2 мг/дм<sup>3</sup> обеспечивал стабилизационный эффект на уровне 98,66 %.

Очевидно, высокая эффективность натриевой соли диметиленсульфонат фосфиновой кислоты обусловлено структурой молекулы, которая обеспечивает образование устойчивых хелатных структур с кальцием или магнием:



В данном случае возможно образование шестичленного цикла, который характеризуется высокой термодинамической стабильностью.

Следует отметить, что эффективность комплекса (I) как стабилизатора накипеобразования не зависит от дозы в выбранном диапазоне концентраций. Поэтому его целесообразно использовать в концентрациях ~2 мг/дм<sup>3</sup>.

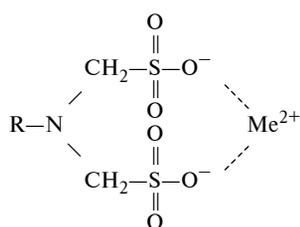
Удовлетворительную эффективность обеспечивали полученные нами стабилизаторы II—VI. Относительно невысокую их эффективность можно объяснить возможностью образовывать с катионами жесткости восьмичленные хелатные циклы, которые менее стойкие по сравнению с шестичленными.

Влияние сульфатов на стабильность севастопольской водопроводной воды при ее упаривании ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Стабилизатор	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	$C_{Ca}^*$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$C_{Mg}^*$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$K_y$	$J_T$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$J_0$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	$\Delta J_i (\Delta J)$ , мг-экв/дм <sup>3</sup>	СЭ, %	ПЭ, %
—	—	4,8	2,8	1,64	12,46	(5,02)	(7,44)	—	—
I	2	8,4	3,2	1,54	11,70	11,60	0,10	98,66	99,15
	5	7,6	3,0	1,43	10,87	10,60	0,27	96,37	97,52
	10	8,0	3,6	1,52	11,55	11,60	0,00	100,0	100,0
	20	8,4	3,0	1,49	11,32	11,40	0,00	100,0	100,0
	50	7,6	2,8	1,39	10,56	10,40	0,16	97,85	98,48
III	2	5,0	2,8	1,56	11,86	7,80	4,06	46,24	69,77
	5	7,5	2,9	1,52	11,55	7,90	4,15	44,22	64,07
	10	4,6	3,4	1,54	11,70	8,00	3,70	50,27	68,38
	20	4,8	2,8	1,43	10,87	7,60	3,27	56,05	69,92
	50	6,0	2,8	1,43	10,80	8,80	2,07	72,18	80,96
II	2	4,0	3,2	1,43	10,87	7,20	3,67	50,67	66,24
	5	5,4	3,6	1,54	11,70	9,00	2,70	63,71	76,92
	10	7,2	3,6	1,52	11,55	10,80	0,75	89,92	92,31
	20	6,4	3,6	1,52	11,55	10,00	1,55	79,17	86,58
	50	4,8	3,4	1,45	11,02	8,20	2,82	62,10	74,41
IV	2	4,6	3,4	1,45	11,02	8,00	3,02	59,41	72,59
	5	7,7	3,1	1,47	11,17	10,30	0,37	95,30	96,69
	10	6,4	3,2	1,61	12,23	9,60	2,63	64,65	78,50
	20	5,0	3,0	1,39	10,56	8,00	2,56	65,59	75,76
	50	5,0	2,6	1,41	10,71	7,60	3,11	58,20	70,96
V	2	8,0	2,4	1,39	10,56	1,40	0,16	97,85	98,48
	5	6,0	3,0	1,47	11,17	9,00	2,17	70,83	80,57
	10	5,0	3,0	1,39	10,56	8,00	2,56	65,59	75,76
	20	4,8	3,6	1,45	11,02	8,40	2,62	64,78	76,23
	50	4,4	3,5	1,49	11,32	7,90	3,42	54,03	69,60
VI	2	4,0	2,8	1,41	10,71	6,80	3,91	47,45	63,49
	5	4,6	2,6	1,43	10,87	7,20	3,67	50,67	66,24
	10	4,0	3,2	1,39	10,56	7,20	3,36	54,84	68,18
	20	4,9	2,2	1,43	10,87	7,12	3,75	49,60	65,50
	50	8,4	1,6	1,45	11,02	10,00	1,02	86,56	90,74

\*  $C_{Ca}$  и  $C_{Mg}$  — концентрации катионов  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  соответственно.

ми, характерными для ОЭДФК или семичленными, характерными для НТМФК:



Кроме того, стабилизаторы II—VI термодинамически нестойкие и при нагревании в разбавленных растворах могут частично разлагаться. Однако при низких температурах (30...40 °С) данные стабилизаторы могут быть достаточно перспективными, учитывая их доступность и невысокую стоимость.

Очень важной, наряду с проблемой накипеобразования, является проблема защиты металлов от коррозии в водной среде. При этом необходимо

защищать от коррозии коммуникации и оборудование как в системах охлаждения, так и в энергетических системах, где используется умягченная или обессоленная вода, нагретая до высоких температур. Поэтому важным аспектом при создании стабилизаторов накипеобразования является оценка влияния разработанных добавок на процессы коррозии.

В значительной мере задача создания ингибиторов коррозии осложняется тем, что в водооборотных системах используют воду при разных температурах, разных уровнях аэрации. В конструктивных элементах систем используют разные металлы. Все это приводит к тому, что в системах реализуются различные механизмы процессов коррозии металлов и разные механизмы торможения коррозионных процессов. Поэтому задача создания универсального ингибитора коррозии металлов в воде является достаточно сложной.



Таблица 4

Оценка влияния натриевой соли диметилсульфонат фосфиновой кислоты (I) на скорость коррозии стали Ст3, латуни Л2, меди М2 в севастопольской водопроводной воде при температуре 18 °С (время испытаний 168 ч)

Ингибитор	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	V, г·м <sup>2</sup> /ч	V', мм/год	j	Z, %
<b>Сталь (Ст3)</b>					
I	0,0	0,0390	0,0435	—	—
	1,0	0,0338	0,0436	1,00	0,0
	2,0	0,0255	0,0329	1,32	24,2
	5,0	0,0102	0,0132	3,28	69,5
	10,0	0,0086	0,0111	3,93	74,6
I; Zn <sup>2+</sup>	1,0;2,0	0,0110	0,0141	3,08	67,5
	2,0;2,0	0,0061	0,0079	5,51	81,9
	5,0;2,0	0,0053	0,0068	6,40	84,4
	10,0;2,0	0,0020	0,0026	16,54	94,0
<b>Латунь (Л2)</b>					
I	0,0	0,0066	0,0068	—	—
	1,0	0,0037	0,0039	1,76	43,3
	2,0	0,0033	0,0035	1,94	48,5
	5,0	0,0031	0,0033	2,08	51,8
	10,0	0,0030	0,0031	2,17	53,9
I; Zn <sup>2+</sup>	1,0;2,0	0,0054	0,0056	1,21	17,3
	2,0;2,0	0,0019	0,0019	3,42	70,7
	5,0;2,0	0,0018	0,0018	3,63	72,4
	10,0;2,0	0,0013	0,0014	4,79	79,1
<b>Медь (М2)</b>					
I	0,0	0,0053	0,0052	—	—
	1,0	0,0034	0,0033	1,57	36,3
	2,0	0,0030	0,0029	1,75	42,8
	5,0	0,0026	0,0025	2,05	51,2
	10,0	0,0021	0,0020	2,60	61,5
I; Zn <sup>2+</sup>	1,0;2,0	0,0023	0,0022	2,30	56,2
	2,0;2,0	0,0021	0,0020	2,60	61,5
	5,0;2,0	0,0011	0,0010	5,20	80,8
	10,0;2,0	0,0006	0,0006	8,67	88,5

Была произведена оценка влияния разработанных стабилизаторов накипеобразования на коррозию в воде нелегированной черной стали Ст3, латуни Л2 и меди М2, которые обычно используются для изготовления трубопроводов, теплообменников и конденсаторов.

Результаты по оценке эффективности синтезированных ингибиторов (I—III) для защиты стали Ст3, латуни Л2 и меди М2 в воде приведены в табл. 4—6.

Как видно из приведенных данных наиболее эффективным ингибитором для всех исследуемых металлов является натриевая соль диметилсульфонат фосфиновой кислоты (I), при этом в композиции с цинком эффективность его увеличивается. Так, для стали Ст3 при дозе ингибитора (I) — 10 мг/дм<sup>3</sup> и цинка Zn<sup>2+</sup> — 2 мг/дм<sup>3</sup> степень защиты составляет — 94 % (см. табл. 4).

Таблица 5

Оценка влияния тетраметилсульфонат тиокарбамида (III) на скорость коррозии стали Ст3, латуни Л2, меди М2 в севастопольской водопроводной воде при температуре 18 °С (время испытаний 168 ч)

Ингибитор	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	V, г·м <sup>2</sup> /ч	V', мм/год	j	Z, %
<b>Сталь (Ст3)</b>					
III	0,0	0,0390	0,0435	—	—
	1,0	0,0601	0,0668	0,65	<0
	2,0	0,0539	0,0599	0,73	<0
	5,0	0,0389	0,0434	1,00	<0
	10,0	0,0309	0,0344	1,27	21,3
III; Zn <sup>2+</sup>	0,0;0,0	0,0390	0,0435	—	—
	1,0;2,0	0,0594	0,0661	0,66	<0
	2,0;2,0	0,0535	0,0596	0,73	<0
	5,0;2,0	0,0369	0,0410	1,06	0,1
10,0;2,0	0,0292	0,0325	1,33	25,0	
<b>Латунь (Л2)</b>					
III	0,0	0,0066	0,0068	—	—
	1,0	0,0061	0,0063	1,06	5,5
	2,0	0,0055	0,0057	1,17	14,5
	5,0	0,0052	0,0054	1,23	18,7
	10,0	0,0051	0,0053	1,26	20,3
III; Zn <sup>2+</sup>	0,0	0,0066	0,0068	—	—
	1,0;2,0	0,0060	0,0062	1,08	7,3
	2,0;2,0	0,0051	0,0052	1,27	21,4
	5,0;2,0	0,0042	0,0043	1,54	35,1
10,0;2,0	0,0036	0,0037	1,78	43,8	
<b>Медь (М2)</b>					
III	0,0	0,0053	0,0052	—	—
	1,0	0,0052	0,0051	1,01	0,7
	2,0	0,0050	0,0049	1,04	4,2
	5,0	0,0036	0,0035	1,47	32,0
	10,0	0,0030	0,0029	1,75	43,0
III; Zn <sup>2+</sup>	0,0	0,0053	0,0052	—	—
	1,0;2,0	0,0052	0,0051	1,01	1,1
	2,0;2,0	0,0051	0,0049	1,04	3,7
	5,0;2,0	0,0034	0,0033	1,57	36,3
10,0;2,0	0,0027	0,0026	1,97	49,3	

Как видно из табл. 5, тетраметилсульфонат тиокарбамида (III) менее эффективен для защиты исследуемых металлов от коррозии. Степень защиты возрастает при использовании его в композиции с цинком. Так, для меди М2 при дозе ингибитора 10 мг/дм<sup>3</sup> — 43,0 %, а в композиции с цинком (Zn<sup>2+</sup>) при дозе 10; 2 мг/дм<sup>3</sup> — 49,3 %.

Тетраметилсульфонат тиокарбамида (II) был не эффективен для защиты стали Ст3 от коррозии (см. табл. 6), но обеспечивал достаточно высокую защиту меди М2 и латуни Л2 от коррозии. Так, при его дозе 10 мг/дм<sup>3</sup> степень защиты на уровне ≈81 %.

Таким образом, как видно из приведенных результатов, синтезированные вещества на основе метилсульфонатов, могут быть перспективными стабилизаторами накипеобразования и ингибиторами коррозии металлов.

Таблица 6

Оценка влияния тетраметилсульфонат карбамида (II) на скорость коррозии стали Ст3, латуни Л2, меди М2 в севастопольской водопроводной воде при температуре 18 °С (время испытаний 168 ч)

Ингибитор	Доза, мг/дм <sup>3</sup>	$V_1$ , г · м <sup>2</sup> /ч	$V_2$ , мм/год	$j$	Z, %
<b>Сталь (Ст3)</b>					
II	0,0	0,0390	0,0435	—	—
	1,0	0,0575	0,0640	0,68	<0
	2,0	0,0544	0,0606	0,71	<0
	5,0	0,0560	0,0623	0,70	<0
	10,0	0,0572	0,0636	0,68	<0
<b>Латунь (Л2)</b>					
II	0,0	0,0066	0,0068	—	—
	1,0	0,0015	0,0018	3,79	73,6
	2,0	0,0012	0,0014	4,85	79,4
	5,0	0,0010	0,0013	5,28	81,1
	10,0	0,0009	0,0012	5,39	81,4
<b>Медь (М2)</b>					
II	0,0	0,0053	0,0052	—	—
	1,0	0,0015	0,0015	3,38	70,4
	2,0	0,0012	0,0011	4,50	77,8
	5,0	0,0012	0,0012	4,49	77,7
	10,0	0,0010	0,0010	5,20	80,8

### Выводы

Установлено, что синтезированный реагент — натриевая соль диметилсульфонат фосфиновой кислоты является высокоэффективным стабилизатором

накипеобразования в водопроводной воде при упаривании воды ( $K_y \approx 1,5$ ) при 40 °С. При дозе 2 мг/дм<sup>3</sup> стабилизационный эффект достигал 94...98 %.

Разработаны стабилизаторы накипеобразования на основе метилолсульфонатов. При упаривании воды ( $K_y \approx 1,5$ ) при 40 °С достигнута удовлетворительная эффективность разработанных стабилизаторов. В отдельных случаях стабилизационный эффект достигал 95...97 %.

Показано, что натриевая соль диметилсульфонат фосфиновой кислоты является эффективным ингибитором для защиты от коррозии стали Ст3, меди М2, латуни Л2. Степень защиты для стали Ст3 данного ингибитора в композиции с цинком ( $Zn^{2+}$ ) при дозе 10; 2 мг/дм<sup>3</sup> составляет 94 %.

### Список литературы

1. **Фізико-хімічні** основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольский, Н. А. Мішкова-Кліменко, І. М. Астрелін та ін. — К.: Лібра, 2000. — 552 с.
2. **Goeldner R. W.** Scale control inhibitor performance at 100 °C under boiling conditions // WSIA J. — 1983. — № 2. — P. 33—39.
3. **Емков А. А.** Методы борьбы с отложениями неорганических солей в оборудовании подготовки нефти. — М.: ВНИИОЭНГ, 1988. — 50 с.
4. **Дятлова Н. М., Темкина В. Я., Попов К. И.** Комплексоны и комплексонаты металлов. Учеб. — М: Химия, 1988. — 554 с.
5. **Гомеля Н. Д., Носачева Ю. В.** Разработка ингибиторов отложения осадков для обеспечения ресурсосбережения в системах водопотребления // Экотехнологии и ресурсосбережение. — 2004. — № 5. — С. 29—32.

УДК 502.3:621.311.23

**О. В. Маслеева**, канд. техн. наук, доц., **Т. И. Курагина**, канд. техн. наук, доц., **О. Ю. Малафеев**, асп., **Г. В. Пачурин**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексева, г. Нижний Новгород  
E-mail: ovm1552@yandex.ru

## Резервы энергосбережения в системах освещения образовательных учреждений

*Рассмотрены результаты энергетических обследований образовательных учреждений и даны рекомендации по внедрению энергосберегающих мероприятий в системах освещения и снижению уровня загрязнения атмосферного воздуха.*

**Ключевые слова:** энергоаудит, образовательное учреждение, энергосбережение, выбросы загрязняющих веществ, парниковые газы

**Masleeva O. V., Kuragina T. I., Malafeev O. Yu., Pachurin G. V. Reserves of Energy Saving Lighting Systems of Educational Institutions**

*The results of energy audits of educational institutions and recommendations for the implementation of energy saving measures in lighting systems and the reduction of air pollution.*

**Keywords:** energy audit, educational institution, energy conservation, emissions, greenhouse gases



В пояснительной записке к проекту государственной программы "Энергосбережение в РФ на 2010—2020 годы" потенциал энергосбережения в бюджетной сфере определен в размере 38 % от существующего уровня потребления. Среди государственных учреждений России крупнейшими потребителями электроэнергии являются образовательные учреждения (ОУ): высшие учебные заведения (ВУЗы), средние специальные учебные заведения ССУЗы, общеобразовательные учреждения (ООУ), дошкольные учреждения (ДОУ) и т. д. [1, 2].

Результаты энергоаудитов ОУ, проведенных сотрудниками Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева и научно-исследовательского центра энергосбережения (НИЦЭ), позволили определить основные направления экономии электрической энергии в ОУ: экономия электрической энергии в системах освещения, силовых электроприемниках, котельных, снижение потерь электрической энергии, оснащение ОУ системами энергетического мониторинга.

Энергетические обследования большой группы образовательных учреждений в различных регионах России и построенные на их основе балансы электрической энергии показали, что расход на освещение является определяющим в общем потреблении электроэнергии и находится в пределах:

- высшие профессиональные образовательные учреждения (ВУЗы) 30...50 %;
- средние специальные профессиональные образовательные учреждения (ССУЗы) 22...30 %;
- общеобразовательные учреждения (ООУ) 45...50 %;
- дошкольные образовательные учреждения (ДОУ) 16...30 %.

Установлено, что в системах освещения ОУ имеются большие резервы экономии электроэнергии, так как в них применяются в большой доле лампы накаливания (до 20 % в учебных корпусах и до 70 % в общежитиях), старые конструкции люминесцентных светильников и люминесцентных ламп стандарта Т12 с мощностью ламп 20, 40 и 65 Вт. Кроме того, в настоящее время в ОУ в большом количестве применяются электромагнитные пускорегулирующие аппараты (ПРА), которые имеют большие потери.

Радикальным способом повышения энергоэффективности систем освещения была бы коренная реконструкция, связанная с полной заменой всех ПРА, светильников и ламп. В табл. 1 приведены сравнительные характеристики различных источников света [3].

В связи с тем, что образовательные учреждения часто имеют ограниченные средства, предлагают-

Таблица 1

Характеристики источников света

Тип источников света	Светоотдача, лм/Вт	Срок службы, ч
Лампы накаливания	10...15	1000
Стандартные люминесцентные лампы низкого давления (стандарт Т12)	60...80	8000
Люминесцентные лампы низкого давления (стандарт Т8)	80...95	16 000
Сверхтонкие люминесцентные лампы низкого давления (стандарт Т5)	95...105	16 000
Компактные люминесцентные лампы низкого давления	60...70	9000
Светодиодные лампы	До 200	До 50 000

ся различные варианты модернизации системы освещения.

1. Необходимо заменить лампы накаливания (ЛН) на компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Основными причинами замены ламп накаливания являются низкая светоотдача и малый срок службы. Потенциал годовой экономии, рассчитанный с учетом технических характеристик ламп [4], составляет 70...80 %.

2. Предлагается вместо люминесцентных ламп (ЛЛ) стандарта Т12 предусмотреть лампы стандарта Т8. Стандартные люминесцентные лампы Т8 выпускаются с широким спектром индивидуальных цветов. При одинаковых фотометрических параметрах с лампами стандарта Т12 экономия электроэнергии составляет 15...20 %.

3. Замена электромагнитных ПРА на электронные. Применение электронных ПРА позволит значительно уменьшить потери мощности, увеличить световую отдачу и тем самым снизить установленную мощность ОУ, улучшив при этом качественные характеристики света. Замена ЛЛ стандарта Т12 на ЛЛ стандарта Т8 и электромагнитных ПРА на электронные имеет потенциал годовой экономии электроэнергии 35...40 %.

4. Замена светильников старого типа с ЛЛ стандарта Т12 на новые светильники с зеркальными отражателями и ЛЛ стандарта Т5. Лампы линейные Т5 — новое поколение тонких (диаметром всего 16 мм) ламп с узкополосным трехкомпонентным люминофором. Они несколько короче стандартных люминесцентных ламп (примерно на 50 мм). На изготовление такой лампы расходуется на 38 % меньше стекла, а следовательно, и люминофора, чем на производство стандартной лампы Т8 с эквивалентными параметрами. К основным преимуществам лампы Т5 перед обычной Т8 относятся: более высокая световая отдача; экономия электроэнергии 35...40 %; повышенный срок службы (до 20 000 ч); спад светового потока не более 5 % после 10 000 ч горения; уменьшенные

Таблица 2  
Среднее потребление электрической энергии ОУ России

Вид ОУ	Количество ОУ	Среднее потребление одним ОУ, тыс. кВт·ч	
		ЛН	ЛЛ
ДОУ	45 100	12,917	6,736
СОШ	48 800	10,735	18,685
ССУЗ	4942	28,000	141,000
ВУЗ	653	548,410	629,350

габаритные размеры. Кроме всего перечисленного, лампы Т5 содержат меньшее количество ртути — 3...5 мг. Как следствие, к числу достоинств таких ламп добавляются большая экологичность и меньшая стоимость утилизации.

5. Замена светильников с ЛЛ стандарта Т12 на светильники со светодиодными лампами. В последние годы во многих странах активно ведется работа по разработке новых источников света — светодиодов. Их назначение — полная замена ламп накаливания и люминесцентных ламп. Основные свойства светодиодных источников света, которые в ближайшем будущем сделают их самыми экономичными по сравнению с другими источниками света: высокая световая отдача; малые габариты; высокая долговечность; отсутствие пульсаций светового потока; возможность получения излучения различного спектрального состава; высокая степень управляемости. Потенциал годовой экономии электроэнергии 65...75 %.

Вариант модернизации системы освещения образовательное учреждение выбирает исходя из количе-

ства денег, выделенных на мероприятия по энергосбережению, и состояния системы освещения.

В ходе энергетических обследований были определены величины среднего потребления электрической энергии различными ОУ по направлениям использования, в том числе для системы освещения с лампами накаливания и газоразрядными лампами [1, 2]. Полученные значения среднего потребления электрической энергии различными ОУ приведены в табл. 2.

Исходя из величин среднего потребления электрической энергии различными ОУ и для минимального потенциала годовой экономии при реконструкции системы освещения, была рассчитана возможная экономия электрической энергии.

Годовую экономию электроэнергии в системах освещения ОУ можно определить по выражению:

$$W_{г.э.о} = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^f W_{г.э.Оик},$$

где  $W_{г.э.Оик}$  — годовая экономия электрической энергии в  $i$ -м помещении, от внедрения  $k$ -го мероприятия;  $n$  — число помещений в ОУ;  $f$  — число предлагаемых мероприятий по экономии электроэнергии для  $i$ -го помещения.

В табл. 3 приведены данные по экономии электрической энергии при замене ламп в среднем для одного ОУ и по стране в целом.

Таким образом, результаты расчетов показывают, что реконструкция системы освещения в ОУ России позволит снизить потребление электрической энергии в системах освещения ОУ на 60...70 % и получить годовую экономию электрической энергии в размере до 2,6 млрд кВт·ч.

Таблица 3  
Экономия электрической энергии при замене ламп для ОУ России

№ п.п.	Наименование мероприятия	Единицы измерения	Экономия электрической энергии по видам ОУ			
			ДОУ	ООУ	ССУЗ	ВУЗ
1	Замена ЛН на КЛЛ: для одного ОУ в целом по стране	тыс. кВт·ч	9,0	7,5	19,6	383,9
		млн кВт·ч	407,7	366,7	96,9	250,7
2	Замена ЛЛ стандарта Т12 на ЛЛ стандарта Т8: для одного ОУ в целом по стране	тыс. кВт·ч	1,0	2,8	21,2	94,4
		млн кВт·ч	45,6	136,8	104,5	61,6
3	Замена ЛЛ стандарта Т12 на ЛЛ стандарта Т8 и электромагнитных ПРА на электронные ПРА: для одного ОУ в целом по стране	тыс. кВт·ч	2,4	6,5	49,4	220,3
		млн кВт·ч	106,3	319,1	243,9	143,8
4	Замена светильников с ЛЛ стандарта Т12 на светильники с ЛЛ стандарта Т5: для одного ОУ в целом по стране	тыс. кВт·ч	3,4	9,3	70,5	314,7
		млн кВт·ч	151,9	455,9	348,4	205,5
5	Замена светильников с ЛЛ стандарта Т12 на светодиодные светильники для одного ОУ в целом по стране	тыс. кВт·ч	4,4	12,1	91,7	409,1
		млн кВт·ч	197,4	592,7	452,9	267,1



Таблица 4

**Сроки окупаемости мероприятий по реконструкции системы освещения ОУ**

№ п.п.	Наименование мероприятия	Срок окупаемости, лет
1	Замена ЛН на КЛЛ	0,1...0,5
2	Замена ЛЛ стандарта Т12 мощностью 20, 40, 65 Вт на ЛЛ стандарта Т8 (TL-D Eco) мощностью 16, 32, 51 Вт	1,6
3	Замена ЛЛ стандарта Т12 мощностью 20, 40, 65 Вт на ЛЛ стандарта Т8 (TL-D PSS) мощностью 16, 32, 51 Вт и электромагнитных ПРА на электронные	1,7
4	Замена люминесцентных светильников с ЛЛ стандарта Т12 на светильники с ЛЛ стандарта Т5 с зеркальными растрами	5...7
5	Замена светильников с ЛЛ стандарта Т12 на светодиодные светильники	10...12

В табл. 4 приведены данные о примерных сроках окупаемости рекомендованных мероприятий по энергосбережению.

Расчеты подтвердили экономическую целесообразность предложенной схемы энергосбережения в системах освещения образовательных учреждений.

Известно, что современная энергетика основана в основном на использовании невозобновляемых видов топлива. Поэтому рациональное использование природных ресурсов, повышение эффективности потребления энергии, развитие возобновляемых источников энергии может обеспечить потребности человечества в энергии и устойчивое развитие в глобальном масштабе. Выгоды от мероприятий по энергосбережению для окружающей среды очевидны: снижение потребления энергии приводит не только к экономии природных ресурсов, но и к сокращению выбросов загрязняющих веществ.

Сжигание топлива — не только основной источник энергии, но и важнейший поставщик в природную среду загрязняющих веществ. Высокое содержание в атмосферном воздухе различных загрязнителей неблагоприятно сказывается на всем комплексе живой природы. Отрицательное влияние загрязнения атмосферы выражается в ухудшении здоровья людей и животных, снижении урожайности сельскохозяйственных культур и продуктивности животных. Воздействию вредных веществ подвержены лесные угодья. Загрязнение атмосферы влияет на коррозионные процессы строительных конструкций, ускорение износа зданий и оборудования.

В процессе сжигания топлива (уголь, мазут, газ) образуются CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, пыль. Оксиды азота и серы разрушают хлорофилл растений, повреждают листья и хвою. По данным Всемирной

организации здравоохранения при концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе 0,08 мг/м<sup>3</sup> люди ощущают дискомфорт. При дальнейшем увеличении содержания SO<sub>2</sub> до 0,25...0,5 мг/м<sup>3</sup> наблюдается ухудшение состояния больных с легочными заболеваниями. Поступающий в атмосферу диоксид серы, взаимодействуя с влагой воздуха, образует серную кислоту. Оксиды азота, поглощая естественную солнечную радиацию, снижают прозрачность атмосферы и способствуют образованию фотохимического смога. Диоксид азота оказывает раздражающее действие на дыхательные пути и слизистую оболочку глаза. Оксид углерода изменяет состав крови (вытесняет молекулы кислорода в гемоглобине), приводит к нарушению нервной системы. Метан CH<sub>4</sub> не относится к токсическим веществам, но имеются сведения о его возможном действии на центральную нервную систему. Кроме того, это вещество относится к парниковым газам. В выбросах угольных ТЭС дополнительно содержатся окислы кремния и алюминия. Эти абразивные материалы способны разрушать легочную ткань и вызывать такое заболевание, как силикоз.

Предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу, и их санитарно-гигиенические характеристики приняты согласно ГН 2.1.6.1338—03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест" (табл. 5).

Для экологической оценки результата реконструкции системы освещения были проведены расчеты сокращения загрязнения атмосферного воздуха выбросами, образующимися при сжигании органического топлива, и парниковыми газами с учетом экономии электрической энергии по видам ОУ. В качестве примера приведен расчет для максимальной величины экономии электрической энергии, которая может быть получена при замене ламп накаливания на компактные люминесцентные лампы и замене светильников с люминесцент-

Таблица 5

**Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест**

Наименование вещества	Формула	ПДК, мг/м <sup>3</sup>		Класс опасности
		максимально-разовая	средне-суточная	
Азота диоксид	NO <sub>2</sub>	0,2	0,04	2
Азот (II) оксид	NO	0,4	0,06	3
Сера диоксид	SO <sub>2</sub>	0,5	0,05	3
Углерод	C	0,15	0,05	3
Углерод оксид	CO	5	3	4

Таблица 6

**Удельные выбросы вредных веществ, образующихся в процессе сжигания топлива**

Вредные вещества	Удельные выбросы, г/кВт·ч
Твердые частицы	1,54
Диоксид серы	2,26
NO <sub>2</sub>	1,06
NO	0,17
CO	0,85

ными лампами стандарта T12 на светодиодные светильники.

В табл. 6 приведены средние значения удельных выбросов вредных веществ, образующих в процессе сжигания топлива на ТЭС. Исходя из экономии электрической энергии (см. табл. 3), были рассчитаны величины снижения выбросов вредных веществ по видам ОУ для пяти вредных веществ. Результаты расчета сведены в табл. 7.

Проведение модернизации системы освещения приводит к снижению уровня эмиссии парниковых газов. К парниковым газам, образующимся при сжигании топлива, относятся углекислый газ, закись азота, метан.

При оценке эмиссий парниковых газов в качестве расчетной методики использовались "Пересмотренные руководящие принципы проведения национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 1996 года". В результате проведенной сотрудниками НИЦЭ работы по инвентаризации парниковых газов в Нижегородской области были

Таблица 7

**Снижение выбросов вредных веществ по видам ОУ**

Наименование мероприятия	Снижение выбросов вредных веществ по видам ОУ, т/год			
	ДОУ	СОШ	ССУЗ	ВУЗ
Замена ЛН на КЛЛ				
• Твердые частицы	628	565	149	386
• SO <sub>2</sub>	921	829	219	567
• NO <sub>2</sub>	432	389	103	266
• NO	69	62	16	43
• CO	347	312	82	213
Замена светильников с ЛЛ стандарта T12 на светодиодные светильники				
• Твердые частицы	304	913	697	411
• SO <sub>2</sub>	446	1340	1024	604
• NO <sub>2</sub>	209	628	480	283
• NO	34	101	77	45
• CO	168	504	385	227

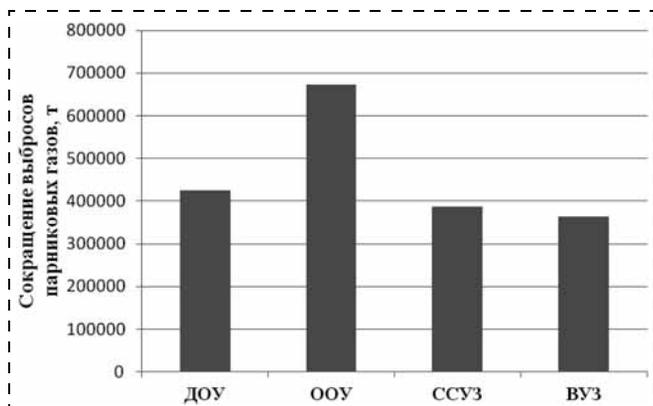
получены средние удельные показатели образования парниковых газов при производстве одного кВт·ч электроэнергии. Парниковые газы по силе своего воздействия неодинаковы, поэтому для подсчета их влияния на атмосферу введены специальные коэффициенты — потенциал глобального потепления. Это параметр, численно определяющий радиационное (разогревающее) воздействие молекулы определенного парникового газа относительно молекулы CO<sub>2</sub>.

Расчеты были выполнены для углекислого газа, закиси азота, метана для четырех видов образова-

Таблица 8

**Расчет сокращения выбросов парниковых газов за счет экономии электроэнергии при модернизации системы освещения**

Вид ОУ	Экономия электроэнергии, млн кВт·ч	Парниковые газы	Коэффициент эмиссии, г/кВт·ч	Эмиссия, т	Потенциал глобального потепления	Фактические эмиссии в пересчете на CO <sub>2</sub> экв, т CO <sub>2</sub>
ДОУ	605,1	CO <sub>2</sub>	700	423 570	1	423 570
		N <sub>2</sub> O	0,0051	3,1	310	957
		CH <sub>4</sub>	0,0334	20,2	21	424
		Всего				
СОШ	959,4	CO <sub>2</sub>	700	671 580	1	671 580
		N <sub>2</sub> O	0,0051	4,9	310	1517
		CH <sub>4</sub>	0,0334	32,0	21	673
		Всего				
ССУЗ	549,8	CO <sub>2</sub>	700	384 860	1	384 860
		N <sub>2</sub> O	0,0051	2,8	310	869
		CH <sub>4</sub>	0,0334	18,4	21	386
		Всего				
ВУЗ	517,8	CO <sub>2</sub>	700	362 460	1	362 460
		N <sub>2</sub> O	0,0051	2,6	310	819
		CH <sub>4</sub>	0,0334	17,3	21	363
		Всего				
<b>Всего</b>						<b>1 848 478</b>



Уменьшение выбросов парниковых газов в образовательных учреждениях после реконструкции системы освещения

тельных учреждений, также была рассчитана эмиссия парниковых газов с учетом потенциала глобального потепления [5] (табл. 8). На рисунке показано, насколько возможно уменьшение выбросов парниковых газов в образовательных учреждениях страны при реконструкции системы освещения.

### Выводы

Внедрение мероприятий по энергосбережению в системе освещения образовательных учреждений приведет к сокращению выбросов вредных веществ и парниковых газов. При этом основной ре-

зерв сокращения выбросов приходится на общеобразовательные учреждения.

Сокращение выбросов приведет к снижению концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе, а также к снижению платы за загрязнение окружающей среды.

Объем парниковых газов, который возможно сократить в результате модернизации системы освещения, можно продать, участвуя в торговле углеродными квотами на международной бирже. Полученные деньги могут быть использованы для компенсации затрат по модернизации системы освещения и внедрения более дорогостоящих энергосберегающих мероприятий в образовательных учреждениях.

### Список литературы

1. Вагин Г. Я., Дудникова Л. В. Исследование эффективности использования энергоносителей в образовательных учреждениях // Энергобезопасность и энергосбережение. — 2010. — № 6. — С. 12—14.
2. Теория и практика энергосбережения в образовательных учреждениях: справочно-методическое пособие / Г. Я. Вагин, Л. В. Дудникова, Е. А. Зенютич и др. — Н. Новгород: НГТУ, НИЦЭ, 2006. — 188 с.
3. Гуляев В. А. Обзор рынка LED // Полупроводниковая светотехника. — 2010. — № 5. — С. 11—14.
4. Варнавский Б. П., Колесников А. И., Федоров М. Н. Энергоаудит объектов коммунального хозяйства и промышленных предприятий: Учебное пособие. — М.: МИКХ и С, 1998. — 98 с.
5. Маслеева О. В. Экологические и экономические выгоды модернизации освещения образовательных учреждений // Энергоэффективность. — 2011. — № 3—4. — С. 57—58.

## Двенадцатая международная конференция РЕСУРСОВОСПРОИЗВОДЯЩИЕ, МАЛООТХОДНЫЕ И ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ НЕДР

16—20 сентября 2013 г.  
Университет Занджана,  
Табриз роуд 5 км, г. Занджан, Иран

### Темы конференции

1. Ресурсовоспроизводящие технологии освоения недр и формирования техногенных месторождений
2. Природоохранные технологии освоения месторождений полезных ископаемых
3. Комплексное использование недр и минерального сырья
4. Геоэкология; захоронение и преобразование жидких отходов в литосфере
5. Программное обеспечение для моделирования технологических процессов поиска и разработки месторождений полезных ископаемых
6. Поисково-разведочные работы на нефтегазовых площадях

### Контакты

#### Сопредседатель оргкомитета конференции

д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой Нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела  
Российского университета дружбы народов **Воробьев Александр Егорович**  
Тел./факс (495) 952-63-53, (495) 360-84-65  
E-mail: fogel\_al@mail.ru

УДК 654.9

**А. В. Лукьянович**, начальник научно-исследовательского отдела,  
**Р. А. Дурнев**, д-р техн. наук, доц., зам. начальника, ВНИИ ГОЧС (ФЦ),  
**А. С. Котосонова**, студент, МАТИ—РГТУ им. К. Э. Циолковского  
E-mail: rdurnev@rambler.ru

## Оповещение населения при чрезвычайных ситуациях: задача обоснования параметров текстовых сообщений

*В первой статье этой серии установлены преимущества и недостатки способа оповещения населения при чрезвычайных ситуациях с использованием текстовых сообщений сотовой связи. Приведена формулировка научной задачи по обоснованию рациональных параметров текстовых сообщений, дана характеристика данных параметров и рассмотрены факторы, влияющие на них.*

**Ключевые слова:** оповещение при чрезвычайных ситуациях, поражающие факторы, сотовая связь, текстовые сообщения, восприятие текстовых сообщений, действия при чрезвычайных ситуациях, риск поражения, управляющие, контролируемые и неопределенные факторы.

**Lukyanovich A. V., Durnev R. A., Kotosonova A. S. The Population Notification at Emergency Situations: Problem of Justification of Parameters of Text Messages**

*In the first article of this series advantages and shortcomings of a way of the notification of the population are established at emergency situations with use of text messages of cellular communication. The formulation of a scientific task of justification of rational parameters of text messages is provided, the characteristic of these parameters is given and the factors influencing them are considered.*

**Keywords:** the notification at the emergency situations, striking factors, cellular communication, text messages, perception of text messages, actions at emergency situations, risk of defeat, managing directors, controlled and uncertain factors

### Оценка возможностей оповещения населения с использованием сотовой связи

Анализ показывает, что одним из возможных путей оповещения населения об угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС) является использование технологий сотовой связи, в том числе с применением услуг рассылки текстовых сообщений.

Преимуществом применения данных услуг в указанных целях является, во-первых, сокращение

времени оповещения. Текстовое сообщение на сотовый телефон приходит практически мгновенно и сразу же становится доступно для абонента. Стандартный же цикл действий населения при оповещении включает много отдельных операций и требует значительных временных затрат. Например, услышав сигнал оповещения (звук сирены, для приведения в действие которой также необходимы затраты времени), нужно включить радиоприемник или телевизор, найти требуемый канал (не все спутниковые, местные, кабельные и другие каналы будут передавать предупреждающую информацию) и принять информацию о правилах поведения, действиях по защите при ЧС.

Во-вторых, преимуществом является и более адресный характер оповещения с помощью технологической сотовой связи. Информация о границах зоны ЧС, характере распространения поражающих факторов (ПФ), их источников позволяет с точностью "до соты" определить территорию охвата населения оповещением, ввести градации территорий оповещения (ближе к очагу поражения — только самая необходимая информация по защите и спасению, дальше — более обширные сведения о правилах поведения при распространении ПФ) (рис. 1).

В-третьих, это широкий охват населения. Большинство существующих технических средств оповещения морально устарело, их технический износ составляет значительный уровень [1]. Более 50 % средств нуждается в реконструкции, количество неработоспособных средств оповещения составляет около 85 %, число бытовых радиоточек для оповещения за последнее десятилетие сократилось в несколько раз. Несмотря на предпринимаемые в последнее время серьезные меры [2], охват населения традиционными средствами оповещения находится пока еще на очень низком уровне. В то же время средства сотовой связи получили распространение практически у всего населения нашей страны.

И, наконец, четвертое преимущество связано с простотой восприятия предупреждающей информации. В традиционном процессе оповещения задействовано множество технических средств, не-



Рис. 1. Территории зон оповещения с точки зрения воздействия ПФ источника ЧС

которые из которых не несут функции непосредственного доведения сведений о правилах поведения в условиях опасности. Например, прерывистый звук сирены является достаточно абстрактным сигналом (знаком). У большинства людей он вызывает чувство тревоги и не всегда ассоциируется с необходимостью приема дополнительной информации с использованием средств теле- и радиовещания.

Другие средства хотя и предназначены для непосредственной передачи такой информации, но эффективность восприятия информации с помощью них также недостаточна. Так, сообщения диктора телевидения воспринимаются в основном на слух, в виде звуковой информации. В то же время известно, что текстовая информация гораздо лучше усваивается людьми, что способствует ее анализу, длительному запоминанию и т. п. [3–5]. Не случайно, многие люди, принимая звуковую информацию, стараются перевести ее в текстовую форму (например, записи служебных совещаний, конспекты лекций и т. п.).

Конечно же у способа оповещения населения с помощью текстовых сообщений сотовой связи есть и определенные недостатки. Это и сложности их восприятия людьми пожилого возраста, и трудности в привлечении к ним внимания в ночное время, и их ограниченный объем, и возможность их несанкционированной рассылки и др. Но, несмотря на это, при развитой системе обучения населения основным способом приема предупреждающей информации и в комплексе с другими способами оповещения использование таких сообщений может иметь высокую эффективность.

Все текстовые сообщения сотовой связи реализуются с помощью таких сервисов, как SMS, Live Screen, Cell Broadcast и др. С точки зрения оповеще-

ния принципиальные технические отличия в реализации данных сервисов заключаются в следующем.

Стандартное сообщение сервиса SMS рассылается адресно каждому абоненту сотовой связи с использованием его персонального номера. Рассылка осуществляется по тому же каналу сотовой сети, что и телефонные звонки. Это в ряде случаев может ограничивать охват населения в определенный период времени (например, на начальном этапе развития ЧС, в рамках которого абоненты активно пользуются голосовой сотовой связью). Кроме того, пропускная способность самих операторских SMS-центров редко превышает одну тысячу сообщений в секунду [6]. Но даже у федеральных операторов сотовой связи в городах количество данных центров незначительное. Поэтому темп оповещения населения при ЧС может быть недопустимо низким.

Преимуществом текстовых сообщений о правилах безопасного поведения формата SMS является то, что оно хранится в памяти сотового телефона и к нему можно, при необходимости, неоднократно обращаться.

В то же время услуги Live Screen и Cell Broadcast используют не номер абонента, а определенную географическую локацию — соту или группу сот. При этом такие сообщения рассылаются практически мгновенно всем абонентам, находящимся в данной локации, и не загружают основные каналы сотовой связи. Само сообщение отображается на экране телефона и после окончания трансляции исчезает с экрана. Только некоторые модели телефонов поддерживают функцию их дальнейшего хранения и просмотра. К недостаткам данных услуг можно отнести слабую их распространенность в нашей стране и возможность получения информации только при работающем в данный момент телефоне и некоторые другие.

Следует отметить, что для всех рассмотренных сервисов определенные недостатки текстовых сообщений с точки зрения использования в процессе оповещения связаны с их ограниченным объемом. Так, на примере SMS, одно сообщение содержит до 140 байт алфавитно-цифровой информации [7]. При использовании 7-битной кодировки (латинский алфавит и цифры) можно отправлять сообщения длиной до 160 символов, 8-битной (немецкой, французской) — до 140 символов. Для поддержки других национальных алфавитов (русского, китайского, арабского и др.) используется 16-битная кодировка. В связи с этим текст сообщения, написанный кириллицей, не может превышать 70 знаков, что в значительной степени ограничивает описание сложившейся ЧС и выдачу рекомендаций по защите.

Выходом из данного положения является сегментирование сообщений. Но при этом часто в те-

лефонах вводится ограничение на количество сегментов в сообщении [7]. Телефоны, которые не поддерживают сегментирование, отображают каждый сегмент как отдельное сообщение. Это также накладывает определенные трудности на использование услуг SMS для оповещения населения. Например, при получении и восприятии первого сегмента сообщения, в котором приводятся только параметры произошедшей ЧС, у абонента может возникнуть тревожное состояние или даже паника, которая воспрепятствует прочтению следующих сегментов с информацией о порядке действий при опасности.

### **Анализ опыта оповещения населения с использованием текстовых сообщений**

Опыт использования текстовых сообщений сотовой связи для оповещения населения связан в основном с рассылкой предупреждающей информации в процессе проведения учений в области защиты от ЧС. При этом оценивался только охват населения и время доведения сообщения. Характер восприятия полученной информации, правильности последующих действий не анализировался.

В условиях реальной ЧС оповещение населения с использованием сотовой связи проводилось в ходе предупреждения и ликвидации ЧС в Краснодарском крае в июле 2012 г. [8]. Заблаговременно, до развития наводнения, проводилась рассылка текстового сообщения с предупреждением о возможной опасности, просьбой воздерживаться от поездок в определенных направлениях, призывом к внимательности и осторожности и информацией о телефоне горячей линии ГУ МЧС по Краснодарскому краю.

Непосредственно в период катастрофического наводнения в г. Крымске также проводилось оповещение жителей с помощью SMS, однако его эффективность была, к сожалению, крайне низкая. Это связано с тем, что данные сообщения рассылались ночью (около 2 часов), в период ночного отдыха. Кроме того, именно в это время вследствие высокого уровня воды эвакуация из собственных жилищ была уже значительно затруднена. И, наконец, аварийное отключение электроснабжения, в том числе базовых станций сотовой связи, значительно ограничило охват населения мероприятиями оповещения.

Кроме того, оповещение населения с использованием SMS осуществлялось в январе 2013 г. при возникновении и развитии крупной аварии на магистральном водопроводе в г. Костроме [9]. При этом сообщение с информацией о "понижении давления водоснабжения", "необходимости запасть питьевую воду" и "просьбой сохранять спо-

койствие" пришло через несколько часов после аварии. В связи с опозданием и потерей актуальности данное оповещение также было неэффективным.

Таким образом, анализ свидетельствует о целесообразности оповещения населения об угрозе и возникновении ЧС с помощью текстовых сообщений сотовой связи. В то же время причинами снижения эффективности данного способа оповещения являются следующие:

- несвоевременность оповещения населения — после развития ЧС, а также в ночное время. В последнем случае без установки специального звукового сигнала для привлечения внимания граждан к предупреждающему сообщению, а также в связи с отсутствием осознанного отношения к необходимости держать сотовый телефон во включенном состоянии в период угрозы ЧС, результативность такого оповещения будет близка к нулю;
- нерациональный охват населения — в некоторых ситуациях часть населения, которая подвергается воздействию ПФ источников ЧС, не оповещается. В ряде других — осуществляется доведение предупреждающей информации до людей, расположенных в местах, безопасных с точки зрения воздействия ПФ. Это, в свою очередь, вызывает у них чувство тревоги и паники;
- недостаточная приспособленность оборудования базовых станций к возможным сбоям электроснабжения в условиях ЧС, отсутствие резервных источников питания, дублирования каналов передачи сообщений и др.

Все перечисленные выше проблемы носят технический характер и, как показывает опыт, могут быть успешно решены с применением современных информационно-коммуникационных технологий. Более серьезные проблемы, как представляется, связаны с психофизиологическим и семантическим характером мотивации населения к приему текстовых сообщений, их правильного восприятия и осмысления, а также инициирования последующих действий по обеспечению собственной безопасности и безопасности окружающих людей. Очевидно, что как бы эффективна ни была техническая составляющая данного способа оповещения, без осознанной потребности воспринимать сотовый телефон не только как источник повседневной коммуникации, но и как средство оповещения, без выработки умений правильно воспринимать и реагировать на текстовые сообщения — действенность его будет невысокой. В связи с этим анализ психосемантической составляющей восприятия сообщений и действий в соответствии с их параметрами представляется актуальным.



## Анализ результатов предыдущих исследований

Для оценки отношения абонентов к мероприятиям по оповещению с использованием SMS, а также готовности к восприятию содержательных аспектов оповещения проводился социологический и экспертный опросы, результаты которого приведены в работе [6]. Их анализ свидетельствует о желании людей молодого возраста принимать информацию оповещения в виде текстовых сообщений сотовой связи. Для людей старшего возраста необходима мотивация к использованию данной услуги. Наибольшие сложности возникают в процессе восприятия и осмысления текстового сообщения и реализации последующих действий по обеспечению собственной безопасности и безопасности окружающих людей. В связи с этим необходимо проведение научных исследований структуры и содержания текстовых сообщений, психофизиологических и семантических аспектов их восприятия, а также обоснование параметров сообщений для реализации правильных действий по обеспечению безопасности.

Одним из первых исследований, посвященных этим вопросам, является научно-исследовательская работа [10]. В ней проведен анализ существующей базы текстовых сообщений для оповещения населения и обоснованы требования по разработке и доведению сообщений до населения в условиях ЧС.

В качестве общих отмечаются требования по логике и конкретности содержания, близости интересам потребителя, дозированию смысловых частей и др. В рамках социально-психологических требований указывается на необходимость исключения тревожных элементов и "неправильного стереотипа разрешения ситуации" [10]. Технические требования предусматривают обеспечение возможности оперативного внесения изменений в текстовое сообщение, соответствие сообщений характеристикам технических средств информирования и оповещения и т. п. Синтаксические требования предписывают использование кратких высказываний с простой грамматической структурой, с прямым порядком слов без многословных обстоятельственных оборотов и т. п.

Однако, к сожалению, эти требования носят в работе [10] описательный характер. В связи с этим не вполне понятен порядок их учета при разработке типовых текстовых сообщений. Не приведены рекомендации и примеры того, как эти требования должны влиять на структуру текста. Кроме того, отсутствует количественная оценка зависимости действий населения от содержания сообщения, удовлетворяющего этим требованиям.

В этом же отчете [10] приведен алгоритм составления текстовых сообщений. Однако у рассмотренного алгоритма, как представляется, такой же недостаток, как и у приведенных выше требований — избыточно общий, описательный характер. Содержание данного алгоритма тривиально и не позволяет определить такое содержание конкретного текстового сообщения с учетом исходных данных о ЧС, при котором эффективность последующих действий населения была бы максимальной.

Таким образом, результаты ранее проведенных исследований носят достаточно общий характер и не позволяют обосновать рациональное содержание текстовых сообщений сотовой связи для оповещения населения.

## Формулирование научной задачи по обоснованию рациональных параметров текстовых сообщений

Для формулирования соответствующей научной задачи необходимо рассмотреть процесс оповещения, как психологическую схему "стимул — рефлекс" или, что более правильно с точки зрения осознанности действий человека — "стимул — реакция". Под этим понимается поведение человека как совокупности ответов (реакций) на воздействие (стимулы) внешней среды. В качестве воздействий внешней среды принимаются текстовые сообщения с предупреждающей информацией, а под реакцией — действия человека при восприятии этих сообщений. Очевидно, что совершенствованием, улучшением параметров (с точки зрения объема информации, его смысла и т. д.) такого сообщения можно обеспечить повышение эффективности действий человека в ЧС, т. е. снизить риск его поражения. В связи с этим предварительное формулирование научной задачи может быть следующим: *обосновать такие параметры текстовых сообщений сотовой связи, при которых риск поражения оповещаемого населения будет минимальным.*

В качестве параметров сообщения предлагается рассмотреть некоторые из них, приведенные на рис. 2.

*Первый параметр* — объем текстового сообщения — выступает как ограничение по максимальному количеству алфавитно-цифровых символов. Это ограничение влияет на лаконичность сообщения, необходимость выделения в нем наиболее существенной информации. В определенной степени указанное ограничение смягчается с помощью услуги сегментирования сообщений. Но при этом, как отмечалось в отчете [1], для владельцев телефонов, у которых нет функции объединения сегментов в единое сообщение, особую трудность вызывает определение для них содержания именно первого сообщения. Его информация не должна, с одной

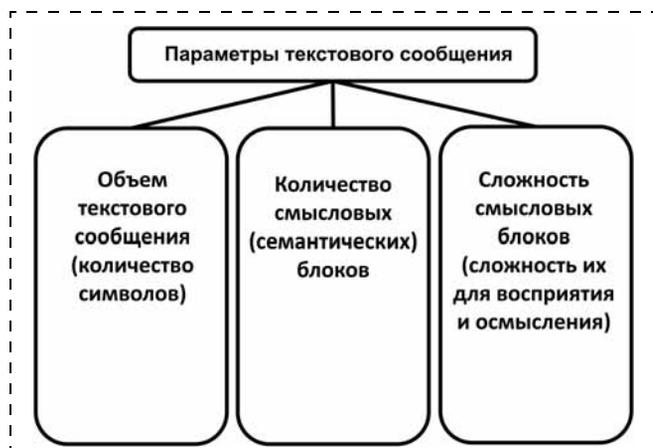


Рис. 2. Параметры текстового сообщения

стороны, иметь слишком тревожный характер, чтобы не вызвать панические эмоции, с другой — слишком общий, тривиальный, характер, во избежание потери интереса к последующей информации.

*Второй параметр* — количество смысловых блоков — определяет число относительно независимых частей информации об обстановке в зоне ЧС, рекомендациях по отдельным действиям, правилах поведения и т. п. С учетом этого смысловые блоки могут быть разделены на описательные (дескриптивные) и предписывающие (прескриптивные). Описательные блоки представлены на рис. 3.

Считается, что при наличии у человека достаточных знаний (или, по другому, базы знаний, включающей базу данных и базу правил) описательные блоки должны вызывать его определенную реакцию (действия). При этом, чем обширней и практичней данные знания, тем более полные и правильные действия должен совершать человек. Применительно к ЧС эти знания формируются в ходе обучения населения в области гражданской обороны (далее — ГО) и защиты от ЧС. При высоком качестве обучения в данной области достаточно только этих блоков текстовых сообщений для выполнения человеком правил безопасного поведения при ЧС. Характерный пример этому дает опыт Великой Отечественной войны. Так, сигнал "Воздушная тревога", подаваемый электросиреной при налете авиации противника, инициировал однозначно правильные действия мирного населения по укрытию в бомбоубежищах, занятию постов местной противовоздушной обороны (для тушения зажигательных бомб и т. п.) [11].



Рис. 3. Описательные блоки текстового сообщения

Однако в настоящее время качество обучения в области ГО и защиты от ЧС не находится на достаточно высоком уровне [12, 13] и представляется преждевременным говорить о сформировавшейся базе знаний. Поэтому только описательных блоков сообщений недостаточно для инициации правильных действий человека при ЧС.

Для этого необходимы предписывающие блоки (рис. 4), целью которых является регламентация действий. При этом также необходимо, чтобы человек обладал определенными знаниями на уровне, позволяющем понять и реализовать указанные предписания.

И, наконец, *третий параметр* сообщений — сложность смысловых блоков, их трудность для пра-



Рис. 4. Предписывающие блоки текстового сообщения (СИЗ — средство индивидуальной защиты; ЗСГО — защитное сооружение ГО)



вильного восприятия и осмысления — также связан со знаниями человека. Очевидно, что описательные блоки (см. рис. 3) для различных ЧС не будут сильно различаться с точки зрения их сложности. Однако предписывающие блоки (см. рис. 4) могут иметь значительные отличия, связанные, например, с трудностью реализации защитных мер.

Например, при угрозе землетрясений в текстовых сообщениях можно рекомендовать занять место в комнате в проеме капитальной стены, укрыться под прочным столом, в ванной и т. п. Несомненно, что это достаточно простые и легко реализуемые рекомендации. Большинство людей имеет представление о понятии "капитальная стена" и почти все люди — о понятиях "прочный стол", "ванная".

В то же время при угрозе и возникновении аварии, например, на химически опасном объекте рекомендации будут более обширными, сложными для понимания и реализации действий. Они могут включать в себя предписания "провести герметизацию помещения", "изготовить ватно-марлевую повязку и смочить ее 2 %-ным раствором соды" и т. п. Для проведения герметизации помещений нужно заклеить окна и форточки скотчем, завесить дверные проходы влажным одеялом, закрыть вентиляционные отверстия и т. п. Изготовление ватно-марлевой повязки (ВМП) также сопряжено с многочисленными операциями по подбору материала, изготовления ее по определенной форме и т. д. Даже рекомендация по смачиванию ВМП в 2 %-ном растворе соды может вызвать определенные сложности.

С учетом сказанного выше возможно следующим образом уточнить формулировку научной задачи: *обосновать объем, количество и сложность смысловых блоков текстовых сообщений сотовой связи, при которых риск поражения оповещаемого населения минимален.*

Таким образом, анализ в целом свидетельствует о целесообразности оповещения населения о ЧС с помощью текстовых сообщений сотовой связи. При этом основные проблемы данного способа оповещения связаны с психофизиологическим и семантическим характером их восприятия и инициирования последующих действий по защите в ЧС. В связи с достаточно общим характером ре-

зультатов ранее проведенных исследований сформулирована научная задача по обоснованию рациональных параметров текстовых сообщений сотовой связи для оповещения населения при ЧС.

В следующей статье на эту тему будет описан методический подход к ее решению.

#### Список литературы

1. **Заключительный отчет** о НИР "Разработка методологии информирования и оповещения населения в местах массового пребывания людей". — М.: Центр исследования экстремальных ситуаций, 2006.
2. **Приказ** МЧС России от 29.12.2012 г. № 834 "О создании межведомственной рабочей группы по координации работ при реализации Указа Президента Российской Федерации от 13 ноября 2012 г. № 1522 "О создании комплексной системы экстренного оповещения населения об угрозе возникновения или о возникновении чрезвычайных ситуаций".
3. **Спелов Д. А.** Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. — М.: Радио и связь, 1989.
4. **Психология** рекламного влияния. Как эффективно воздействовать на потребителя / Эрик дю Плесси. Пер. с англ. — СПб.: Питер, 2007.
5. **Кутляев А., Попов А.** Эффективность рекламы. — М.: "Экспо", 2005.
6. **Информационно-коммуникационные технологии** обеспечения безопасности жизнедеятельности / Под общ. ред. П. А. Попова. — М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), ООО "ИПП Куна", 2009.
7. **SMS.** Статья на электронном ресурсе "Википедия".
8. **Анализ** действий органов управления, сил и средств МЧС России, эффективности применяемых технологий предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, произошедшей в Краснодарском крае в июле 2012 года. — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012.
9. **Электронный ресурс** <http://news.mail.ru/inregions/center/44/incident/11544067>.
10. **Промежуточный отчет** о НИР "Совершенствование системы информирования и пропаганды населения в области гражданской защиты. Совершенствование способов воздействия на население в условиях ЧС" (пункт 3.1-5/Б плана НТД МЧС России на 2011—2013 годы). — М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2012.
11. **Соколов Ю. И.** Оповещение населения при чрезвычайных ситуациях. — М.: КРУК, 2001.
12. **Дурнев Р. А.** Обучение населения в области ГО и защиты от ЧС: анализ основных проблем // Военные знания. — 2005. — Вып. 4.
13. **Сидельников Ю. Н., Твердохлебов Н. В.** Проблемы формирования культуры безопасности жизнедеятельности и возможные пути их решения // Гражданская защита. — 2010. — Вып. 9.

**В. Н. Карцев**, д-р хим. наук, вед. спец.-эксперт, ООО "Техносферная безопасность", г. Саратов, **К. Е. Панкин**, канд. хим. наук, доц., Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, **А. Ф. Крылов**, канд. физ.-мат. наук, доц., Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: texmexium@mail.ru

## Возможно ли обустройство самоочищающихся от снега скатных крыш?

*Рассмотрены две модели процесса самоочищения скатных крыш от снега. Рассчитаны и представлены диаграммы состояния снега на скатных крышах с учетом сухого и вязкого трения. Показано, что идеально безопасными скатными крышами являются крыши с сухим трением скольжения, а крыши с вязким трением будут безопасными при малых порциях сбрасываемого снега. Сформулированы общие принципы обустройства таких крыш.*

**Ключевые слова:** физическая модель, сухое трение, вязкое трение, самоочищение крыш, наледь, снежный нанос

**Kartsev V. N., Pankin K. E., Krylov A. F.**  
*Is it Possible to Construct Roofs which Have Snowbank Self-Cleaning Regime?*

*In this article two models of snow pitched roofs self-cleaning regime were discussed. Diagrams of snow on pitched roofs with the dry and viscous friction were calculated and presented. It is shown that a perfectly safe sloping roofs are roofs with dry sliding friction and the roofs with viscous friction is safe in small amounts of snow dumped. The general principles of such type roofs construction were formulated.*

**Keywords:** physical model, dry friction, viscous friction, roof self-cleaning regime, frazil, snowbank

### Введение

В зимний период времени на территории Российской Федерации выпадает значительное количество осадков, часть которых оседает на крышах домов в виде снега, образуя снежный нанос. Прерывающаяся попеременно нагрев и охлаждение снежные наносы покрываются ледяной коркой и с течением времени могут превратиться в ледяные глыбы (наледь). Вес наледей, свисающих с крыш, достигает 100 кг и более, а общая масса снега, находящегося на крыше, значительно больше. Снежные наносы и ледяные глыбы являются предметом

беспокойства для жителей и работников коммунальных служб, так как они провоцируют различного рода чрезвычайные ситуации. Глобально-трагическими из них являются смерти и травмы людей, на которых упали с крыш наледь или большие массы снега; нередки случаи падения с крыш рабочих, осуществляющих очистку крыш от снега и наледей. Имеются и менее трагические "крышные" риски: частичное или полное обрушение крыш, не выдержавших веса снега, скопившегося на них; ремонт кровли, испорченной в процессе ее очистки, протекание испорченных крыш и, как следствие, затопление помещений; внутренний и внешний ремонт зданий с целью устранения последствий протекания кровли; восстановление оборудования, мебели, одежды и т. п., испорченных протекшей с крыш водой. Указанные чрезвычайные ситуации являются всероссийскими.

В настоящее время чаще всего используются следующие приемы борьбы со снежными наносами и наледями на крышах зданий и сооружений:

- обустройство плоских крыш с мягкой кровлей, не нуждающихся в очистке;
- организация механической очистки скатных крыш рабочими бригадами;
- использование нагрева кровельного материала тепловыми элементами на скатных крышах или воздействие на снежный нанос ультразвуковых волн, что препятствует накоплению на кровле снежной массы.

Однако перечисленные выше приемы предполагают борьбу с уже проявившимися факторами, в то время как одной из доминирующих задач безопасности жизнедеятельности является предотвращение проявления вредных и/или опасных факторов.

Масштабность "крышных" рисков заставляет задуматься над вопросом: "Можно ли скатные крыши обустроить так, чтобы они стали безопасными для жизни людей и не нарушали комфортность их жизнедеятельности?" "Крышные" риски относятся, с нашей точки зрения, к смешанному типу рисков — природно-техногенному. Физиче-



ские аспекты природных катастроф рассмотрены в монографии А. Е. Шейдеггера [1]. Техногенная составляющая "крышных" рисков имеет одну весьма характерную особенность: она позволяет управлять вероятностью их реализации. Это означает, что скатные крыши можно обустроить так, чтобы они стали безопасными для жизнедеятельности людей. В статье приводится обоснование этого утверждения [2].

### Диаграммы состояния снега на скатных крышах

Для того чтобы на крышах не накапливался снег, необходимо процесс очистки снега с крыш осуществлять своевременно и желательно сделать его самопроизвольным. Возможно ли это?

Наблюдения процессов оползания снега со скатных крыш позволяют заключить, что наиболее распространено оползание с участием двух видов сил трения: сухого трения скольжения и вязкого трения. Сухое трение скольжения возникает при поступательном перемещении одного тела по поверхности другого. Вязкое трение возникает в том случае, когда между твердыми поверхностями находится слой жидкости, выполняющей роль смазки [3].

Для решения задачи о самопроизвольном оползании снега со скатных крыш необходимо построить диаграммы состояния снежной массы, учитывая указанные силы трения.

На рис. 1 представлена графическая схема части ската крыши с углом наклона  $\alpha$ ; на крыше находится некоторая масса снега  $m$ , к центру масс которой приложены действующие силы: сила трения  $\bar{F}_{\text{тр}}$ , сила тяжести  $m\bar{g}$  и сила реакции крыши на силу давления со стороны снега  $\bar{N}$ .

Динамическое уравнение, описывающее движение (оползание) снега по крыше, имеет вид:

$$m\bar{g} + \bar{F}_{\text{тр}} + \bar{N} = m\bar{a}, \quad (1)$$

$\bar{a}$  — ускорение движения снежной массы.

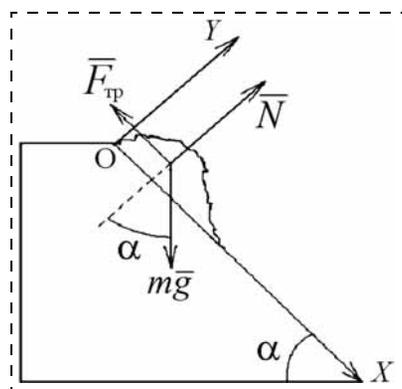


Рис. 1. Силы, приложенные к центру масс снежного наноса

Из рис. 1 видно, что сила, стремящаяся заставить снег оползнуть вниз по крыше (скатывающая сила),

$$\bar{F}_{\text{ск}} = (m\bar{g} \sin \alpha) \bar{i}, \quad (2)$$

где  $\bar{i}$  — орт-вектор оси  $x$ .

Этой силе противостоит сила трения.

При  $|\bar{F}_{\text{тр}}| > |\bar{F}_{\text{ск}}|$  или

$$|\bar{F}_{\text{ск}}|/|\bar{F}_{\text{тр}}| < 1 \quad (3)$$

снег будет лежать на крыше.

При  $|\bar{F}_{\text{тр}}| < |\bar{F}_{\text{ск}}|$  или

$$|\bar{F}_{\text{ск}}|/|\bar{F}_{\text{тр}}| > 1 \quad (4)$$

снег будет оползать (скатываться) по крыше.

Условие  $|\bar{F}_{\text{тр}}| = |\bar{F}_{\text{ск}}|$  или

$$|\bar{F}_{\text{ск}}|/|\bar{F}_{\text{тр}}| = 1 \quad (5)$$

выражает критическое состояние между состоянием покоя и состоянием движения.

Пусть сила трения, возникающая при движении некоторой массы снега, следует закону сухого трения скольжения Амонтона [3, 6]:

$$\bar{F}_{\text{тр}} = -\mu_c R_H \bar{v}, \quad (6)$$

где  $\mu_c$  — коэффициент сухого трения скольжения;  $R_H$  — модуль силы нормального давления, прижимающей трущиеся поверхности друг к другу;  $\bar{v}$  — орт-вектор коллинеарный вектору скорости  $\bar{v}$  и одинаково с ним направленный. По третьему закону Ньютона модули сил  $\bar{N}$  и  $\bar{R}_H$  равны. По этой причине:

$$R_H = m\bar{g} \cos \alpha. \quad (7)$$

Учитывая условия (2), (6) и (7) в неравенстве (4), получим условие скатывания снега с крыши:

$$(\text{tg} \alpha / \mu_c) > 1. \quad (8)$$

В этом случае уравнение, отражающее критическое состояние (5), примет вид:

$$\mu_c = \text{tg} \alpha_T, \quad (9)$$

где  $\alpha_T$  — угол трения, т. е. угол наклона скатной крыши, при превышении которого снег будет самопроизвольно скатываться с крыши.

Из выражений (8) и (9) следует, что как состояние движения, так и состояние покоя снега на крыше однозначно определяют только два взаимосвязанных параметра: угол наклона крыши  $\alpha$  и коэффициент сухого трения  $\mu_c$ . Это позволяет построить диаграмму состояния снега на крыше в координатах " $\alpha - \mu_c$ " (рис. 2). Кривая на рисунке



Рис. 2. Диаграмма состояния снега на скатной крыше при сухом трении скольжения

разделяет множество точек плоскости " $\alpha-\mu_c$ " на два класса (две области):

— при всех значениях  $\alpha$  и  $\mu_c$ , определяющих положение точек выше диаграммы состояния, снег будет лежать на крыше;

— при всех значениях  $\alpha$  и  $\mu_c$ , определяющих положение точек ниже диаграммы состояния, снег будет самопроизвольно сбрасываться с крыши.

Решая динамическое уравнение (1) с учетом выражения (6) при  $\alpha > \alpha_T$ , найдем модули ускорения и скорости движения снега по крыше:

$$a = g(\sin\alpha - \mu_c \cos\alpha), \quad (10)$$

$$v = g(\sin\alpha - \mu_c \cos\alpha)t, \quad (11)$$

где  $t$  — текущее время движения снега по крыше.

Из равенств (10) и (11) следует:

— движение снега будет равноускоренным (при заданных значениях  $\alpha$  и  $\mu_c$ );

— скорость и ускорение снега не зависят от его массы (снежинка падает на крышу и скатывается с нее).

Рассмотрим другую модель, в которой скатывающей силой противостоит сила вязкого (жидкого) трения [4—6], изменяющаяся по закону:

$$\bar{F}_{\text{тр}} = -\mu_B \bar{v}, \quad (12)$$

где  $\mu_B$  — коэффициент вязкого трения;  $\bar{v}$  — скорость оползания массы снега. В этом случае критическое состояние (5) определяет уравнение:

$$(m\bar{g}\sin\alpha/\mu_B v) = 1. \quad (13)$$

Условие сбрасывания снега с крыши (4) примет вид:

$$(m\bar{g}\sin\alpha/\mu_B v) > 1. \quad (14)$$

В выражениях (13) и (14) взаимосвязаны четыре параметра:  $m$ ,  $\alpha$ ,  $\mu_B$ ,  $v$  — три из которых могут быть

приняты как независимые. Это не позволяет построить двумерную диаграмму состояния снега на крыше. Но если угол наклона крыши спроектирован, то разумно задать массу снега, которая по проекту считается безопасной. При этом функционально зависимыми остаются  $v$  и  $\mu_B$ , а уравнение (13) примет вид обратно пропорциональной зависимости между этими переменными:

$$v = m\bar{g}\sin\alpha/\mu_B. \quad (15)$$

В этом случае диаграмма состояния снега на крыше представляется в координатах "коэффициент трения — скорость сбрасывания снега" (рис. 3).

Решая динамическое уравнение (1) при наличии сил вязкого трения (12), найдем скорость оползания снега и его ускорение:

$$v = \frac{m\bar{g}\sin\alpha}{\mu_B} - \frac{m\bar{g}\sin\alpha - \mu_B v_0}{\mu_B} \exp\left(-\frac{\mu_B}{m}t\right), \quad (16)$$

$$a = \frac{m\bar{g}\sin\alpha - \mu_B v_0}{m} \exp\left(-\frac{\mu_B}{m}t\right), \quad (17)$$

где  $v_0$  — скорость снега массы  $m$  в начальный момент времени (при  $t = 0$ ). При  $t \rightarrow \infty$  скорость и ускорение снега стремятся к своим асимптотическим значениям  $v_\infty$  и  $a_\infty$ :

$$v_\infty = \frac{m\bar{g}\sin\alpha}{\mu_B}; \quad (18)$$

$$a_\infty = 0. \quad (19)$$

При сравнении уравнений (15) и (18) видно, что асимптотическое значение скорости равно скорости на кривой диаграммы состояния (см. рис. 3). Уравнения (13)—(18) показывают, что при наличии сил вязкого трения диаграмма состояния и характеристики движения снега зависят от массы снега: рост массы снега облегчает его сбрасывание с крыши.

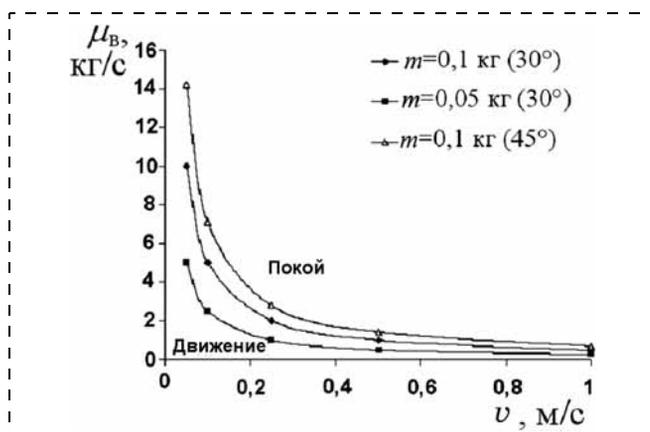


Рис. 3. Диаграмма состояния снега на скатной крыше при вязком трении



## Выводы

Создать безопасные самоочищающиеся от снега скатные крыши можно, соблюдая перечисленные ниже условия.

1. Идеальной безопасной крышей является крыша с сухим трением скольжения, так как в этом случае снег на крыше не накапливается, а скатывается по мере поступления — снежинка за снежинкой\*. Такой процесс сбрасывания снега с крыши не может сопровождаться чрезвычайной ситуацией. Для обеспечения процесса самосбрасывания снега при сухом трении необходимо коэффициент трения и угол наклона крыши согласовать так, чтобы попасть в область "движение" на диаграмме состояния (см. рис. 2). Это достигается: "правильной" геометрией крыши (выбором угла  $\alpha$ ), если задан коэффициент  $\mu_c$  материала покрытия крыши; подбором материала по-

\* Общеизвестным классическим примером реализации самоочищающихся скатных крыш с сухим трением являются маковки Православных храмов или остроконечные крыши готических зданий.

крытия крыши с определенным коэффициентом трения, если угол наклона крыши  $\alpha$  задан.

2. Крыши с вязким трением будут безопасными при малых порциях сбрасываемого снега. Приготовить безопасные порции снега, используя физические методы не представляет труда (например, с помощью ультразвуковых излучателей). Остается уменьшить  $\mu_v$  настолько, чтобы при заданных  $\alpha$  и  $m$  начался процесс самосбрасывания снега (см. рис. 3).

## Список литературы

1. Шейдеггер А. Е. Физические аспекты природных катастроф. — М.: Недра, 1981. — 232 с.
2. Карцев В. Н., Панкин К. Е., Крылов А. Ф., Каневец С. И. Безопасные, сбрасывающие снег крыши // Техногенная и природная безопасность: сборник научных трудов 1-ой Всероссийской научно-практической конференции 1–3 февраля 2011 г. — Саратов: ИЦ "Наука". — С. 183–186.
3. Яворский Б. М., Детлаф А. А. Справочник по физике для инженеров и студентов. — М.: Наука, 1977. — С. 54.
4. Кристи Р., Питти А. Строение вещества: Введение в современную физику. — М.: Наука, 1969. — С. 38.
5. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности. — М.: Высшая школа, 1986. — С. 199.
6. Савельев И. В. Курс общей физики. Т. 1. Механика, колебания и волны, молекулярная физика. — М.: Наука, 1970. — С. 65.

# ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 543.27

**В. А. Бузановский**, д-р техн. наук, ЗАО "Компания безопасность", г. Москва  
E-mail: vab1960@rambler.ru

## Наносенсоры взрывопожарной безопасности объектов добычи, транспортировки и использования природного газа

*Дан обзор разработанных наносенсоров метана. Проанализирована применимость этих устройств для обеспечения взрывопожарной безопасности объектов добычи, транспортировки и использования природного газа.*

**Ключевые слова:** наносенсор, метан, взрывопожарная безопасность, природный газ

**Buzanovskii V. A. Nanosensors of Fire-Explosion Safety of Objects of Mining, Transportation and Usage of Natural Gas**

*Developed nanosensors of methane are considered. The applicability of these devices to ensure fire-explosion safety of objects of mining, transportation and usage of natural gas is analyzed.*

**Keywords:** nanosensor, methane, fire-explosion safety, natural gas

Основным компонентом природного газа является метан. В зависимости от месторождения содержание этого углеводородного соединения может составлять от 92 до 98 %. Помимо метана в составе природного газа обычно присутствуют его гомологи — этан, пропан, н-бутан, изобутан, а также не углеводородные соединения — водород, сероводород, диоксид углерода, азот, гелий, пары воды.

Добыча природного газа сопровождается первичной очисткой от механических примесей, удалением влаги, сероводорода, иногда извлечением гелия, серы. Далее природный газ под давлением ~7,5 МПа поступает в магистральный трубопровод, по которому посредством компрессорных станций направляется:

- к конечным потребителям (химическим комбинатам, теплоэлектростанциям, теплоэлектроцентралям, котельным, городским газовым сетям и т. д.);
- на завод по производству сжиженного природного газа для последующей транспортировки в жидком состоянии, регазификации и дальнейшей транспортировки по магистральному трубопроводу на объект потребителя.

Добыча, транспортировка и использование природного газа неразрывно связаны с вопросами обеспечения взрывопожарной безопасности. Потенциальная опасность возникает в результате утечек из эксплуатируемого оборудования и образования взрывопожароопасных смесей с воздухом. Нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени в смеси природного газа и воздуха соответствуют 5 и 15 %, а температура самовоспламенения этой смеси — 650 °С. Для организации органолептического контроля утечек к природному газу добавляют одорант (обычно этантиол). Однако в ряде случаев органолептический контроль не обеспечивает требуемый уровень безопасности и необходимо применять автоматические непрерывно действующие измерительные устройства.

Так как метан является основным компонентом природного газа, то в качестве таких устройств целесообразно использовать измерительные преобразователи концентрации метана в воздухе. Отметим, что нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени в смеси метана и воздуха составляют 4,4 и 17 %, а температура самовоспламенения — 537 °С.

Указанные характеристики отличаются от соответствующих показателей смеси природного газа с воздухом, но ориентация на них обуславливает гарантированное отсутствие возможности возникновения взрывопожароопасной ситуации (нижний и верхний концентрационные пределы распространения пламени в смеси метана и воздуха в пересчете на смесь природного газа с воздухом соответствуют ~4,5...4,8 % и ~17,3...18,5 % (в зависи-

мости от месторождения), а температура самовоспламенения — более чем на 100 °С меньше).

Одним из направлений создания измерительных преобразователей концентрации метана в воздухе является разработка наносенсоров (НС) — измерительных устройств, основанных на применении нанотехнологий и в большинстве случаев характеризующихся низкой материалоемкостью, энергопотреблением, стоимостью. Несмотря на то что данное направление развивается лишь в течение последних 10...15 лет, к настоящему времени разработано довольно большое число устройств, различающихся как используемыми методами измерений, так и применяемыми материалами, способом их изготовления, морфологией и т. д.

Рассмотрим созданные НС метана, оценим их аналитические возможности и пригодность для обеспечения взрывопожарной безопасности объектов добычи, транспортировки и использования природного газа.

Анализ накопленной информации показывает, что чувствительные элементы НС могут выполняться на основе углеродных нанотрубок, наночастиц полимеров, металлов, оксидов металлов и органических соединений.

Например, НС, чувствительные элементы которых имели покрытие из композиционного материала на основе многослойных углеродных нанотрубок и наночастиц палладия или многослойных углеродных нанотрубок, наночастиц хитозана и наночастиц палладия, изготовили Y. Li и др. [1]. В состав НС входили кондуктометрические измерительные преобразователи вида "резистор" (КИПР). Чувствительные элементы функционировали при комнатной температуре. Воздействие метана с концентрацией 2 % вызывало уменьшение электрического сопротивления НС с покрытием из многослойных углеродных нанотрубок и наночастиц палладия на 4,5 %. Время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии составляли ~200 с. Контакт же с метаном с концентрацией 2 % приводил к снижению электрического сопротивления НС с покрытием из многослойных углеродных нанотрубок, наночастиц хитозана и наночастиц палладия на 7 %, но время установления показаний было более 400 с и показания не возвращались к базовой линии [1].

G. Xie и др. [2] предложили НС с чувствительным элементом, содержащим покрытие из композиционного материала на основе нановолокон полианилина и наночастиц оксида палладия. Наносенсор был оснащен измерительным преобразователем акустических волн вида "дисковый резонатор". Диапазон измерений соответствовал 0,3...0,8 %. При температуре чувствительного элемента 27 °С воздействие метана с концентрацией 0,3 % сопровождалось понижением частоты акустических



волн на 22 Гц, а с концентрацией 0,8 % — на 46 Гц. Время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии составляли ~100 с. При температуре чувствительного элемента 50 °С контакт с метаном с концентрацией 0,3...0,8 % уменьшал частоту акустических волн практически на одинаковую величину (10...17 Гц). Время установления показаний было ~50 с, однако к базовой линии показания не возвращались. Влажность воздуха оказывала существенное влияние на результаты измерений — изменение относительной влажности с 5 до 90 % снижало частоту акустических волн более чем на 300 Гц [2].

Чувствительные элементы также могут иметь покрытие из наноматериалов оксида цинка. В частности, НС с чувствительными элементами, содержащими покрытие из нанопроводов этого оксида, разработали О. Luran и др. [3]. Диаметр нанопроводов соответствовал 100, 200 или 600 нм. В НС применялись КИПР. При комнатной температуре чувствительных элементов НС позволяли определять метан с концентрацией 0,02 %. Результаты измерений зависели от присутствия водорода, изобутана, аммиака [3].

N. F. Namedani и др. [4] создали НС, чувствительные элементы которых имели покрытие из нанопрутков или наночастиц оксида цинка. В состав НС входили КИПР. Максимальная чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительных элементов 350 °С. Воздействие метана с концентрацией 1 % обуславливало понижение электрического сопротивления НС с покрытием из нанопрутков в 63 раза, а из наночастиц — в 50 раз. На результаты измерений влияли пары этилового спирта и монооксид углерода [4].

Наносенсор с чувствительным элементом, содержащим покрытие из наночастиц оксида цинка, изготовили D. Ваггеса и др. [5]. Этот НС был оснащен КИПР и обеспечивал возможность определения метана при температуре чувствительного элемента начиная с 200 °С, но максимальная чувствительность измерений достигалась при температуре 300 °С. Диапазон измерений составлял 0,01...0,05 %. Контакт с метаном с концентрацией 0,05 % вызывал уменьшение электрического сопротивления НС на ~70 %. Зависимость электрического сопротивления от концентрации была линейной. На результаты измерений оказывали влияние водород и монооксид углерода [5].

P. K. Vasu и др. [6] также предложили НС, чувствительный элемент которого имел покрытие из наночастиц оксида цинка. В НС использовался КИПР. Максимальная чувствительность измерений соответствовала температуре чувствительного элемента 70 °С. Воздействие метана с концентрацией 0,1 % приводило к снижению электрического сопротивления в ~18 раз, с концентрацией 0,5 % —

в 22 раза, а с концентрацией 1 % — в 24 раза. Время установления показаний составляло 12...20 с, а время возврата показаний к базовой линии — 25...35 с (с увеличением концентрации метана указанные характеристики были менее продолжительными). Результаты измерений зависели от присутствия водорода [6].

Покрытие чувствительных элементов может состоять и из наноматериалов диоксида олова. В НС с чувствительным элементом, содержащим покрытие из нанопроводов названного диоксида, разработали А. Кёск и др. [7]. Диаметр нанопроводов соответствовал 30...400 нм, а длина доходила до нескольких сотен микрометров. В состав НС входил КИПР. При температуре чувствительного элемента 200 °С НС позволял определять метан с концентрацией от  $3 \cdot 10^{-4}$  до  $6,6 \cdot 10^{-3}$  %. На результаты измерений влияли пары воды и монооксид углерода [7].

J.-H. Smatt и др. [8] создали НС, чувствительный элемент которого имел покрытие из микросфер диоксида олова. Диаметр микросфер составлял 5 мкм. На их поверхности располагались поры размером 5 и 52 нм. Диапазон измерений был до 1 % метана. Относительная влажность среды (10...90 %) оказывала сравнительно слабое влияние на результаты измерений [8].

Наносенсоры с чувствительными элементами, содержащими покрытие из микросфер, микрочастиц или наночастиц диоксида олова, изготовили M. A. Andio и др. [9]. Эти НС были оснащены КИПР. При температуре чувствительных элементов 450 °С наибольшая чувствительность измерений метана наблюдалась у НС с покрытием из наночастиц диоксида олова. Диапазон измерений соответствовал концентрациям до 1 %. Контакт с метаном с концентрацией 0,4 % сопровождался понижением электрического сопротивления в ~8 раз [9].

C. Aifan и др. [10] предложили НС, чувствительный элемент которого имел покрытие из наночастиц диоксида олова. Максимальная чувствительность измерений наблюдалась при температуре чувствительного элемента 250 °С. Воздействие метана с концентрацией 0,085 % обуславливало изменение выходного сигнала в 5,5 раза [10].

Наносенсоры с чувствительными элементами, содержащими покрытие из слоя наночастиц диоксида олова, поверх которого был нанесен слой наночастиц палладия, платины, золота, серебра, никеля, триоксида золота или оксида никеля, разработали D. Haridas и V. Gupta [11]. Слой наночастиц диоксида олова был сплошным и имел толщину 90 нм. Слой наночастиц перечисленных металлов или оксидов металлов состоял из островков диаметром 600 нм, находившихся на расстоянии 1 мм друг от друга. В НС применялись КИПР. Наибольшей чувствительностью измерений обладал НС с покрытием со слоем наночастиц палла-

дия толщиной 10 нм при температуре чувствительного элемента 160...240 °С. По сравнению с НС с покрытием только из наночастиц диоксида олова контакт с метаном с концентрацией 0,02 % демонстрировал рост чувствительности измерений в ~2 раза. Время установления показаний составляло 70 с, а время возврата показаний к базовой линии — 100 с [11].

Покрытие чувствительных элементов также выполняется из композиционного материала на основе наночастиц оксидов олова, титана, индия, магния. Так, М. С. Carotta и др. [12] создали НС, чувствительные элементы которых имели покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксидов олова и титана. В состав НС входили КИПР. При температурах чувствительных элементов 450...650 °С НС обеспечивали возможность определения метана с концентрацией 0,05 % в сухом и влажном воздухе. Результаты измерений зависели от присутствия этана, пропана, н-бутана и изобутана [12].

Наносенсоры с чувствительным элементом, содержащими покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова и 25 % триоксида индия, изготовили С. Aifan и др. [10]. В отличие от НС с покрытием только из наночастиц диоксида олова воздействие метана с концентрацией 0,085 % вызывало изменение выходного сигнала не в 5,5, а в 8 раз [10].

В. Shouli и др. [13] предложили НС, чувствительный элемент которого имел покрытие из композиционного материала на основе диоксида олова и 40 % триоксида индия. На результаты измерений метана существенно влиял монооксид углерода [13].

Наносенсоры с чувствительными элементами, содержащими покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия и диоксида титана, разработали С. Aifan и др. [10]. Максимальную чувствительность измерений показал НС с покрытием с ~21 % триоксида индия и ~17 % диоксида титана при температуре чувствительного элемента 290 °С. Контакт с метаном с концентрацией 0,085 % приводил к изменению выходного сигнала в ~14 раз [10].

В. Shouli и др. [13] также создали НС, чувствительные элементы которых имели покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия и диоксида титана. Максимальной чувствительностью измерений обладал НС с покрытием с 20 % триоксида индия и 20 % диоксида титана при температуре чувствительного элемента 230 °С. Воздействие метана с концентрацией 0,085 % обуславливало изменение выходного сигнала в ~28 раз. Монооксид углерода оказывал незначительное влияние на результаты измерений [13].

Наносенсоры с чувствительными элементами, содержащими покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова,

триоксида индия, диоксида титана и оксида магния (0,5; 1 и 3 %), изготовили С. Aifan и др. [10]. Максимальную чувствительность измерений обеспечивал НС с покрытием с 1 % оксида магния при температуре чувствительного элемента 240 °С. По сравнению с НС с покрытием из наночастиц диоксида олова, ~21 % триоксида индия и ~17 % диоксида титана контакт с метаном с концентрацией 0,085 % сопровождался изменением выходного сигнала не в 14, а в ~29 раз [10].

В. Shouli и др. [13] предложили НС, чувствительные элементы которых имели покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия, диоксида титана и оксида магния (0,5; 1 и 2 %). Максимальная чувствительность измерений также наблюдалась у НС с покрытием с 1 % оксида магния. В отличие от НС с покрытием из диоксида олова, 20 % триоксида индия и 20 % диоксида титана воздействие метана с концентрацией 0,085 % характеризовалось изменением выходного сигнала не в 28, а только в 18 раз, но при температуре чувствительного элемента не 230, а 140 °С [13].

Наносенсоры с чувствительным элементом, содержащими покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия, диоксида титана, а также наночастиц платины (3 %), разработали С. Aifan и др. [10]. Максимальная чувствительность измерений достигалась при температуре чувствительного элемента 300 °С. Контакт с метаном с концентрацией 0,085 % демонстрировал изменение выходного сигнала в ~48 раз [10].

В. Shouli и др. [13] создали НС, чувствительные элементы которых имели покрытие из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия, диоксида титана, а также 1 % наночастиц платины или палладия. Максимальная чувствительность измерений НС с покрытием с наночастицами платины соответствовала температуре чувствительного элемента 100 °С, а с наночастицами палладия — 160 °С. Воздействие метана с концентрацией 0,085 % вызывало изменение выходного сигнала НС с покрытием с наночастицами платины в ~31 раз, а с наночастицами палладия в ~24 раза [13].

Наносенсоры с чувствительным элементом, содержащими покрытие из слоя композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия и диоксида титана, поверх которого был нанесен слой наночастиц оксида магния, изготовили В. Shouli и др. [13]. Максимальная чувствительность измерений проявлялась при температуре чувствительного элемента 140 °С. Контакт с метаном с концентрацией 0,085 % приводил к изменению выходного сигнала в ~14,5 раз [13].



Представленные сведения свидетельствуют о следующем.

Разработанные наносенсоры позволяют определять метан с концентрацией от  $3 \cdot 10^{-4}$  до 2 %. Устройства преимущественно оснащаются КИПР. Чувствительные элементы функционируют при комнатной или повышенной (до 650 °С) температуре. В большинстве случаев время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии составляет от нескольких секунд до нескольких минут, однако в некоторых случаях показания могут и не возвращаться к базовой линии.

При этом существует ряд закономерностей:

- чувствительность измерений, время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии обычно монотонно снижаются при увеличении концентрации метана в воздухе, но в сравнительно узком диапазоне концентраций могут оставаться фактически постоянными;
- чувствительность и селективность измерений, время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии в значительной мере зависят от температуры чувствительного элемента;
- на чувствительность измерений и температуру, соответствующую максимальной чувствительности измерений, оказывает влияние толщина покрытия чувствительного элемента;
- морфология материала покрытия (нановолокна, нанопровода, нанопрутки, наночастицы) влияет на его пористость, определяющую показатели массообмена с воздухом и, как следствие, чувствительность и селективность измерений, время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии;
- чувствительность и селективность измерений, время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии, а также температура, соответствующая максимальной чувствительности измерений, существенно зависят от химического состава материала (материалов) покрытия чувствительного элемента.

Например, добавление в покрытие чувствительного элемента к многослойным углеродным нанотрубкам и наночастицам палладия наночастиц хитозана повышает чувствительность измерений метана, но ухудшает время установления показаний и время возврата показаний к базовой линии. Нанесение на слой наночастиц диоксида олова слоя наночастиц палладия, платины, золота, серебра, никеля, триоксида золота или оксида никеля сопровождается ростом чувствительности измерений. Добавление к наночастицам диоксида олова наночастиц триоксида индия или к наночастицам диоксида олова и триоксида индия наночастиц диоксида титана также увеличивает чувствительность измерений метана, а добавление к наночастицам диоксида олова, триоксида индия и диоксида титана наночастиц платины не только повышает чувствительность

измерений, но и снижает температуру, соответствующую максимальной чувствительности.

Пригодность НС для обеспечения взрывопожарной безопасности объекта добычи, транспортировки или использования природного газа в первую очередь определяется способностью измерять концентрации метана ниже 4,4 %. Все разработанные устройства удовлетворяют данному условию.

Наряду с этим, НС с чувствительным элементом, содержащим покрытие из композиционного материала на основе многослойных углеродных нанотрубок и наночастиц палладия, характеризуется низкой чувствительностью измерения, а также продолжительным временем установления показаний и возврата показаний к базовой линии, а на основе многослойных углеродных нанотрубок, наночастиц хитозана и наночастиц палладия — невозвращением показаний к базовой линии [1]. Наносенсор, чувствительный элемент которого имеет покрытие из композиционного материала на основе нановолокон полианилина и наночастиц оксида палладия, обладает довольно продолжительным временем установления показаний и возврата показаний к базовой линии, а также очень низкой селективностью измерений метана в присутствии паров воды (основного компонента воздуха, способного изменять свое содержание в широких пределах) [2].

Из сказанного вытекает, что для обеспечения взрывопожарной безопасности объекта добычи, транспортировки или использования природного газа целесообразно применять НС с чувствительными элементами, содержащими покрытие на основе оксидов металлов. Кстати, чувствительные элементы практически всех таких устройств функционируют при температуре ниже 537 °С, что исключает необходимость применения взрывозащищенного исполнения и, как следствие, приводит к незначительным материалоемкости, габаритным размерам, стоимости НС.

Кроме того, функционирование чувствительного элемента при более низкой температуре сопровождается уменьшением энергопотребления НС. В связи с этим, исходя из компромисса между максимальной чувствительностью измерений метана и минимальной температурой чувствительного элемента, наиболее подходящими представляются НС, чувствительные элементы которых имеют покрытие из наночастиц оксида цинка и функционируют при температуре 70 °С [6] или из композиционного материала на основе наночастиц диоксида олова, триоксида индия, диоксида титана, платины и функционируют при температуре 100 °С [13].

Перечисленные обстоятельства позволяют рассматривать данные НС в качестве перспективных устройств взрывопожарной безопасности объектов добычи, транспортировки и использования природного газа, а также указывают на целесообразность активизации усилий по их внедрению.

### Список литературы

1. Li Y., Wang H., Chen Y., Yang M. A multi-walled carbon nanotube/palladium nanocomposite prepared by a facile method for the detection of methane at room temperature // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2008. — V. 132. — N 1. — P. 155–158.
2. Xie G., Sun P., Yan X. et al. Fabrication of methane gas sensor by layer-by-layer self-assembly of polyaniline/PdO ultra thin films on quartz crystal microbalance // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2010. — V. 145. — N 1. — P. 373–377.
3. Lupan O., Ursaki V. V., Chai G. et al. Selective hydrogen gas nanosensor using individual ZnO nanowire with fast response at room temperature // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2010. — V. 144. — N 1. — P. 56–66.
4. Hamedani N. F., Mahjoub A. R., Khodadadi A. A., Mortazayi Y. Microwave assisted fast synthesis of various ZnO morphologies for selective detection of CO, CH<sub>4</sub> and ethanol // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2011. — V. 156. — N 2. — P. 737–742.
5. Barreca D., Bekermann D., Comini E. et al. 1D ZnO nano-assemblies by plasma-CVD as chemical sensors for flammable and toxic gases // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2010. — V. 149. — N 1. — P. 1–7.
6. Basu P. K., Jana S. K., Saha H., Basu S. Low temperature methane sensing by electrochemically grown and surface modified ZnO thin films // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2008. — V. 135. — N 1. — P. 81–88.
7. Köck A., Tischner A., Maier T. et al. Atmospheric pressure fabrication of SnO<sub>2</sub>-nanowires for highly sensitive CO and CH<sub>4</sub> detection // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2009. — V. 138. — N 1. — P. 160–167.
8. Smatt J.-H., Linden M., Wagner T. et al. Micrometer-sized nanoporous tin dioxide spheres for gas sensing // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2011. — V. 155. — N 2. — P. 483–488.
9. Andio M. A., Browning P. N., Morris P. A., Akbar S. A. Comparison of gas sensor performance of SnO<sub>2</sub> nano-structures on microhotplate platforms // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2012. — V. 165. — N 1. — P. 13–18.
10. Aifan C., Shoul B., Bingjie S. et al. Methane gas-sensing and catalytic oxidation activity of SnO<sub>2</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanocomposites incorporating TiO<sub>2</sub> // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2008. — V. 135. — N 1. — P. 7–12.
11. Haridas D., Gupta V. Enhanced response characteristics of SnO<sub>2</sub> thin film based sensors loaded with Pd clusters for methane detection // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2012. — V. 166–167. — P. 156–164.
12. Carotta M. C., Cervi A., Giberti A. et al. Metal-oxide solid solutions for light alkane sensing // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2008. — V. 133. — N 2. — P. 516–520.
13. Shouli B., Liangyuan C., Pengcheng Y. et al. Sn/In/Ti nanocomposite sensor for CH<sub>4</sub> detection // Sensors and Actuators B: Chemical. — 2008. — V. 135. — N 1. — P. 1–6.

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 556.5.072(470.45)(470.61)

**Е. И. Шаврак**, канд. техн. наук, Волгодонский инженерно-технический институт — филиал НИЯУ "МИФИ"  
E-mail: mephi2013@yandex.ru

### Вероятностные характеристики неблагоприятных гидрохимических событий в Цимлянском водохранилище

*Проанализированы эмпирические распределения вероятностей высоких концентраций марганца, меди и нефтепродуктов в воде Цимлянского водохранилища, рассмотрен генезис загрязнения. Рассчитаны квантили концентраций ингредиентов для различных обеспеченностей. Установлены пространственно-временные особенности неблагоприятных гидрохимических событий. На основании сопоставления максимумов концентраций с квантилями, соответствующими экстремальному загрязнению, сделан вывод о недостаточности объема проводимых мониторинговых исследований.*

**Ключевые слова:** Цимлянское водохранилище, квантили, обеспеченность, экстремальное загрязнение, пространственно-временные особенности

**Shavrak E. I. Stochastic Characteristics of Unfavorable Hydrochemical Events in the Zimliansk Reservoir**

*We have considered the empirical distribution of high concentration of manganese, copper and petrochemicals in water of Zymliansk reservoir, and have considered the genesis of pollution. We have calculated the quantiles of concentrations of the ingredients for different provisions. We have determined the spatiotemporal features of unfavorable hydrochemical events. On the grounds of comparison of concentration highs with quantiles, corresponding to extremal pollution, we have concluded that there was insufficient volume of conducted monitoring studies.*

**Keywords:** Zymliansk reservoir, quantile, provision, extremal pollution, spatiotemporal features

К настоящему времени проблема загрязнения жизненнообеспечивающих ресурсов приобрела глобальные масштабы. В условиях неравномерного естественного распределения водных ресурсов важную роль в снабжении населения России водой играют искусственные водоемы. К ним относится Цимлянское водохранилище (ЦВ), созданное в 1952 г. в русле реки Дон. В районе ЦВ проживает 457,5 тыс. человек, расположено 156,8 тыс. га сельхозугодий, 37,2 тыс. га лесов [1]. Интенсивное развитие водохозяйственного комплекса сопряжено с негативными тенденциями ухудшения состояния водохранилища, в том числе с ростом токсичности его воды [2]. В связи с этим актуальным является прогнозирование экстремальных гидрохимических событий, обусловленных резким повышением содержания загрязняющих веществ (ЗВ) в воде ЦВ. Целью данной работы является идентификация сезонных и пространственных особенностей этих неблагоприятных явлений.

### Материалы и методы исследования

Исследования основаны на официальной информации аккредитованной гидрохимической лаборатории ФГУ "Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища", осуществляющей мониторинг состояния водных масс ЦВ в 22 вертикалях в основные фазы водного режима. Использованы данные за 2000—2009 гг., характеризующие динамику содержания в воде ЦВ ингредиентов, внесших в рассматриваемый период наиболее значительный вклад в загрязнение: марганца (2+), меди, нефтепродуктов [3]. Содержание тяжелых металлов определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии, концентрация нефтепродуктов — флуориметрическим методом. Внутригодовой гидрохимический режим большинства вертикалей по отдельным взятым компонентам характеризуется набором из 3...4 значений концентраций, по одному значению для каждого сезона. Выборки данных, описывающие конкретные сезоны (весна, лето, осень), включали концентрации ЗВ в эти сезоны во всех 22 вертикалях ЦВ за 10 лет (2000—2009 гг.) и содержали по 220 значений.

Пространственные особенности идентифицировались для семи вертикалей ЦВ, расположенных в различных участках водохранилища (рис. 1).

Выборки, соответствующие каждой из вертикалей, состояли из 30...40 значений, т. е. один год из диапазона 2000—2009 гг. характеризовался 3...4 значениями концентраций ЗВ.

Загрязнение воды носит стохастический характер. Основная задача исследования — установление вероятностных характеристик неблагоприятных гидрохимических событий в разные сезоны и на разных участках ЦВ — решалась в соответствии с методологией, представленной в работах Б. М. Долгоносова и др. [4, 5], и включала в себя два этапа А и Б.

#### А. Построение и анализ эмпирического распределения вероятностей

В целях сопоставления распределений разных выборок использовалась унифицированная безразмерная форма представления данных, в которой каждое значение концентрации  $C_i$  нормировалось относительно ее среднего значения  $C_{cp}$  в рассматриваемой выборке:

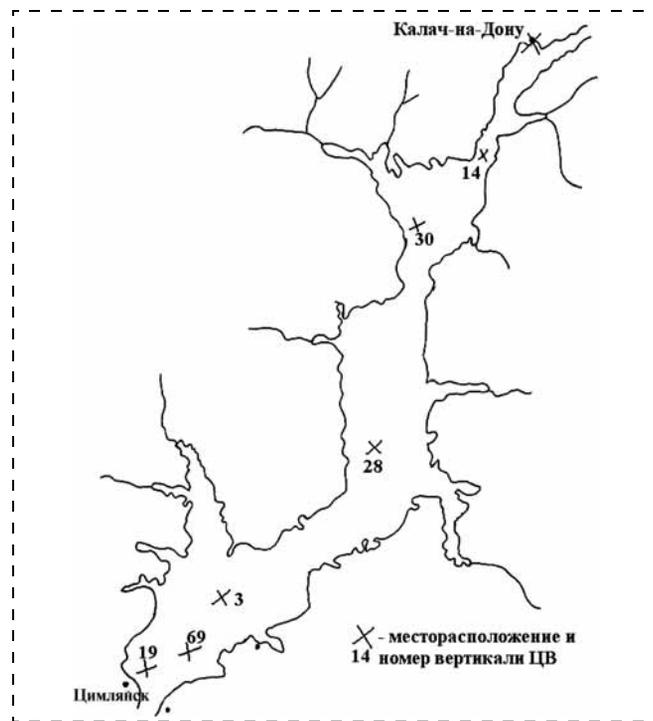


Рис. 1. Пространственное расположение рассматриваемых вертикалей ЦВ

$X_i = C_i / C_{cp}$ . Подготовленные таким образом ряды гидрохимической информации обрабатывали с помощью прямого метода построения кумулятивной функции распределения — метода кривых Кетле [6].

1. Анализируемый массив данных упорядочивали по возрастанию и нумеровали от 1 до  $N$ , где  $N$  — общее число измерений.

2. Пусть  $X_1, X_2, \dots, X_N$  — уже упорядоченный массив, т. е.  $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_N$ . Если в этом массиве идут подряд несколько одинаковых значений  $X_i = X_{i+1} = \dots = X_{i+n}$ , то они заменялись одним значением с наибольшим номером  $i+n$ . В результате формировался новый массив без одинаковых членов, строго упорядоченный по возрастанию.

3. Множество номеров  $\{j\}$  вновь сформированного массива нормировали на число измерений  $N$ . Отношение  $j/N$  представляет собой оценку вероятности того, что концентрация ингредиента не превысит значения  $X_j$ .

4. Поскольку основное внимание уделяется большим значениям концентраций, вместо вероятности  $P(\xi < X)$  того, что концентрация  $\xi$  не превысит значения  $X$ , использовали вероятность превышения (обеспеченность)  $P(\xi > X) = 1 - P(\xi < X)$ .

5. Неблагоприятные гидрохимические явления, связанные с резким повышением значений концентраций ЗВ, могут быть вызваны разными причинами. К ним относятся как процессы на водосборе, обусловленные выщелачиванием и выносом ингредиентов из почвогрунтов при таянии снега и дождях, так и природно-техногенные факторы локального происхождения, действующие непосредственно на территории ЦВ.

Согласно данным работы [4], в интервале больших значений величин, формирующихся на водосборе, распределение их вероятностей имеет степенную асимптотику, выражающуюся уравнением:

$$P(\xi > X) = (A/\alpha)X^{-\alpha}, \quad (1)$$

где  $A$  и  $\alpha$  — параметры степенной аппроксимации.

При доминировании локальных факторов характер распределения может меняться [4, 6]. В зависимости от вида ингредиента зависимость носит разнообразный характер, в том числе и экспоненциальный, описываемый уравнением:

$$P(\xi > X) = (B/\beta)e^{-\beta X}, \quad (2)$$

где  $B$  и  $\beta$  — параметры экспоненциальной аппроксимации.

В ходе исследования устанавливали вид асимптотик и с помощью метода наименьших квадратов находили их параметры. По виду распределения (степенное, экспоненциальное или др.) делали вывод о предполагаемом генезисе экстремальных гидрохимических событий.

#### *Б. Определение вероятностных характеристик неблагоприятных событий*

1. На основании уравнений (1) и (2) находили квантили  $X_q$  случайной величины  $X$ , соответствующие обеспеченности  $q$  [4]:

$$X_q = \left(\frac{A}{\alpha}\right)^{1/\alpha} q^{-1/\alpha}$$

$$X_q = 1/\beta \ln\left(\frac{B}{\beta q}\right).$$

При расчетах использовали значения  $q = 0,1; 0,05; 0,01; 0,005; 0,001$ . Экстремальные события (соответствующие высоким значениям квантилей) имеют весьма малую вероятность и отвечают низким значениям  $q$ . В целях установления пространственно-сезонных особенностей проявления этих событий проведено сопоставление квантилей с обеспеченностью  $q = 0,001$  для разных ЗВ в разные сезоны и в разных вертикалях ЦВ.

2. Обеспеченность  $q$  может трактоваться как доля времени, в течение которого случайная величина превышает порог, задаваемый квантилем  $X > X_q$  [4]. На этом основании определяли условную длительность неблагоприятных (сверхпороговых) периодов для интервала времени, ограниченного одним сезоном, по формуле  $T_c = 90q$ , для годового интервала — по формуле  $T_r = 365q$ .

Путем сопоставления зафиксированных в рассматриваемый период (2000—2009 гг.) максимумов концентраций ЗВ со значениями квантилей делали вывод о достаточности объема мониторинговых исследований для выявления степени загрязненности водоема.

#### **Результаты и их обсуждение**

Статистические характеристики, представленные в табл. 1, свидетельствуют о значительной пространственно-сезонной изменчивости загрязнения ЦВ марганцем, медью и нефтепродуктами. Все анализируемые выборки — неоднородные. Значения коэффициентов их вариации в несколь-

ко раз больше 33 % (величины, при которой выборка считается однородной). Ранжированные распределения являются асимметричными, поскольку значения моды и медианы не совпадают.

Уровень загрязнения воды ЦВ всеми рассматриваемыми ингредиентами минимален весной, возрастает в летние месяцы, незначительно уменьшаясь осенью. Среднемноголетние концентрации ЗВ в летнее время выше, чем весной, более, чем в 2 раза. От Верхнего участка ЦВ (г. Калач-на-Дону) к Приплотинному (вертикаль 19) увеличивается среднемноголетнее содержание нефтепродуктов, уменьшаются концентрации марганца и меди.

При установлении показателей эмпирических распределений вероятностей  $P(\xi > X)$  как альтернативные рассматривались нормальное, степенное и экспоненциальное распределения. В качестве асимптотики, удовлетворительно описывающей взаимосвязь между вероятностью  $P(\xi > X)$  и случайной величиной  $X$ , выбиралась зависимость, характеризующаяся наилучшим качеством, т. е. максимальным коэффициентом детерминации  $R^2$  ( $R^2 \geq 0,95$ ). В табл. 2 представлены характеристики соответствующих асимптотик, найденные с помощью метода наименьших квадратов.

Основной сезонной особенностью неблагоприятных гидрохимических явлений является их выраженность в весенний период. Так, в это время года с вероятностью  $10^{-3}$  может наблюдаться 25...30-кратное превышение концентраций марганца и меди по сравнению с соответствующими среднемноголетними значениями, в то время как летом и осенью при той же обеспеченности возможно только 8...10-кратное превышение (рис. 2).

В формировании экстремально высоких концентраций марганца в воде ЦВ весной высока значимость процессов, протекающих на водосборе. Об этом свидетельствует степенной характер эмпирического распределения вероятностей (см. табл. 2). В остальных случаях распределения носят преимущественно экспоненциальный характер, что позволяет сделать предположение о доминировании локальных факторов, в том числе внутриводоемных процессов и техногенного загрязнения, в генезисе неблагоприятных гидрохимических событий. Сезонная интенсификация деструкционных процессов в осенне-летний период приводит к увеличению кислотности воды и созданию восстановительной среды в придонных отложениях. Как следствие, малорастворимые формы соединений марганца и меди трансформируются в более растворимые, способствуя вторичному загрязнению воды ЦВ этими ингредиентами [7]. Основным источником загрязнения ЦВ нефтепродуктами является водный транспорт. За навигационный период через акваторию ЦВ проходит более 6000 судов.

Пространственной особенностью неблагоприятных гидрохимических явлений является их выражен-



Таблица 1

**Статистические характеристики анализируемых выборок данных**

Сезон, вертикаль	Ингредиент	Показатели выборок данных					
		Среднее значение, ед. ПДК <sub>вр</sub>	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	Доверительный интервал, % от среднего ( $\alpha = 0,05$ )	Медиана	Мода
Выборки сезонных значений концентраций ЗВ для всего водоема							
Весна	Марганец	2,2	3,8	175	36	0,2	0,0
	Медь	1,6	4,1	248	51	0,0	0,0
	Нефтепродукты	1,6	2,2	131	27	1,1	0,0
Лето	Марганец	5,1	6,6	130	27	4,7	0,0
	Медь	3,5	4,7	137	28	2,0	0,0
	Нефтепродукты	3,6	5,0	140	29	1,6	0,0
Осень	Марганец	4,4	6,2	140	29	3,1	0,0
	Медь	3,4	4,3	123	26	1,5	0,0
	Нефтепродукты	2,5	4,0	162	33	1,2	0,0
Выборки значений концентраций ЗВ для отдельных вертикалей							
Калач	Марганец	7,5	9,2	123	44	5,3	0,0
	Медь	2,6	3,2	127	45	1,0	0,0
	Нефтепродукты	2,6	2,6	101	36	1,8	0,0
14	Марганец	4,0	4,5	113	40	3,3	0,0
	Медь	2,3	2,6	115	40	1,3	0,0
	Нефтепродукты	2,2	2,7	120	42	1,3	0,0
30	Марганец	3,0	3,9	131	47	0,6	0,0
	Медь	3,3	5,0	153	55	1,9	0,0
	Нефтепродукты	2,1	2,1	100	36	1,4	0,0
28	Марганец	3,2	4,1	131	47	0,8	0,0
	Медь	3,4	5,5	162	58	1,2	0,0
	Нефтепродукты	3,4	4,4	132	47	1,3	0,0
3	Марганец	2,8	3,7	133	47	0,5	0,0
	Медь	2,7	3,5	129	46	1,1	0,0
	Нефтепродукты	3,6	6,5	182	66	1,3	0,8
69	Марганец	4,1	7,8	189	67	0,4	0,0
	Медь	3,5	5,8	166	60	1,0	0,0
	Нефтепродукты	2,0	2,9	148	53	1,0	0,0
19	Марганец	4,6	6,9	151	54	0,7	0,0
	Медь	2,3	3,7	158	56	1,1	0,0
	Нефтепродукты	3,0	6,0	200	72	0,9	0,0

Таблица 2

**Характеристики эмпирических распределений вероятностей**

Сезон, вертикаль	Параметры уравнений асимптотики								
	Марганец			Медь			Нефтепродукты		
	Тип*	Показатели**		Тип*	Показатели**		Тип*	Показатели**	
		A(B)	$\alpha(\beta)$		A(B)	$\alpha(\beta)$		A(B)	$\alpha(\beta)$
Выборки сезонных значений концентраций ЗВ для всего водоема									
Весна	1	5,122	1,750	2	0,016	0,115	2	0,165	0,373
Лето	2	0,1	0,149	2	0,094	0,181	2	0,156	0,224
Осень	2	0,195	0,213	2	0,336	0,279	2	0,159	0,290
Выборки значений концентраций ЗВ для отдельных вертикалей									
Калач	2	1	0,141	1	214	3,3	2	0,312	0,235
14	2	0,8	0,348	2	0,452	0,427	2	0,24	0,36
30	1	100	2,99	2	0,1	0,199	1	239,1	4,04
28	2	0,322	0,277	2	9,94	0,523	2	0,085	0,173
3	1	22,4	2,28	2	0,07	0,156	2	0,11	0,218
69	2	0,04	0,113	2	0,04	0,118	2	0,064	0,217
19	2	0,11	0,159	2	0,023	0,131	2	0,3694	0,183

\* Тип 1 — степенное распределение, тип 2 — экспоненциальное распределение.

\*\* Для типа 1 приводятся показатели A и  $\alpha$ , для типа 2 — B и  $\beta$ .

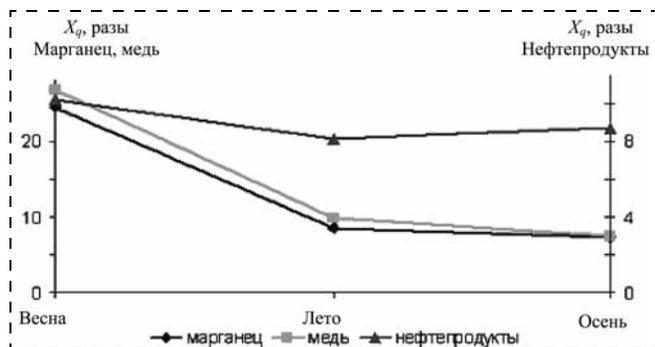


Рис. 2. Сезонные квантили с вероятностью превышения  $q = 0,001$

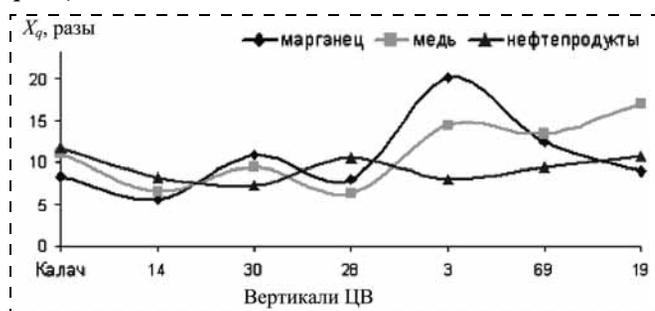


Рис. 3. Пространственные квантили с вероятностью превышения  $q = 0,001$

ность в Приплотинном участке ЦВ (рис. 3, вертикали 3, 69, 19). Как видно из рисунка, в Приплотинном участке ЦВ с обеспеченностью  $q = 0,001$  наблюдается 15...20-кратное увеличение концентрации марганца и меди по сравнению с соответствующими среднемноголетними значениями, в то время как в Верхнем и Центральном участках ЦВ (вертикалях Калач, 14, 30, 28) это превышение составляет 7—12 раз (см. рис. 3).

Данная особенность Приплотинного участка объясняется тем, что в его прибрежной части сконцентрированы крупные источники техногенного воздействия: Ростовская атомная станция, города Волгодонск и Цимлянск с общим населением около 200 тыс. жителей, порт г. Волгодонска, Цимлянский гидроузел и т. д. Наиболее значительный вклад в локальное загрязнение Приплотинного участка тяжелыми металлами и нефтепродуктами, как установлено ранее [8], вносят высокозагрязненные ливневые стоки, поступающие в ЦВ с территории муниципальных образований.

Сравнение квантилей с обеспеченностью  $q = 0,001$ , соответствующих крайне неблагоприятным событиям, и максимумов значений концентраций  $C_{\max}$  (табл. 3), зафиксированных за 10-летний период наблюдения (2000—2009 гг.), показывает, что большинство из квантилей не были ни разу превзойдены.

С одной стороны, причиной этого является ограниченность установленных асимптотик распределения. Рядом авторов отмечалось, что в области очень больших значений величин распределение должно определенным образом усекаться [9].

С другой стороны, вследствие значительности временного диапазона между отборами проб (1 раз в три месяца), крайне неблагоприятные гидрохимические события (квантили с обеспеченностью  $q = 0,001$ , условная длительность — 0,09...0,4 суток) могли не фиксироваться в ходе мониторинга. В большинстве случаев наблюдаемые сезонные максимумы концентраций ЗВ соответствовали вероятностям превышения  $q = 0,01...0,005$ , условная длительность их проявления составляла  $T = 0,5...1$  сутки в сезон. Вероятность превышения наблюдаемых пространственных максимумов концентраций  $q = 0,05...0,01$ , условная длительность соответствующих экстремальных ситуаций 3,6...18 суток/год (см. табл. 3).

Поскольку концентрации ЗВ в крайне неблагоприятные периоды в 1,5—4 раза больше наблюдаемых в рас-

Таблица 3

Условные длительности неблагоприятных гидрохимических событий  $T$  и квантили с заданной вероятностью превышения  $q$  для рассматриваемых ингредиентов

q	T, сутки в сезон	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>								
		марганца			меди			нефтепродуктов		
		Сезонные квантили $X_q$								
		Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень	Весна	Лето	Осень
0,1	9	0,065	0,13	0,099	0,003	0,009	0,009	0,20	0,43	0,29
0,05	4,5	0,090	0,17	0,135	0,009	0,013	0,011	0,29	0,59	0,41
0,01	0,9	0,187	0,28	0,277	0,023	0,022	0,017	0,51	0,95	0,69
0,005	0,45	0,258	0,33	0,377	0,029	0,026	0,020	0,60	1,10	0,81
0,001	0,09	0,538	0,44	0,773	0,043	0,035	0,025	0,82	1,46	1,09
$C_{\max}$		0,204	0,375	0,443	0,025	0,023	0,02	0,6	1,76	1,56
q	T, сутки в год	Пространственные квантили $X_q$ по вертикалям ЦВ								
		3	69	19	3	69	19	3	69	19
0,1	36	0,07	0,10	0,12	0,010	0,008	0,004	0,37	0,25	0,36
0,05	18	0,10	0,17	0,17	0,014	0,014	0,010	0,53	0,41	0,55
0,01	3,6	0,21	0,31	0,27	0,024	0,027	0,022	0,90	0,78	0,99
0,005	1,8	0,28	0,37	0,31	0,029	0,033	0,027	1,06	0,94	1,18
0,001	0,4	0,56	0,51	0,41	0,039	0,047	0,039	1,43	1,31	1,62
$C_{\max}$		0,13	0,33	0,31	0,010	0,023	0,016	1,76	0,46	1,56



четный период максимумов (см. табл. 3), фактическая токсическая нагрузка на акваторию ЦВ превышает нагрузку, определенную в рамках гидрохимического мониторинга. Таким образом, недостаточность объема проводимых мониторинговых исследований обуславливает несоответствие реальной и зафиксированной степени загрязненности водоема.

### Выводы

Генезис неблагоприятных гидрохимических событий в ЦВ обусловлен, преимущественно, факторами, локализованными на территории водохранилища, в том числе внутриводоемными процессами и техногенным загрязнением. Свидетельством этому является экспоненциальный характер распределений вероятностей для большинства рассматриваемых величин. Значимость процессов, протекающих на водосборе, существенна только весной при формировании экстремально высоких концентраций марганца в воде ЦВ. На это указывает степенной характер асимптотики распределения вероятностей в соответствующей выборке значений.

Основной пространственной особенностью неблагоприятных гидрохимических явлений является их выраженность в Приплотинном участке ЦВ (вертикалях 3, 69, 19). Максимально возможная кратность превышения концентраций ЗВ (квантили с обеспеченностью  $q = 0,001$ ) по сравнению с соответствующими среднемноголетними значениями здесь в 2–3 раза больше, чем в Верхнем и Центральном участках (вертикалях Калач, 14, 30, 28). Данный факт объясняется тем, что в Приплотинном участке сконцентрированы наиболее крупные источники техногенного воздействия на акваторию ЦВ.

В ходе сопоставления вероятностных характеристик неблагоприятных гидрохимических событий и максимумов концентраций  $C_{\max}$ , установленных за 10-летний период наблюдения (2000–2009 гг.), показана недостаточность проводимых мониторинговых исследований для оценки степени загрязненности ЦВ.

### Список литературы

1. **Вода России.** Водохранилища / ФГУП РосНИИВХ. Под ред. А. М. Черняева. — Екатеринбург: "АКВА-ПРЕСС", 2001. — 620 с.
2. **Хоружая Т. А., Никаноров А. М.** Эвтрофирование и токсичность сине-зеленых водорослей Цимлянского водохранилища как проявление глобальных экологических проблем // *Материалы Всероссийской научной конференции "Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике"*, 23–28 июля 2012 г., г. Цимлянск. — Новочеркасск: ЮРГТУ (НИИ), 2012. — С. 340–344.
3. **Шаврак Е. И., Фесенко Л. Н., Генераленко И. А.** Оценка перспектив использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища // *Экология и промышленность России*. — 2011. — № 9. — С. 34–39.
4. **Долгонос Б. М.** Нелинейная динамика экологических и гидрологических процессов. — М.: Книжный дом "Либроком". — 2009. — 440 с.
5. **Долгонос Б. М., Корчагин К. А.** Вероятностные закономерности неблагоприятных гидрохимических событий // *Водные ресурсы*. — 2005. — № 32 (4). — С. 452–458.
6. **Ван дер Варден Б. Л.** Математическая статистика. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 435 с.
7. **Шаврак Е. И., Генераленко И. А.** Тяжелые металлы в Цимлянском водохранилище // *Безопасность жизнедеятельности*. — 2011. — № 1. — С. 42–48.
8. **Шаврак Е. И.** Факторы формирования качества воды в искусственном водоеме // *Вестник МГСУ*. — 2010. — № 1. — С. 270–275.
9. **Владимиров В. А., Воробьев Ю. Л., Салов С. С.** и др. Управление риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика. — М.: Наука. — 2000. — 431 с.

## СТАНДАРТИЗАЦИЯ

### О ГОСТ Р ЕН 1005-3—2010 "Безопасность машин. Физические возможности человека. Часть 3. Рекомендуемые пределы усилий при работе на машинах"

С 30 ноября 2010 г. введен в действие национальный стандарт ГОСТ Р ЕН 1005-3—2010.

В Предисловии стандарта указано, что он идентичен европейскому региональному стандарту ЕН 1005-3:2002 "Машины. Безопасность. Физические характеристики человека. Часть 3. Рекомендуемые предельные значения усилий для функционирования машин" (EN 1005-3:2002 "Safety of machinery — Human physical performance — Part 3: Recommended force limits for machinery operation").

Во "Введении" разъясняется, что целью стандарта является установление порядка расчета предельных рисков утомляемости, дискомфорта и расстройств скелетно-мышечной системы, значения которых установлены данным стандартом для операторов станков.

Отмечается, что рекомендации, предусмотренные стандартом, базируются на имеющихся научных доказательствах, касающихся физиологии ручной работы. Од-

нако эти знания недостаточны, и предлагаемые предельные значения должны стать предметом дальнейших научных исследований.

В разделе "Область применения" подчеркивается, что стандарт представляет собой руководство для изготовителя оборудования или его составных частей. В нем даны предписания для стандарта типа С в части контроля рисков здоровью вследствие мускульных усилий при управлении станком. Рекомендованы ограничения в части действий станочника в процессе работы на оборудовании, включая:

— проектирование, изготовление, транспортирование и подготовку к работе (сборку, установку, наладку);

— эксплуатацию (работу, чистку, обнаружение недостатков, техническое обслуживание, регулирование, обучение, переналадку);

— вывод из рабочего состояния, снятие с опоры и демонтаж.

Особо отмечается, что стандарт применим в первую очередь к оборудованию для профессионального использования, осуществляемого взрослым работающим населением, каковым являются здоровые рабочие с обычными физическими возможностями, а во вторую очередь — к оборудованию для бытового применения, осуществляемого всем населением, включая молодежь и стариков, а также что он применим к тем станкам, которые были изготовлены после даты введения в действие рассматриваемого стандарта и не применим к оборудованию, изготовленному до указанной даты.

В разделе "Нормативные ссылки" приведен перечень Европейских норм, на которых базируется данный стандарт.

В разделе "Термины и определения" указано, что они приведены в соответствии с ЕН 614-1, ЕН 1005-1 и ЕН 1070.

В подразделе "Общие сведения и рекомендации" следующего раздела стандарта подчеркивается, что производители машин должны руководствоваться прежде всего стандартами ЕН 292-2 приложение А, ЕН 614-1 и ЕН 614-2 и только после этого могут воспользоваться процедурой определения предельных значений усилий, представленной на рисунке.

Машины должны быть сконструированы таким образом, чтобы действия, требующие усилий, выполнялись с оптимальным учетом позы тела человека, а также направления приложения силы. Кроме того, конструкцией машины должна быть предусмотрена возможность обеспечения различных перемещений и усилий.

В подразделе "Оценка риска от усилий воздействия" комментируется алгоритм указанной оценки во время эксплуатации машин для стандартного контингента потенциальных пользователей (см. рисунок).

**Этап А** алгоритма по определению максимального изометрического усилия  $F_B$  может быть реализован в трех альтернативных вариантах.

Вариант 1. Поясняется, что предварительные расчеты  $F_B$  для оптимальных поз работающих, показанных в табл. 1, были проведены по процедуре, описанной в приложении В стандарта.

Вариант 2. Используется для двух случаев.

Первый случай представляет собой грубое приближение, уравнивающее мужчин и женщин, и может быть применен, если:

- контингент потенциальных потребителей подобен общеевропейскому,
- демографические особенности потенциального потребителя неизвестны.

Второй случай ориентирован на определение силовых усилий общего женского контингента.

Отмечается, что предельные значения могут быть рассчитаны путем выполнения следующих основных операций:

- определение соответствующего вида действия и направление усилия;
- получение распределения изометрического усилия среди взрослого здорового населения при соответствующих видах действия;
- учет, предназначение оборудования (для профессионального или бытового применения).

Методика соответствующего расчета дана в справочном приложении А стандарта, там же приведена таблица для выбора параметров распределения усилий для взрослого жен-



Алгоритм оценки риска от усилий воздействия во время эксплуатации машин для стандартного контингента потенциальных пользователей

ского населения, и пример параметров распределения этих усилий. Поясняется, что необходимые данные можно найти в соответствующей литературе.

Вариант 3. Применим в случае, если известно, что предполагаемый целевой контингент не разделен по возрасту и полу.

Подробные указания по процедуре расчета максимального изометрического усилия  $F_B$  в этом случае приведены в справочном Приложении В стандарта.

**На этапе В** приводится порядок расчета величины максимального усилия для контингента потенциальных пользователей с учетом скорости перемещения, частоты и продолжительности действия. Даются необходимые справочные данные.

**На этапе С** производится оценка выносливости и риска здоровью операторов машин. Подчеркивается, что опасность для здоровья представляют даже значения усилий ниже максимальных.

Оценку выносливости с учетом риска выполняют следующим образом.

Значение усилий  $F_B$ , полученное на этапе В, умножают на коэффициент риска  $m_r$ , указанный в табл. 2.



Таблица 1

Максимальное изометрическое усилие  $F_B$  для оптимальных условий работы, предварительно рассчитанное для определенных видов деятельности, общих как для профессионального, так и для бытового применения

Вид деятельности	Профессиональное использование $F_B$ , Н	Бытовое использование $F_B$ , Н
<p>Работа кистью (одной руки): силовой захват Работа одной рукой (в положении сидя): — вверх — вниз — наружу — внутрь Толкание: — с рукоятками — без рукояток Вытягивание: — с рукоятками — без рукояток</p>	250 50 75 55 75 275 62 225 55	184 31 44 31 49 186 30 169 28
<p>Работа всем телом (в положении стоя): — толкание — вытягивание</p>	200 145	119 96
<p>Работа ногой (в положении сидя, с упором): — действие лодыжкой — действие всей ногой</p>	250 475	154 308

Рекомендованная зона: риск заболеваний или повреждений незначителен. Никакого вмешательства не требуется.

Не рекомендованная зона: риск заболевания или повреждения не может быть сведен к незначительному. Следовательно, необходимы дальнейшая оценка и анализ риска с учетом дополнительных факторов (поза работающего, ускорение и точность перемещения, вибрация,

Таблица 2

Коэффициент риска, определяющий зоны риска

Зона риска	$m_r$
Рекомендованная зона	$\leq 0,5$
Нерекомендованная зона	$>0,5 \dots 0,7$
Зона, которую следует избегать	$>0,7$

взаимодействие человека с машиной, наличие средств индивидуальной защиты, окружающая среда). Риск, равный 0,7, полученный в результате такого анализа, может быть, признан приемлемым.

Согласно стандарту допускается значение риска, равного 0,7. Если анализ профессиональной эксплуатации машины связан с существенным риском ( $>0,7$ ) для здоровья оператора, требуется изменение конструкции или принятия других мер по его снижению. В стандарте подчеркивается, что зона, в которой риск заболевания или повреждения очевиден, не может считаться приемлемой. Следовательно, необходимы меры с целью снижения риска.

Согласно ГОСТу оценку выносливости с учетом риска выполняют следующим образом. Значение  $F_B$ , полученное на этапе В, умножают на коэффициент риска, указанный в табл. 2.

Усилие  $F_R$ , учитывающее оценку риска, вычисляют по формуле

$$F_R = F_B \cdot m_r$$

Коэффициент риска  $m_r$  учитывает выносливость тканей человеческого тела (в частности, мускулов, сухожилий и суставов) в той мере, в какой это допустимо с точки зрения безопасности.

В заключение отмечено, что эксплуатация машин с высокой частотой силового воздействия может привести к высокому уровню риска травматизма оператора независимо от значения требуемого усилия воздействия.

Представляется, что введение ГОСТ Р ЕН 1005-3—2010 "Безопасность машин. Физические возможности человека. Часть 3. Рекомендуемые пределы усилий при работе на машинах" будет содействовать обеспечению безопасности станочного оборудования на этапе его проектирования, безопасных условий труда при его эксплуатации, повышению производительности труда операторов станков за счет снижения уровня травматизма и улучшения условий труда.

Э. П. Пышкина, канд. техн. наук, проф.,  
А. В. Бондаренко, асп., МГТУ им. Н. Э. Баумана  
E-mail: anytabond@rambler.ru

### Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии"

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

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

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

Телефон главного редактора (812) 670-9376(55), e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Дизайнер Т. Н. Погорелова.

Технический редактор Е. М. Патрушева. Корректор Е. В. Комиссарова

Сдано в набор 02.04.13. Подписано в печать 14.05.13. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Заказ ВГ613.

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 солишнз".

Отпечатано в ООО "Авансед солишнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.