



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

1(133)  
2012

**Редакционный совет:**

БАЛЫХИН Г. А.  
БЕЛОВ С. В.  
ГРИГОРЬЕВ С. Н.  
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.  
(председатель)  
КОТЕЛЬНИКОВ В. С.  
ПАВЛИХИН Г. П.  
СОКОЛОВ Э. М.  
СОРОКИН Ю. Г.  
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.  
МИНЬКО В. М.  
ПАНАРИН В. М.  
ПОЛАНДОВ Ю. Х.  
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.  
ФРИДЛАНД С. В.  
ХАБАРОВА Е. И.  
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Левашов С. П. Проблемы перехода к управлению профессиональными рисками в РФ . . . 2

### ОХРАНА ТРУДА И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ

Ахметов А. Ф., Ибатуллин У. Г. Проблемы безопасных условий труда и инновационного развития . . . 11

### ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Бызов А. П., Ефремов С. В. Методические подходы к оценке индивидуального и коллективного рисков для площадочных взрывопожароопасных объектов . . . 15

Павлова Н. М., Иванова М. В., Волохина А. Т., Глебова Е. В. Подбор психодиагностических методик для оценки профессионально важных качеств руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара" . . . 20

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Добросельский К. Г. Модель оценки рассеяния газообразных вредных веществ от вертикальных сосредоточенных источников . . . 25

Ермолаева Н. В., Голубков Ю. В. Воздействие масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на человека и окружающую среду и методы его минимизации. . . 29

Чернышев В. В., Брискин Е. С. Исследование взаимодействия шагающего движителя с экологически ранимым почвенным покровом . . . 34

Шаврак Е. И. Анализ устойчивости природно-техногенных систем с помощью неравновесных потенциальных функций. . . 39

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Акатьев В. А., Грязнев Д. Ю., Дмитриев М. В., Назаров Г. С. Обеспечение безопасности применением легкоплавающих средств защиты . . . 44

Новиков В. В. Лесной пожар и средство защиты и спасения человека "Феникс" . . . 50

### СТАНДАРТИЗАЦИЯ

О новом национальном стандарте системы стандартов безопасности труда "Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков" . . . 53

**Приложение.** Акатьев В. А., Ларионов В. И., Милютин Н. П., Сушев С. П., Дмитриев М. В. Совершенствование способов и средств внутритрубного неразрушающего контроля функционирующей дымовой трубы

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

УДК 638.382.3(075.8)

**С. П. Левашов**, канд. техн. наук, доц., Курганский государственный университет  
E-mail: spl157@mail.ru

## Проблемы перехода к управлению профессиональными рисками в РФ

*Рассмотрены проблемы, связанные с внедрением в РФ системы оценки и управления профессиональными рисками. Предложены методические подходы к формированию системы мониторинга и критериев оценки профессиональных рисков на основе комплекса статистических показателей, используемых в странах ЕС и США.*

**Ключевые слова:** охрана труда, профессиональный риск, анализ риска, управление риском, статистика травматизма, статистические показатели, критерии оценки риска

**Levashov S. P.** *The problem of the transition to management of occupational risks in the Russian Federation*

*Consider the issues related to the introduction in the RF system evaluation and management of occupational risks. Proposed methodological approaches to monitoring and evaluation criteria system of occupational hazards on the basis of a set of statistical indicators used in the EU and the United States.*

**Keywords:** occupational safety, occupational risk, risk analysis, risk management, injury statistics, statistical indicators, criteria for assessing risk

Улучшение условий и охраны труда объявлено одной из стратегических задач Правительства Российской Федерации. На федеральном уровне принята Программа действий по улучшению условий и охраны труда в РФ, направленная на создание и обеспечение безопасных условий труда на рабочих местах и снижение смертности и травматизма на производстве. Основным средством достижения целей этой Программы является внедрение системы управления профессиональными рисками на каждом рабочем месте и вовлечение в управление этими рисками основных сторон социального партнерства.

Реализация государственной социальной политики по обеспечению здоровья и безопасности работников предполагает усиление деятельности по снижению рисков профессиональной заболеваемости и производственных травм, осуществлению мероприятий профилактической направленности. Один из самых перспективных и эффективных подходов — это

методика оценки и управления профессиональными рисками на уровне предприятий. Во многих зарубежных странах этот инструмент позволяет добиться исключительно высоких результатов и желанной цели — рабочих мест без травм и профзаболеваний, повышения производительности труда и сокращения затрат.

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 18 июля 2011 г. № 238-ФЗ "О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации" в статью 209 внесены следующие дополнения:

"Профессиональный риск — вероятность причинения вреда здоровью в результате воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов при исполнении работником обязанностей по трудовому договору или в иных случаях, установленных настоящим Кодексом, другими федеральными законами. Порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений".

Управление профессиональными рисками — комплекс взаимосвязанных мероприятий, включающих в себя меры по выявлению, оценке и снижению уровней профессиональных рисков. Положение о системе управления профессиональными рисками утверждается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда с учетом мнения Российской трехсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений".

Принятие данного законопроекта является важным шагом в формировании нормативно-правового обеспечения реализуемой Программы. Создаваемая система нормативного правового регулирования в сфере охраны труда для условий российской экономики в основном соответствует положениям Евросоюза в указанной сфере регулирования, согласуется с положениями осуществляемого в России технического регулирования. Вместе с тем, коренному улучшению условий труда, снижению уровня производственного травматизма объективно препятствует ряд проблем, которые сформулированы и рассмотрены ниже.

### 1. Отсутствие объективной статистической информации о состоянии условий труда, производственного травматизма и профессиональной заболеваемости.

Для определения тенденций в сфере безопасности труда и принятия взвешенных управленческих решений необходимо наличие сопоставимых данных о несчастных случаях на производстве и профессиональных заболеваниях. Для этого нужно, чтобы все статистические данные о несчастных случаях на производстве были зафиксированы и обработаны аналогичными и сопоставимыми способами.

В настоящее время статистическая отчетность об условиях труда, производственном травматизме, профессиональной заболеваемости и об их материальных последствиях проводится несколькими ведомствами и данные этих организаций имеют значительные расхождения по одним и тем же показателям [1]. Это обусловлено различием целей и методов ведения статотчетности. Кратко охарактеризуем их.

- Федеральная служба по труду и занятости (*Роструд*) — осуществляет сбор и анализ данных по групповым несчастным случаям, случаям с тяжелым и смертельным исходом.
- Фонд социального страхования (*ФСС*) — осуществляет сбор и анализ данных по пострадавшим работникам, застрахованным по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, а также осуществляет страховые выплаты (по всем видам несчастных случаев, а также по профессиональным заболеваниям).
- Федеральная служба государственной статистики (*Росстат*) — осуществляет сбор и анализ данных по несчастным случаям на производстве по выборочному кругу организаций отдельных видов экономической деятельности.
- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (*Роспотребнадзор*) — осуществляет сбор и анализ данных по случаям диагнозов профессиональных заболеваний.

Информация, представляемая различными ведомствами, существенно различается в зависимости от ее источника. Даже статистика производственного травматизма с летальным и тяжелым исходом Росстата отличается от данных, получаемых в ходе контрольных проверок, проводимых Федеральной службой по труду и занятости (рис. 1). Можно с высокой степенью достоверности предположить, что в оценках других видов травматизма и профессиональной заболеваемости эта погрешность существенно выше.

В действующей информационной системе по вопросам охраны труда и социального страхования [2] отсутствуют такие важные функции, как единая методология подсчета и анализа количества несчастных случаев и передача с регионального на федеральный уровень информации о состоянии дел в сфере условий и охраны труда. Между тем без создания системы, отслеживающей состояние условий и охраны

труда в динамике, причины производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, невозможно эффективно управлять охраной труда.

По оценкам Международной организации труда (МОТ), в среднем на один смертельный случай производственного травматизма приходится от 500 до 2000 легких и тяжелых случаев ("пирамида несчастных случаев"). Если исходить из этого соотношения, то в РФ в настоящее время общий производственный травматизм должен составлять от 3 до 6, а возможно и более миллионов несчастных случаев в год (по официальной статистике — около 150...200 тыс.), так как смертельный травматизм равен 6—7 тыс. случаев [1, 3]. При этом в странах ЕС нетрудоспособность по травме считают, начиная с четвертого дня, а в России — с первого, т. е. несоответствие между данными статистики и возможным числом несчастных случаев будет еще больше.

За последние годы Россия полностью или частично ратифицировала ряд международных конвенций в данной сфере, в частности: Конвенцию № 148 "О защите работников от профессионального риска, вызываемого загрязнением воздуха, шумом и вибрацией на рабочих местах", Конвенцию № 155 "О безопасности и гигиене труда и производственной среде", Конвенцию № 160 "О статистике труда" и др. Ратификация конвенций предусматривает особые обязательства по их выполнению. Вместе с тем, говоря о Конвенции № 155, нельзя не упомянуть о Протоколе к ней от 2002 г., пока еще не ратифицированном Россией. Этот Протокол содержит требования по регистрации и уведомлению о несчастных случаях на производстве, профессиональных заболеваниях, аварийных ситуациях, несчастных случаях в пути на работу и с работы, а также о предполагаемых случаях профессиональных заболеваний. Однако в нынешних условиях обязанность публиковать общенациональную статистику по производственному травматизму и профзаболеваниям, закрепленная в статьях 6 и 7 Протокола, не лучшим образом отразится на имидже России.

Для устранения разобщенности ведомственного учета и гармонизации статистического учета Минис-

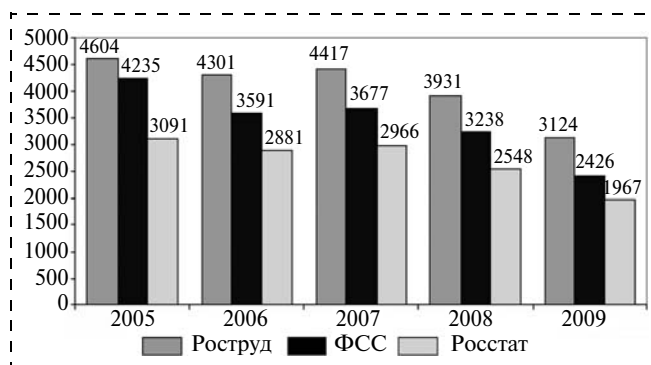


Рис. 1. Динамика численности пострадавших со смертельным исходом за период с 2005 по 2009 г. в Российской Федерации (по данным разных источников) [1]



терством здравоохранения и социального развития Российской Федерации выпущен приказ от 17 февраля 2010 г. № 91 "О проведении общероссийского мониторинга условий и охраны труда", утверждающий "Положение о проведении общероссийского мониторинга условий и охраны труда". В соответствии с ним, начиная с 2010 г., общероссийский мониторинг проводится Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации с участием Федеральной службы по труду и занятости, Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Фонда социального страхования Российской Федерации, Пенсионного фонда Российской Федерации, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области охраны труда, иных органов и организаций в пределах их полномочий в соответствии с утвержденным Положением.

Предпринятые шаги должны повысить качество и достоверность статистической информации, однако механизмы их реализации нуждаются в дальнейшей проработке. Для нормализации ситуации с регистрацией и выявлением производственного травматизма и профессиональных заболеваний необходимо разработать государственную программу защиты работников от профессиональных рисков, включающую ратификацию базовых конвенций МОТ и нормативных документов ЕС в области охраны труда.

## **2. Номенклатура статистических показателей, утвержденных Росстатом, не отвечает требованиям, необходимым для функционирования системы управления профессиональными рисками.**

В соответствии с приказом Росстата от 23 марта 2006 г. система отчетных показателей, формируемых субъектами РФ, традиционно включает перечисленные ниже позиции.

- Списочную численность работников крупных и средних организаций промышленного производства, строительства, транспорта и связи, занятых в условиях, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, занятых тяжелым физическим трудом, работающих на оборудовании, не отвечающем требованиям безопасности, занятых на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда.
- Списочную численность работников крупных и средних организаций промышленного производства, строительства, транспорта и связи, работающих во вредных и (или) опасных условиях труда, которым установлен хотя бы один вид компенсаций.
- Размер средств, израсходованных на мероприятия по охране труда за отчетный период.
- Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более.
- Численность пострадавших со смертельным исходом из общего числа пострадавших.

- Число человеко-дней нетрудоспособности у пострадавших с утратой трудоспособности на 1 рабочий день и более, временная нетрудоспособность которых закончилась в отчетном периоде.

Данные показатели безусловно важны и необходимы для решения проблем социального страхования, однако не обеспечивают необходимую информационную поддержку в решении вопросов управления профессиональными рисками. Зарубежный опыт показывает, что сбор, обработка и анализ статистической информации являются ключевыми факторами в обеспечении высокой эффективности деятельности в этой области. Для сравнения отметим, что комплекс статистических показателей, формируемых на уровне Европейского союза (ЕС), помимо аналогичных, включает:

- профессиональный статус пострадавшего;
- занимаемую должность;
- характер травмы (например, перелом и т. д.);
- наименование органа, подвергшегося травмированию (например, нога и т. д.).

Кроме того, представляется информация с описанием несчастного случая, включающая:

- указание места (собственное рабочее место, другое рабочее место на предприятии или вне его);
- дату и время;
- указание смены, час заступления в смену и количество отработанных часов до того, как произошел несчастный случай;
- характеристику рабочей среды (например, цех, контора, дорога, улица и др.);
- выполняемую операцию (например, сварка, ремонт, ручной перенос тяжестей и др.);
- объект или объекты, связанные с работой пострадавшего (например, станок, инструмент, механический пресс, автокар и др.);
- тип несчастного случая (например, падение и др.);
- материальный фактор, связанный с несчастным случаем (например, лестница и др.) и т. д.

Все данные унифицированы и кодируются с использованием действующих межгосударственных классификаторов и согласованных методик. По мере поступления более детальной информации компетентные органы на уровне ЕС (Евростат и др.) классифицируют несчастные случаи по следующим категориям:

- количество несчастных случаев со смертельным исходом, подразделяемое на количество смертей в период, составляющий тридцать дней с момента несчастного случая, приведшего к летальному исходу, и количество смертей в период между тридцатью и одним днем (30 + 1) и триста шестьдесят пятым днем с момента несчастного случая, приведшего к летальному исходу;
- количество травм без смертельного исхода, не повлекших за собой потерю ни одного рабоче-

го дня или отсутствие на рабочем месте (по официальному определению страны), и количество травм, в результате которых были потеряны рабочие дни (не включая день получения травмы) — от одного до трех и более дней;

- общее число рабочих дней, потерянных вследствие несчастных случаев без смертельного исхода, распределенных по двум категориям: до трех потерянных дней и свыше трех потерянных дней.

В результате многолетней скоординированной работы национальных и межгосударственных органов и организаций современная статистика ЕС представляет собой обширную базу данных, сформированную на основе статистических стандартов, предусматривающих единую форму процесса сбора, обработки и представления статистических сведений. Имеющаяся нормативная база обеспечивает возможность анализа оперативной информации, необходимой для разработки целенаправленных стратегий предотвращения несчастных случаев, а также средства для мониторинга здоровья и безопасности труда и эффективности регулирования в этой сфере.

Эти и другие статистические данные в настоящее время представляют точный статистический портрет здоровья и безопасности на рабочих местах в ЕС и позволяют поддерживать усилия по координации политики мониторинга и определению превентивных потребностей. Они дают всеобъемлющую, сопоставимую информацию о несчастных случаях и травмах и могут использоваться, в частности, в целях:

- определения профессий и видов экономической деятельности, где происходят наиболее тяжелые производственные травмы;
- планирования превентивных мер и установления приоритетных направлений;
- обнаружения изменений в структуре и возникновении производственных травм, контроля деятельности в области безопасности и выявления новых областей риска;
- информирования работодателей, ассоциаций работодателей, работников и профсоюзов о рисках, связанных с их видом деятельности и рабочими местами, для того, чтобы они могли принять активное участие в обеспечении собственной безопасности;
- оценки эффективности превентивных мер;
- оценки расходов, связанных с производственными травмами, особенно с точки зрения потерянных дней нетрудоспособности;
- разработки политики, направленной на повышение финансовых стимулов для работодателей, ассоциации работодателей, трудящихся и профсоюзов по введению мер, направленных на предотвращение аварий;
- оказания помощи в разработке программ для предупреждения аварий;
- выявления возможных областей будущих исследований.

### **3. Статистические наблюдения Росстата в сфере состояния и условий труда осуществляются исходя из видов экономической деятельности предприятий, а не профессий или профессиональных групп работников, что характеризует лишь общую ситуацию в этой сфере, но не позволяет анализировать причинно-следственные связи в системе "профессиональная деятельность — профессиональный риск".**

Деление экономической деятельности на сферы, применяющееся в отечественной практике, имеет целью создание предпосылок для статистической характеристики, анализа и прогнозирования потоков товаров и услуг, доходов и расходов, капитала и финансовых операций, а также для изучения поведенческих взаимоотношений между экономическими агентами.

В качестве классификационных признаков в Общероссийском классификаторе видов экономической деятельности (ОКВЭД) используются показатели, характеризующие сферу деятельности, процесс (технологии) производства в разбивке по детализованным видам экономической деятельности, по классам размеров производственных единиц и т. д. Объектами классификации в ОКВЭД являются виды экономической деятельности.

При определении основного вида экономической деятельности не учитывается деятельность, являющаяся составной частью единого технологического процесса, а весь процесс классифицируется по конечной продукции. Вспомогательным видом деятельности является деятельность, которая выполняется в рамках организации с целью обеспечения или облегчения производства этой организацией товаров и услуг, предназначенных для продажи на сторону. Большинство вспомогательных видов деятельности производят услуги (деятельность администрации, специалистов и служащих, бухгалтерии, деятельность, связанная с обработкой данных, сбытом, маркетингом, транспортированием и т. д.) и не учитываются при определении основного вида деятельности, предприятия.

Группировка видов экономической деятельности в ОКВЭД направлена на информационную поддержку решения задач по анализу, описанию и регулированию национальной экономики РФ, отраслей, предприятий, *но не отвечает целям и задачам информационного обеспечения процессов анализа и управления профессиональными рисками.*

Профессиональная деятельность работников отождествляется с видом экономической деятельности предприятия. При этом непосредственные опасности и профессиональные риски работников, занятых на этапах технологического цикла проектирования, производства, изготовления, сборки, наладки, монтажа и т. д. продукции и исследуемых в ходе аттестации работ по условиям труда, неким образом усредняются и трансформируются в числовой показатель, связанный с видом конечного продукта/услуги. В результате риски, связанные с деятельностью работника, вне зависимости от его профессиональной принадлежности, оце-



ниваются и классифицируются исходя из принадлежности предприятия или организации к виду, классу или группе экономической деятельности, т. е. в конечном счете соотносятся с видом выпускаемой продукции или оказываемыми услугами.

Законодательное определение профессионального риска, изложенное в ФЗ № 125-ФЗ "Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний", также однозначно связывает профессиональную деятельность работника с видом экономической деятельности предприятия или организации. В этом контексте понятие "профессиональный" оказывается тождественным понятию "производственный" ("отраслевой"), т. е. включает в себя все факторы, оказывающие воздействие на работников различных профессий, и имеет отношение к производству (виду экономической деятельности предприятия или отрасли в целом), а не к профессии или профессиональной группе.

При внешней схожести понятий, особенно на уровне подгрупп или видов сфер деятельности, ОКВЭД не является аналогом и не подменяет Общероссийский классификатор занятий (ОКЗ). Классификационной единицей ОКЗ является занятие, под которым понимают любой вид трудовой деятельности, приносящий заработок (доход), в том числе не требующий специальной подготовки. Объектами классификации являются группы занятий, однородные по содержанию работ и уровню квалификации. В качестве признаков для определения общности (сходства) работ и группировки занятий положены характеристики занятий: содержание функций (выполняемых работ), предметы и орудия труда, масштаб и сложность руководства, конечные результаты трудовой деятельности и др., определяющие квалификацию и специализацию работников.

Об отсутствии прямой зависимости "профессия — вид экономической деятельности" свидетельствует уже тот факт, что по действующим Правилам [4] "бюджетные учреждения относятся к 01 классу профессионального риска в части деятельности, которая финансируется из бюджетов всех уровней и приравненных к ним источников". Экономическая обоснованность этого положения не вызывает сомнения, в то время, как с позиций безопасности труда оно, по меньшей мере, не логично в связи с тем, что вне зависимости от вида трудовой деятельности или профессиональной принадлежности "предписывает" всем работникам бюджетной сферы идентичные и безопасные условия труда. В этой связи заслуживают внимания формулировки, предлагаемые в ряде работ — "уровень профессионального риска трудовой деятельности (функции) работника" и "класс профессионального риска производственной деятельности работодателя" [5].

*Профессиональная деятельность* — это социально значимая деятельность человека, которая характеризуется по предмету труда, целям, средствам и условиям труда, по составу и характеру действий, психофизи-

ологическим особенностям и степени необходимой квалификации субъекта труда, выполнение которой требует специальных знаний и умений, а также профессионально важных качеств личности.

Понятие производственной деятельности применимо не столько к отдельной профессии, сколько к определенным видам работ вообще, т. е. к определенному производству. Производственная деятельность связана с особенностями конкретного производства с учетом применяемой технологии, системы менеджмента, условий труда (например, производственный цикл, производственная среда, производственная травма). Таким образом, понятие "производственный" включает в себя все факторы, оказывающие воздействие на работников определенной профессии в процессе его трудовой деятельности и имеет отношение к производству (виду деятельности, предприятию или отрасли в целом) [6].

Профессии и виды занятий — это ключевые параметры в исследовании и обеспечении безопасности труда, анализе и оценке производственного травматизма и профессиональной заболеваемости. При таком подходе к организации исследований открываются возможности для выявления общих закономерностей, присущих различным видам деятельности, связанных с опасностью. Действующая система анализа профессионального травматизма, основанная на ОКВЭД, — не что иное, как попытка выявления и анализа причинно-следственных связей в системе "продукция/услуги — профессиональный риск", вместо "профессиональная деятельность — профессиональный риск". В то же время в системе отчетных показателей предприятий и организаций ОКЗ широко применяется для решения других задач, связанных с оценкой численности рабочих и служащих, учетом состава и распределением кадров по категориям персонала, уровню квалификации, степени механизации и условиям труда, вопросами обеспечения занятости, организации заработной платы рабочих и служащих, начисления пенсий, определения дополнительной потребности в кадрах и др.

#### **4. Отсутствуют объективные критерии оценки и оценивания приемлемости профессиональных рисков.**

Для разработки политики эффективного предупреждения производственного травматизма работодатель должен выполнить ряд аналитических исследований по оценке рисков для здоровья и безопасности на рабочих местах. Одним из методов выявления профессиональных рисков является оценка произошедших несчастных случаев.

В настоящее время в РФ для характеристики травматизма используются следующие показатели: уровень травматизма на производстве, уровень травматизма на производстве со смертельным исходом, число человеко-дней нетрудоспособности в расчете на одного пострадавшего, материальные последствия несчастных случаев на производстве в расчете на одного пострадавшего, расходы средств на охрану труда в расчете на одного работающего.



Вместе с тем, отсутствуют согласованные критерии оценки и оценивания приемлемости профессиональных рисков. Термин "социально приемлемый риск" абстрактно трактуется, как "риск, величина которого является допустимой (приемлемой) для общества на данном этапе его исторического развития".

Как отмечается в законе № 238-ФЗ "О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации", порядок оценки уровня профессионального риска устанавливается федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда. В настоящее время такой документ находится в стадии разработки, поэтому необходимы дальнейшие научные разработки проблем оценки и управления профессиональными рисками и рекомендации по практическому применению этих разработок в конкретных производств с целью минимизации профессиональных рисков.

В общем случае оценка (расчет) рисков включает: выявление опасностей, определение (расчет) для каждой из них размеров возможных ущербов здоровью, вероятностей их наступления, проведение расчета значения показателя рисков. Оценка значимости этих рисков должна давать результаты, необходимые для практики: предвидеть наиболее возможные риски, предусмотреть наиболее эффективные меры их профилактики и, тем самым, максимально надежно их предотвратить. Решение этих задач может осуществляться прямыми и косвенными методами.

*Косвенные методы* оценки рисков для здоровья и жизни работников основаны на определении класса условий труда и ранжировании уровня требований. Они используют показатели, характеризующие отклонение существующих (контролируемых) условий (параметров) от норм и имеющие причинно-следственную связь с рисками. Отнесение условий труда к тому или иному классу в зависимости от уровней (значений) показателей, характеризующих вредные и (или) опасные производственные факторы, тяжесть и напряженность труда, выполнение требований безопасности труда, осуществляется в ходе аттестации рабочих мест.

*Прямые методы* используют статистическую информацию по выбранным показателям рисков или непосредственно показатели ущерба и вероятности их наступления. Они предполагают обработку статистических материалов и опираются на фактические данные о происшедших несчастных случаях, авариях, инцидентах, о выявленных профзаболеваниях. Эти методы наиболее точно позволяют прогнозировать состояние безопасности профессиональной деятельности человека на длительную перспективу в предположении неизменности условий производства. Оценка уровня риска осуществляется методами многомерного статистического анализа [7, 8].

Основанием для выбора прямых методов оценки рисков является наличие достоверной статистичес-

кой информации. Точные статистические данные о здоровье и безопасности на рабочем месте являются критически важными для контроля за политикой в области безопасности и определения превентивных направлений ее реализации. Наличие надежной и сопоставимой статистической информации является необходимым условием для установления целей политики предприятия или организации в сфере безопасности труда и принятия соответствующих мер по ее обеспечению. В российской практике использование данных методов ограничено из-за отсутствия необходимой статистической информации.

В этой связи представляет интерес международный опыт, в частности, стран — членов ЕС, США, Канады и ряда других [3, 9—13]. Адаптированный для условий Российской Федерации, он может быть очень полезным при реализации задач анализа и оценки профессиональных рисков. Первичная цель сбора и анализа данных о несчастных случаях на производстве состоит в том, чтобы сформировать информационную базу для ее последующего использования всеми заинтересованными лицами в предотвращении производственных травм, смертельных несчастных случаев и других форм вреда, например, таких как воздействия отравляющих веществ.

В практике стран ЕС, США и ряда других тяжесть последствий для профессионального риска связывают с длительностью потери профессиональной трудоспособности, с потерей общей трудоспособности либо со смертью пострадавшего. При этом относительно незначительная потеря нормальной работоспособности (на 1 день в России или на 3—4 дня в других странах) из-за травмы не считается потерей трудоспособности, не идентифицируется как профессиональный риск, не учитывается как производственная травма или несчастный случай на производстве.

Бюро трудовой статистики (BLS) Департамента труда США производит ежегодные обзоры производственного травматизма и профессиональных заболеваний, начиная с 1972 г. [12]. Данные обзоры охватывают все предприятия и компании государственного и частного секторов на территории США, за исключением компаний с числом работников менее 11 человек, самозанятых и работников федеральных, штатных и местных органов власти.

Среднее количество потерянных рабочих дней — это количество и процентное распределение дней нетрудоспособности в случаях, связанных с потерей рабочего дня. Среднее число дней отсутствия на работе определяет среднее количество пропущенных дней, связанных с особенностью характера травмы. Длительность нетрудоспособности распределяется по дням (1, 2, 3—5, 6—10, 11—20, 21—30, 31 и более) по всей стране, во всех сферах промышленности и в соответствии с демографическими характеристиками работника.

Практическую значимость подобной информации иллюстрирует пример, приведенный ниже. В таблице представлены данные распределения дней



**Распределение дней нетрудоспособности, %, работников добывающей промышленности США**

Год	Общее число несчастных случаев, тыс. чел.	1 день	2 дня	3–5 дней*	6–10 дней*	11–20 дней*	21–30 дней*	31 день и более*
1992	22,97	8,9	7,7	5,06	2,7	1,09	0,68	0,265
1993	21,09	9,0	7,7	5,0	2,98	1,08	0,68	0,258
1994	20,73	9,1	7,2	5,26	2,75	1,0	0,59	0,273
1995	19,78	10,2	8,2	4,93	3,43	0,95	0,59	0,252
1996	15,09	8	7,8	4,5	3,1	1,14	0,61	0,271
1997	18,07	8,86	7,4	4,53	3,68	1,93	1,1	0,229
1998	13,73	10,4	7,4	4,1	2,15	1,0	0,58	0,304
1999	11,32	7,8	7,1	4,07	2,4	1,01	0,69	0,308
2000	14,08	9,1	7,9	5,57	2,6	0,95	0,52	0,300
2001	10,58	8,6	7,1	4,3	3,0	1,1	0,84	0,260
2002	11,35	8,4	7,3	4,2	2,98	1,11	0,67	0,296
2003	79,6	10,3	8,6	5,8	3,23	1,19	0,64	0,215
2004	10,4	12,4	9,1	5,8	2,0	1,43	0,72	0,289
2005	9,02	8,9	7,4	4,5	2,45	1,12	0,9	0,281
2006	9,41	10,3	7,0	3,87	2,65	1,29	0,8	0,265
2007	9,92	8,1	6,0	3,83	2,25	1,15	0,77	0,308
2008	10,63	12,4	9,1	5,0	1,98	1,32	0,68	0,256
2009	7,84	7,5	6,5	4,33	2,1	1,1	0,77	0,304
Среднее за период		9,347	7,583	4,702	2,690	1,164	0,712	0,274

\* Среднее значение в диапазоне дней.

нетрудоспособности работников добывающей промышленности.

Анализ показывает, что зависимость дней нетрудоспособности от частоты несчастных случаев имеет экспоненциальное распределение (рис. 2), а уравнение числового ряда принимает вид:

$$y = 22,29e^{-0,58x}$$

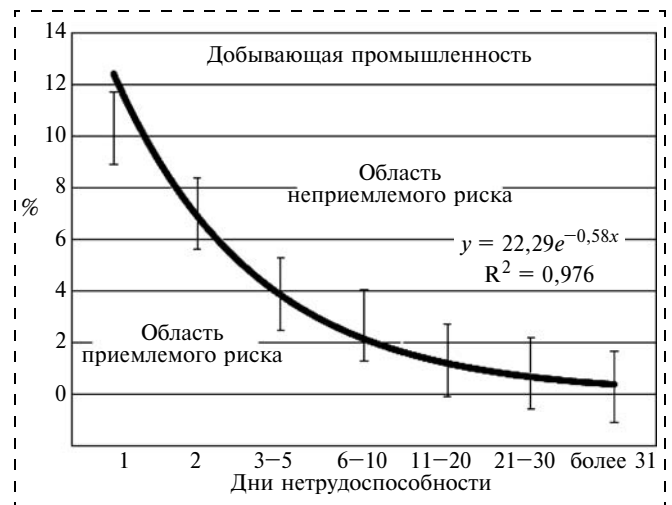
Величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,976$ .

Зависимости дней нетрудоспособности для других видов деятельности представлены ниже.

Сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство . . . . .	$y = 52,45e^{-0,77x}$
Строительство . . . . .	$y = 43,34e^{-0,72x}$
Промышленное производство . . . . .	$y = 49,94e^{-0,76x}$
Транспорт и коммунальные услуги . . . . .	$y = 34,87e^{-0,67x}$
Финансы, страхование и недвижимость . . . . .	$y = 55,21e^{-0,78x}$
Оптовая и розничная торговля . . . . .	$y = 34,38e^{-0,61x}$
Услуги . . . . .	$y = 38,22e^{-0,64x}$

Результаты исследований позволяют утверждать, что экспоненциальное распределение имеет фундаментальный характер для подобных событий и может использоваться в качестве основного критерия оценки и оценивания уровня профессиональных рисков.

Следовательно, критерий приемлемого риска должен определяться не конкретной цифрой для отдельного несчастного случая, а кривой, построенной на основе объективных статистических данных для различных видов деятельности или профессиональных



**Рис. 2. Распределение дней нетрудоспособности работников**

групп. С учетом сопоставления имеющейся статистики травматизма в РФ и США полученная кривая (см. рис. 2) может использоваться в качестве критерия приемлемости профессионального риска для работников добывающей промышленности РФ. Область, находящаяся ниже кривой, соответствует приемлемым значениям риска, выше — чрезмерно высоким неприемлемым значениям риска.

Таким образом, достоверная статистика травматизма формирует ценный инструмент в широком





диапазоне контекстов: контроль и предупреждение, расположение по приоритетам областей предотвращения, определенные превентивные меры, поиск и исследование информации.

##### **5. Низкий уровень мотивации руководства к решению вопросов охраны труда и снижению профессиональных рисков.**

Безопасность — ключевой компонент для любой организации, стремящейся к стабильной и эффективной деятельности. Анализ показывает, что причиной многих происшествий, связанных с охраной труда и безопасностью на производстве, на протяжении многих лет, является недостаточное внимание к этому вопросу со стороны руководства.

Российский опыт работы предприятий и организаций в области безопасности, охраны здоровья, труда и окружающей среды свидетельствует о том, что многие производственные компании все еще не встали на путь к достижению зрелой культуры в области охраны труда и промышленной безопасности [13].

Опыт показывает, что руководители старшего звена в крупных компаниях иногда имеют противоречивые точки зрения в отношении тех, кто несет ответственность за безопасность в их компаниях. Часто руководители не имеют единого подхода к управлению и ответственности в области охраны труда (ОТ) и промышленной безопасности (ПБ). Цели в области охраны труда, поставленные для руководителей на корпоративном и локальном уровнях отдельных предприятий, как правило, не носят всеобъемлющего характера.

Большинство крупных промышленных предприятий, работающих в настоящее время в России, были построены в советское время и оснащены устаревшими оборудованием и транспортными средствами, требующими постоянного ремонта и повышенного внимания. Подобное устаревшее оборудование увеличивает риски в области ОТ и ПБ, в том числе и потому, что требует ручного управления. Это ведет не только к недостатку возможности улучшить условия труда на рабочем месте, но также подрывает веру рабочих в то, что руководство готово поставить вопросы охраны труда и промышленной безопасности на первое место. Во многих случаях необходимы значительные капиталовложения для реализации современных инженерных решений, в частности, в области снижения уровня шума, выбросов в атмосферу, устройства защитных ограждений и т. п.

Российские промышленные компании чаще всего в большей степени полагаются на точное выполнение письменных инструкций и процедур, нежели чем на эффективное управление рисками. Такой подход особенно очевиден, когда наличие официальных документов, подтверждающих компетентность работников, воспринимается менеджментом компаний как свидетельство того, что работники всегда соблюдают все необходимые требования. Главным отличием современных систем менеджмента производственной безопасности и здоровья (СМ ПБЗ) от традиционной

(государственной) системы управления охраной труда (СУОТ) является то, что целью современной СМ ПБЗ является не сохранение, а непрерывное повышение уровня безопасности труда и совершенствование СМ ПБЗ [14]. Эти различия — принципиальные несмотря на то, что одним из условий реализации современной СМ ПБЗ является "соответствие, как минимум, действующему законодательству" [6].

Трудовое законодательство РФ отличается от международных стандартов, поэтому компаниям, особенно являющимся частью международных корпораций, достаточно трудно одновременно соблюдать как требования российского законодательства, так и международные стандарты.

Руководители корпоративного уровня, как правило, не всегда осведомлены о том, что на подотчетных предприятиях имеют место проблемы, связанные с идентификацией рисков и опасностей, а также присутствует мелкий травматизм (например, порезы, ушибы и т. п.) или инциденты. Программы по минимизации рисков, реализуемые в соответствии с законодательными требованиями, как правило, не обеспечивают адекватного уровня управления ими. Наличие большинства опасностей/рисков в области технологической безопасности, как правило, не всегда сопровождается способностью руководства своевременно распознавать их, или же существующие подходы к выявлению рисков и управлению ими не позволяют своевременно доводить правильную информацию до сведения руководителей, принимающих решения.

"Система командного управления" не стимулирует работников к открытому обсуждению проблем ОТ и ПБ из-за боязни того, что это может привести к наказанию. Другим фактором является то, что на многих промышленных предприятиях с продолжительной историей эксплуатации отношение к работе во многом основано на принципе "главное — план". В результате небезопасные условия работы могут считаться приемлемыми, и некоторые травмы/несчастные случаи скрываются, чтобы не создавать препятствий для достижения поставленных производственных целей. Кроме того, многие работники хорошо осведомлены о том, что чем меньше на предприятии несчастных случаев, связанных с временной потерей трудоспособности, тем меньше средств предприятие должно отчислять в фонд социального страхования, и это также может подталкивать руководство к тому, чтобы занижать статистику по травматизму.

В настоящее время ведущие российские компании используют концепцию "интегрированного управления", помогающую создать эффективную основу для постоянного улучшения деятельности в этой области. Комплексная оценка культуры в сфере охраны труда и промышленной безопасности могла бы стать хорошей отправной точкой для создания такого интегрированного подхода на пути к "нулевому травматизму" и улучшить общую культуру в области ОТ и ПБ. Она также помогла бы обрести



четкое понимание того, как обстоят дела с ОТ и ПБ в компании, каковы коренные причины низкой эффективности в этой области на данный момент, каковы последствия этого для бизнеса и что необходимо делать для того, чтобы компания была стабильно лучшей с точки зрения этого показателя в своем классе. Важна она и для ликвидации производственного травматизма.

### Выводы

1. Защита здоровья и безопасность сотрудников являются существенными составляющими управления рисками и должны соблюдаться на постоянной и планомерной основе. В целях достижения эффективности в сфере охраны труда и промышленной безопасности необходимо пройти длительный путь создания эффективной системы управления, поиска технических решений и изменения отношения к рискам и производственной культуре. Разработка процедур, связанных с управлением профессиональными рисками, требует новых, более полных представлений о производственном травматизме, переоценки старых и выработки новых критериев и факторов оценки риска.

2. Методология анализа и оценки профессиональных рисков, основанная на принципах страховой статистики, отражает концепцию реагирования на страховые случаи *"post factum"*. Механизмы страхования обеспечивают возможность компенсации, но не формируют инструменты для разработки превентивных мер по управлению профессиональными рисками.

3. Методика оценки рисков, основанная на ОКВЭД, оперирует, по сути, не "профессиональными", а "производственными" ("отраслевыми") рисками, в то время как ключевыми параметрами в исследовании и обеспечении безопасности труда, анализе и оценке производственного травматизма и профессиональной заболеваемости являются не виды экономической деятельности организации, а профессии и профессиональные группы работников.

4. Формирование механизмов управления, оценки и контроля профессиональных рисков, банка информационных ресурсов возможно на единой методической основе, включающей комплекс гармонизированных показателей, методов, процедур сбора, кодирования и представления информации о причинах, обстоятельствах, условиях возникновения и последствиях несчастных случаев. Унификация сведений возможна на основе типовых классификаторов по всей номенклатуре учитываемых показателей.

### Список литературы

1. **Состояние** условий и охраны труда в субъектах Российской Федерации, различных видах экономической деятельности в 2009 году и меры по их улучшению [Текст]: Сб. научно-аналитических материалов / Под общ. ред. Н. П. Пашина.— Москва: ФГУ "ВНИИ охраны и экономики труда", 2010. — 90 с.
2. **Поисково-мониторинговая система** Фонда социального страхования Российской Федерации (режим доступа: <http://fz122.fss.ru/>).
3. **Statistical analysis of socio-economic costs of accidents at work in the European Union.** (*Статистический анализ социально-экономических последствий несчастных случаев на производстве в странах Европейского союза*) Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2004. — 115 p. (режим доступа: <http://europa.eu>).
4. **Постановление** Правительства РФ от 01.12. 2005 г. № 713 "Об утверждении Правил отнесения видов экономической деятельности к классу профессионального риска".
5. **Файнбург Г. З.** Еще раз о способах оценки профессиональных рисков, производимой в целях управления ими на практике. // *Безопасность и охрана труда.* — 2009. — № 2.
6. **Федорец А. Г.** Менеджмент производственной безопасности и оценка рисков. / Сборник статей. — М.: АНО "ИБТ", 2010 г. — 220 с.
7. **Левашов С. П.** Системный анализ и моделирование профессионального риска [Текст] / С. П. Левашов // *Гигиенические нормативы. Физические факторы окружающей и производственной среды / Отв. ред. О. П. Ломов.* — Издание 5-е, доп. и перераб. — СПб.: НПО "Профессионал", 2011. — Гл. 10. — С. 581— 658. — ISBN 978-5-91259-067-2.
8. **Левашов С. П.** Оценивание и оценка профессиональных рисков // "Экология. Риск. Безопасность": Материалы Международной научно-практической конференции: Сб. науч. тр. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. — В 2-х т. — Т. 2. — С. 39—42.
9. **Официальный сайт** Статистического бюро Европейского Союза (режим доступа: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>).
10. **Causes and circumstances of accidents at work in the EU** (*Причины и обстоятельства несчастных случаев на производстве в ЕС*). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009. — 240 p. (режим доступа: <http://europa.eu>).
11. **A review of methods used across Europe to estimate work-related accidents and illnesses among the self-employed.** (*Обзор методов, используемых в Европе для оценки несчастных случаев среди самозанятых лиц*). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. — 30 p. (режим доступа: <http://europa.eu>).
12. **Официальный сайт** Бюро трудовой статистики Департамента труда США (режим доступа: [www.bls.gov](http://www.bls.gov)).
13. **Левашов С. П.** Современные проблемы российских предприятий в области охраны труда и промышленной безопасности // *Вестник МАНЭБ*, Том 16, № 3, 2011 г. С. 39—41.
14. **ГОСТ Р 12.0.010—2009 ССБТ.** Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков. — Введен 10.12.2009. — М.: Стандартинформ, 2011. — 16 с.

УДК 331.45

**А. Ф. Ахметов**, декан факультета "Безопасность труда, производства и человека",  
**У. Г. Ибатуллин**, д-р хим. наук, проф., проректор по науке,  
Башкирский межотраслевой институт охраны труда, экологии и безопасности на производстве  
E-mail: mikot@mail.ru

## Проблемы безопасных условий труда и инновационного развития

*Представлен анализ условий труда и некоторых аспектов инновационного развития. Выявлены основные проблемы и причины, которые их обуславливают. Показано, что без существенного повышения производственной безопасности переход страны на инновационный путь развития не реален. Даны рекомендации по улучшению ситуации.*

**Ключевые слова:** инновации, человеческий капитал, здоровье, профзаболевания, охрана труда, безопасные условия, временная нетрудоспособность, травматизм, уровень мышления, подготовка кадров

**Akhmetov A. F., Ibatullin U. G. The problems of safe working conditions and innovation-based development**

*Analysis of working environment and some aspects of innovation-based development is presented. The key problems and reasons determining them are identified. It testifies that, it is not real to transmit our country to innovation-based development without essential rising occupational safety. The recommendations for situation improvement are given.*

**Keywords:** innovations, the human capital, health, occupational disease, labour protection, safe conditions, temporary incapacity for work, injury rate, strata of thought, personnel training

Инновационное развитие означает приоритет экономики знаний, в которой главную роль играют не ресурсы, а наука. Главной целью становится повышение конкурентоспособности за счет разработки и реализации ее новейших достижений. Поэтому при переходе на инновационный путь развития определяющими факторами принято считать уровни человеческого и физического капиталов, которые тесно взаимосвязаны в системе тройственных отношений "государство—бизнес—работник".

В структуре человеческого капитала можно выделить три основных блока: физическое и психи-

ческое здоровье, интеллектуальные способности, уровень профессиональной подготовки.

Состояние здоровья населения зависит от многих факторов, но, по мнению Всемирной организации здоровья (ВОЗ), определяющими являются социальные (50...60 %), экологические (20 %) и генетические (10...15 %). Самое печальное, что данные, характеризующие указанные факторы в России, имеют выраженную тенденцию к росту все последние годы.

На рис. 1 представлена статистика заболеваний, связанных с генетическими факторами, которые во многом зависят от негативного воздействия загрязненной окружающей среды и вредных условий труда.

Теми же значимыми факторами определяются болезни органов дыхания (рис. 2).

На рис. 3 представлена статистика заболеваемости новообразованиями.

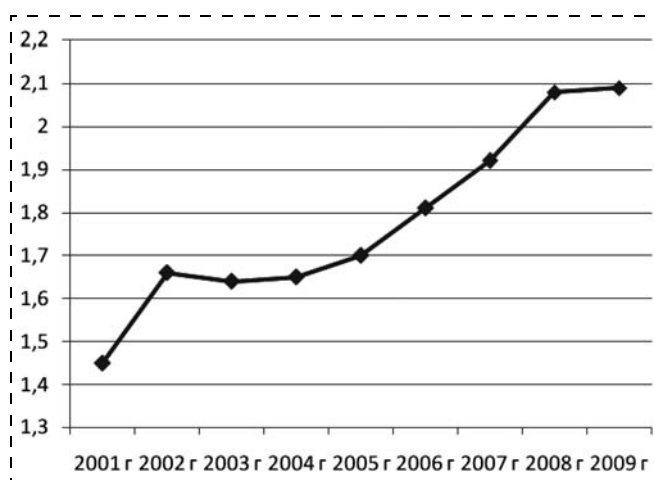


Рис. 1. Заболеваемость врожденными аномалиями в РФ в расчете на 1000 человек населения в 2001—2009 гг.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Здесь и далее материал основан на данных Федеральной службы государственной статистики (<http://www.gks.ru>).

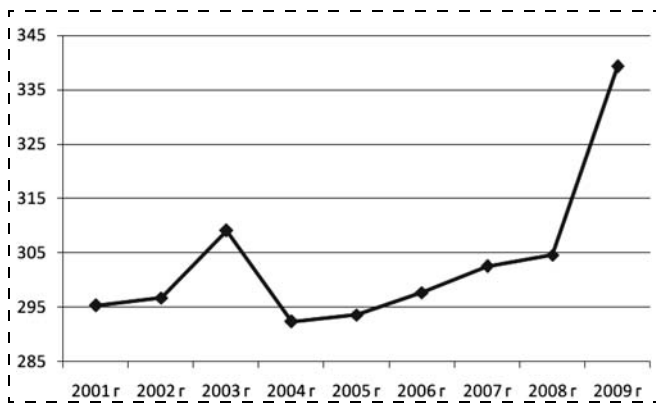


Рис. 2. Заболеваемость болезнями органов дыхания в РФ в расчете на 1000 человек населения в 2001—2009 гг.

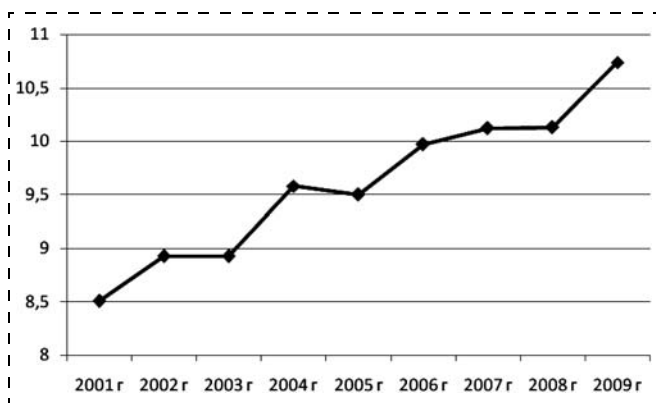


Рис. 3. Заболеваемость новообразованиями в РФ в расчете на 1000 человек населения в 2001—2009 гг.

По данным ВОЗ и международного агентства по изучению рака (МАИР), 80 % случаев возникновения злокачественных новообразований у человека обусловлено неблагоприятным воздействием на него внешних канцерогенных факторов, условий труда и быта. Причем, одной из значимых причин является профессиональная патология [1].

Заметный "всплеск" заболеваемости населения в период с 2008 по 2009 гг. обусловлен, скорее всего, развитием экономического кризиса. Причем в России регистрируется количество профзаболеваний в 40 раз меньше, чем в Дании, и в 25 раз меньше, чем в США, при несопоставимых условиях труда [2]. По данным С. Н. Бобылева (2006 г.), экономический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха и воды в субъектах ПФО и УрФО составляет от 4 до 8 % ВВП [3].

Население РФ ежегодно сокращается, причем в значительной мере за счет своей трудоспособной части. Такая тенденция в последние годы характерна для многих стран, но у нас она выражена особенно заметно. Так, с 1990 по 2007 гг. в целом

по стране доля трудоспособного населения снизилась на 6 млн человек, а к 2026 г. эта цифра вырастет от 13 до 18 млн человек [2]. Экономический ущерб от последствий неудовлетворительных условий труда в России составляет 4 % ВВП [4], а по другим данным только потери, связанные с гибелью работников и утратой здоровья на работе, практически равны планируемому ежегодному приросту объема производства [5].

Кроме естественных причин и неблагоприятного состояния окружающей среды, заметную роль играет высокий уровень производственного травматизма со смертельным исходом (в несколько раз выше, чем в развитых странах). Потери рабочего времени, связанные с временной утратой трудоспособности, только в АПК составляют 45,1 млн чел.-дней в год [6]. Сумма потерь из-за временной нетрудоспособности в РФ с 2005 по 2008 гг. неизменно росла. Около 200 тыс. человек ежегодно уходят на досрочную пенсию из-за работы во вредных условиях труда, столько же получают травмы, более 14 тыс. работников становятся инвалидами [7].

Каждый день свыше 10 россиян гибнет на работе, уровень производственного травматизма превышает аналогичные показатели стран Евросоюза в 2—3 раза, а со смертельным исходом — в 4—5 раз. По мнению ряда ученых, основная причина этого заключается в крайне неудовлетворительном обучении работников, руководителей, специалистов организаций требованиям охраны труда, предусмотренным статьей 225 Трудового кодекса РФ. Однако, по данным государственной инспекции труда Республики Башкортостан, на долю несчастных случаев на производстве, связанных с "недостатками в организации и подготовке работников по охране труда", приходится лишь 5,2 %, а вот на "неудовлетворительное содержание и недостатки в организации рабочих мест" — 31,4 % [8].

Следует отметить, что даже самое качественное обучение в условиях работы, не отвечающих санитарно-гигиеническим нормам, повсеместном использовании устаревшего оборудования и архаичных технологий, не способно улучшить условия труда и в лучшем случае может лишь помочь снизить уровень травматизма. Практикуемые в России меры в области охраны труда имеют превалирующий защитный и компенсационный характер, что предоставляет работодателю не заниматься совершенствованием техники и технологий, улучшением условий и безопасности труда. По сути, это мероприятия "на конце трубы". От такого принципа в развитых странах отказались еще в прошлом веке, когда повсеместно стала внедряться система менеджмента качества (TQM).



Основные принципы этой системы лежат и в основе ГОСТ Р 12.0.007—2009, регламентирующего систему управления охраной труда (СУОТ). В соответствии с ним в СУОТ должен быть задействован весь персонал предприятия, т. е. каждый работник. Но возможно ли это, если, по мнению Н. К. Кульбовской (2011), "...в идеологии трудового законодательства заложено отношение к наемным работникам как к рабочей силе, а не как к личности, человеку, имеющему потребности" [9].

Работодатели предпочитают вместо внедрения обязательного к исполнению стандарта выплачивать денежную компенсацию, которая если и не устраивает работника, то только размером. Работник тоже не готов трудиться в новых экономических условиях, осваивать новую технику, технологии и оборудование, участвовать в системах управления качеством, производственной безопасности и в области охраны окружающей среды. Работнику придется иметь дело с дорогостоящими материалами с уникальными свойствами, требующими не только высокой квалификации, но и культуры труда.

Однако существующая система подготовки кадров, включающая все формы образования, не соответствует требованиям инновационной экономики, предполагающей постоянный поиск новых решений, готовность и способность к поэтапному совершенствованию. Необходимо основной упор сделать на развитие способностей к обучению и творческому восприятию новаций, увязав их с перспективами карьерного роста и повышением уровня материального благосостояния.

Школьное, среднее специальное, высшее, дополнительное и прочие формы образования должны быть реформированы с позиций системного подхода, т. е. их нужно рассматривать как цельную систему подготовки кадров для работы в условиях инновационной экономики. Двухуровневая система высшей школы, которую Минобрнауки, по сути, навязало в нашей стране, для этого вряд ли подходит. За 4 года (бакалавриат) подготовить толкового инженера невозможно, а за 6 лет (магистратура) предполагается готовить узкопрофильных специалистов по заявкам бизнеса. Прививать творческие способности в высшей школе — уже поздно, начинать нужно в средней или даже начальной.

В этом плане неплохо было бы вспомнить и опыт советского прошлого, в частности, теорию решения изобретательских задач [10]. При ее известных недостатках нельзя отрицать очевидного положительного влияния на развитие творческих способностей. Очевидно, что далеко не каждый человек способен к изобретательству, но выяснить это необходимо на возможно более ранней стадии. Кроме изобретателей не менее важны люди, спо-

собные реализовать новации в условиях рыночной экономики. Для этого нужны не столько творческие способности, сколько готовность к их адекватному восприятию и практическому использованию. Только в этом случае можно добиться единения образования, науки, бизнеса, производства и интересов общества.

Многие в нашей стране (ученые, депутаты, члены правительства и др.) считают, что для перехода на инновационный путь развития достаточно резко (в разы) увеличить финансирование науки, образования, здравоохранения, социальной защиты населения. Но, во-первых, возможности бюджета ограничены; во-вторых, при этом пропорционально возрастает вероятность разворывания этих средств. Скандал с госзакупками медицинского оборудования в рамках федеральной целевой программы "Здоровье" — "свежий" тому пример.

Поэтому начинать нужно с создания гарантированных государством условий для привлечения в инновационные отрасли частного капитала. Механическое увеличение бюджетных ассигнований, полученных за счет эксплуатации природных и человеческих ресурсов, не даст нужного эффекта. Необходимы: 1) адекватная нормативно-правовая база, причем не рамочного характера, а прямого действия; 2) коренное реформирование всех отраслей промышленности производства (а также создание новых) с позиций инновационной экономики, начав с внедрения современных методов управления.

Последовательная трансформация отдельных элементов человеческого и физического капитала, обусловливаемая привычными ссылками на проблемы с финансированием, также не будет эффективной. Выбор приоритетов необходим, но он должен основываться не на предвыборной риторике кандидатов всех уровней, а на объективной оценке риска принимаемых решений. При этом следует учитывать их системный характер, включая экономические, социальные и экологические последствия.

Однако при всей значимости обсуждаемых проблем они являются скорее следствием, а не главной причиной, сдерживающей переход России на инновационный путь развития. Ключевой момент — это архаичный и не соответствующий требованиям инновационной экономики уровень мышления в обществе на всех уровнях в упоминавшейся системе отношений "государство—бизнес—работник". О необходимости реструктуризации сырьевой экономики, организации высокотехнологичных производств, разработки и внедрения инноваций не первый год говорят руководители страны, депутаты, давно выбраны основные на-



правления и т. д. А в результате: проект создания российской "силиконовой долины" в Сколково, госкорпорация "Роснано" (уже трансформированная в акционерное общество), масса технопарков (в основном на бумаге).

Недавно на совещании по совершенствованию инструментов инновационного развития в регионах, которое провел премьер В. Путин, вспомнили о наукоградах, созданных в советское время. В них работают более 1 млн человек и "...они представляют собой интеллектуальную элиту, потенциал которой необходим для развития инновационной экономики" [11]. Но по этому поводу есть некоторые сомнения.

Во-первых, часть наукоградов по сути развалилась во времена перестройки из-за отсутствия бюджетного финансирования. Во-вторых, из этого миллиона человек далеко не все являются не только элитой, но и просто учеными, значительная часть которой разбегалась по миру в поисках лучшей доли, причем наиболее перспективная по возрасту и потенциалу. В-третьих, 1 млн — это всего лишь 0,07 % от численности населения страны!

На том же совещании о наукоградах и технологических платформах с присущим ему оптимизмом рассуждал и министр А. Фурсенко. Объем средств на ФЦП в 2011 г. увеличен до 20 млрд руб., и часть из них министр обещал выделить для финансирования технологических платформ [12]. Однако, по мнению директора Департамента целевых программ и проектов Минобрнауки Г. Шепелева, технологические платформы не стыкуются с ФЦП. "У них разные "логики" формирования, разные органы управления и критерии отбора проектов. Технологические платформы, которые работают вне приоритетных направлений ФЦП, даже теоретически не попадают в формат программы" [13].

Подобное расхождение мнений в одном ведомстве лишний раз подтверждает неэффективность как действующей системы управления, так и федеральных программ в целом. В них декларируется приоритет частно-государственного партнерства, которое предполагает активное использование частных инвестиций. Однако отечественный бизнес предпочитает вывозить капитал за границу, по-видимому, беря пример с Минфина России. И его можно понять. Если государство взбивает "подушку безопасности" в зарубежных банках, не доверяя своим, то почему бизнес, оперирующий в отличие от Минфина собственными деньгами, должен поступать иначе. В таких усло-

виях риторических усилий президента по привлечению зарубежных партнеров к реализации инновационных проектов, включая обещания по созданию "налогового рая", явно недостаточно.

Он и сам это отмечал в ежегодном послании Федеральному собранию. Сложно убедить бизнесменов из зарубежья, если свои не торопятся с инвестициями даже в условиях определенного административного давления со стороны государства. Не занимается бизнес-сообщество и внедрением новых технологий и методов управления, от уровня которых во многом зависит успех инноваций. Поэтому непонятна логика назначения то одного, то другого крупного олигарха главным по проекту Сколково, хотя ни один из них внедрением инноваций и современных систем менеджмента никогда не занимался. Между тем, по уровню развития технологий и эффективности управления наша страна не входит даже в число 60 лучших в мире [14].

#### Список литературы

1. **Гнеденко Т.** Канцерогенная опасность // Медицина труда и экология. — 2011. — № 3. — С. 2.
2. **Епцов Ю.** Кто позаботится о здоровье работника? // Охрана труда и социальное страхование. — 2010. — № 9. — С. 67—70.
3. **Бобылев С. Н.** Российские экономические реформы и формирование "антиустойчивого" развития // Экономика природопользования. — 2006. — № 4. — С. 31—41.
4. **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" / Под ред. Н. П. Пашина. — М., 2010. — 90 с.
5. **Синяева Г., Полищук Ю.** Производственный травматизм: анализ причин // Охрана труда и социальное страхование. — 2010. — № 9. — С. 35—38.
6. **Шестаков Ю., Лактионов К., Алибекова И., Гаврикова Е.** Как сэкономить средства // Охрана труда и социальное страхование. — 2011. — № 3. — С. 56—57.
7. **Доклад "О реализации государственной политики в области условий и охраны труда в Российской Федерации в 2008 году"**. — М., 2009. — 43 с.
8. **Экономика охраны труда (разработка концепции государственного управления охраной труда)** // Кульбовская Н. К. — М.: Экономика, 2011. — 37 с.
10. **Альтшуллер Г. С., Шапиро Р. Б.** О психологии изобретательского творчества // Вопросы психологии. — 1956. — № 6. — С. 37—49.
11. **Азарова С.** Зоны и препоны // Газета "Поиск". — 2011. — № 10—11. — С. 2.
12. **Булгакова Н.** Опять пятерка / Газета "Поиск". — 2011. — № 10—11. — С. 5.
13. **Моргунова Е.** Попасть в формат / Газета "Поиск". — 2011. — № 10—11. — С. 4.
14. **Куренков Ю., Попов В.** // Вопросы экономики. — 2001. — № 6. — С. 36—49.

УДК 614.8.027.1:331.461.2

А. П. Бызов, асп., С. В. Ефремов, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой,  
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

## Методические подходы к оценке индивидуального и коллективного рисков для площадочных взрывопожароопасных объектов

*Рассмотрены подходы к оценке потенциального риска с учетом процесса поражения человека, располагающегося в зданиях или на открытой площадке. Приведен подход к оценке индивидуального и коллективного рисков для персонала опасных объектов на основе учета особенностей режима повседневной деятельности работника в течение года.*

**Ключевые слова:** потенциальный риск, индивидуальный риск, площадочный объект, взрывопожароопасные объекты

*Byzov A. P., Efremov S. V. Methodical approaches to the estimation of individual and collective risk for open space explosion/fire hazardous plants*

*In article approaches to an estimation of potential risk taking into account defeat process of the people settled in buildings or on the open area are considered. The approach to an estimation of individual and collective risks for the hazardous plant personnel based on the account of features of a worker's mode of daily activity within a year is adduced.*

**Keywords:** potential risk, individual risk, explosion/fire hazardous plants, open space object

В России, как и во многих других странах, в настоящий момент принята концепция приемлемого риска. Выводы о степени опасности объекта принято формулировать на основе сравнения расчетных значений индивидуального риска с установленными критериями [1].

В настоящее время распространен подход к оценке индивидуального риска на основе потенциального территориального риска с учетом вероятности пребывания человека в различных зонах [2, 3].

Индивидуальный риск рассматривается как частота поражения отдельного человека в результате воздействия опасных факторов прогнозируемых аварий. Индивидуальный риск зависит от распреде-

ления потенциального территориального риска и от вероятности нахождения человека в районе возможного действия опасных факторов [4].

Индивидуальный риск для персонала оценивается частотой поражения конкретного работника в течение года. В соответствии с методикой [2] индивидуальный риск можно определить по формуле:

$$R_{им} = \sum_{z=1}^r R_{п.т.z} F_{zm}, \quad (1)$$

где  $F_{zm}$  — вероятность пребывания некоего индивидуума — представителя  $m$ -ой группы людей в  $z$ -ой зоне;  $r$  — число характерных зон пространства;  $R_{п.т.z}$  — потенциальный территориальный риск в зоне  $z$ .

При расчете необходимо принимать во внимание режим работы объекта, а также распределение времени пребывания персонала по территории.

Потенциальный риск рассматривается как частота поражения человека в результате воздействия поражающих факторов аварий в рассматриваемой точке территории при непрерывном его пребывании в этой точке.

В работах [5, 6, 2] приводится следующее выражение для определения значения потенциального территориального риска для взрывопожароопасных объектов:

$$R_{п.т.} = \sum_{k=1}^p P_k(x, y) f_k, \quad (2)$$

где  $f_k$  — вероятность (частота) реализации  $k$ -го сценария;  $P_k(x, y)$  — вероятность поражения человека в данной точке;  $p$  — количество рассматриваемых сценариев.

В процессе своей трудовой деятельности персонал объекта может пребывать как на открытой площадке, так и в зданиях. При этом вероятность поражения людей, находящихся в здании, будет определяться не воздействием поражающих факторов, возникающих при авариях, а травмиранием в результате разрушения строительных конструкций, т. е. вторичными поражениями.



Для оценки потенциального риска территория делится на конечное число зон, в пределах которых потенциальный риск принимается постоянным. Для зонирования территории применен метод наложения сетки (рис. 1). Определяется область оценки риска  $(x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max})$ , точность проведения расчетов  $\Delta x$ , шаг расчетов  $\Delta y$  и рассчитывается некоторое множество значений потенциального риска  $R_{п.т.ij}$  для координатного поля  $(x_i, y_j)$ .

Принимаем  $\Delta x = \Delta y = \Delta$ . Это необходимо для получения неискаженной картины по осям. Соответственно значение потенциального риска  $R_{п.т.ij}$  в пределах квадратной площадки с координатами угловых точек  $(x_i - \Delta/2; y_j - \Delta/2); (x_i + \Delta/2; y_j + \Delta/2)$  принимается постоянным.

По каждому сценарию  $k$ , имеющему вероятность реализации  $P_k$  для каждой точки  $(x_i, y_j)$ , приводим в соответствие величину условной вероятности поражения  $Q_{kij}$  и величину вклада в суммарный потенциальный риск в точке

$$R_{п.т.kij} = P_k \cdot Q_{kij} \quad (3)$$

Вероятность поражения ( $Q$ ) описывается функцией Гаусса:

$$Q = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Pr-5} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (4)$$

Здесь верхним пределом является зависимость от дозы, получившая название пробит-функция. Эта зависимость имеет следующий вид:

$$Pr = a + b \ln(X), \quad (5)$$

где  $a, b$  — константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия;  $X$  — поглощенная субъектом доза негативного воздействия, которая рассчитывается по эмпирическим зависимостям.

Большинство методик определения полей поражающих параметров позволяют определять величину этих параметров в зависимости от расстояния до центра источника опасности. Для перехода к декартовым координатам необходимо воспользоваться выражением:

$$Q_{дек} = Q\left(\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}\right), \quad (6)$$

где  $(x_0, y_0)$  — координаты источника опасности.

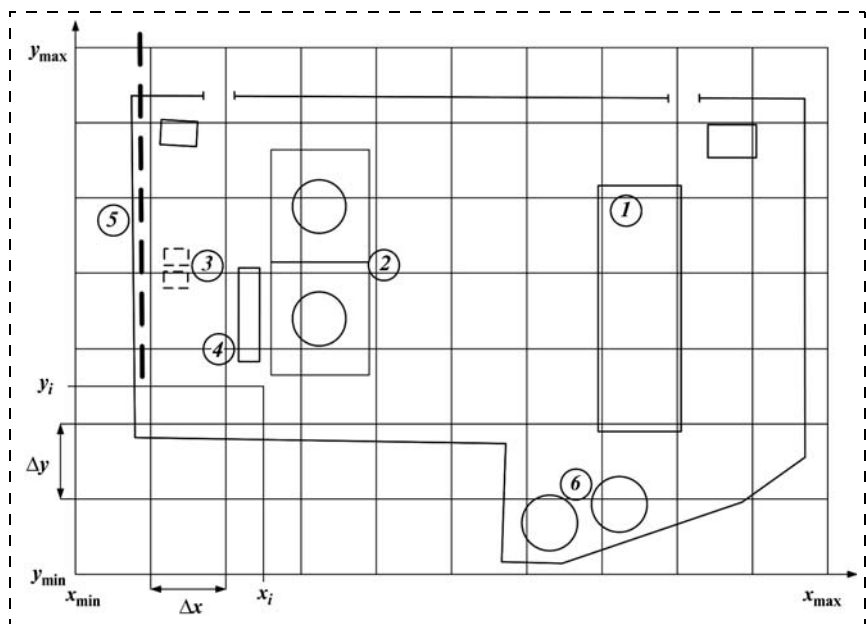


Рис. 1. Наложение расчетной сетки на объект:

1 — административно-бытовой корпус; 2 — резервуарный парк; 3 — емкости аварийного слива; 4 — насосная; 5 — жел.-дор. эстакада; 6 — емкости противопожарного запаса воды

Итоговое значение потенциального риска в точке  $(x_i, y_j)$  составит:

$$R_{п.т.ij} = \sum_{k=1}^p R_{п.т.kij}, \quad (7)$$

где  $p$  — количество анализируемых сценариев опасных событий.

Для реального объекта сетка разбиения может быть выбрана произвольно, при этом  $\Delta$  будет составлять около 1 м. Для стандартной площадки размером  $100 \times 100$  м с учетом шага 1 м и при рассмотрении 50 сценариев опасных событий суммарное количество расчетов потенциального территориального риска для каждого сценария может составить 500 000 итераций. Выполнение подобного количества расчетов без применения компьютерных технологий невозможно. Практика применения изложенного подхода с использованием программного комплекса *Excell*, входящего в состав пакета *Microsoft Office*, показывает, что возможности компьютера со средними показателями позволяют проводить расчеты для сетки  $400 \times 400$  квадратов. При этом шаг разбиения принимается в зависимости от размеров площадки.

Оценка риска — это процесс, результат которого напрямую зависит от уровня квалификации инженера, осуществляющего расчет. Можно выбрать бесконечное множество возможных ветвей событий и возможных ситуаций и провести по ним расчет, однако большинство расчетов внесут незначитель-





ный вклад в конечные результаты. Отсечение незначительных последствий должно проводиться по критериям масштабов последствий и частоте реализации.

Примем, что рассмотрено  $N$  конечных событий. Пусть критерий приемлемого риска  $R_0$ , точность представления результатов расчетов не превышает 1 %, тогда по частоте реализации могут быть отсечены все события, частота которых не превышает:

$$P < \frac{R_0 \cdot 0,01}{N}, \quad (8)$$

т. е., например, для  $N = 100$  сценариев при уровне приемлемого риска  $R_0 = 10^{-6}$  могут быть отсечены все события, имеющие частоту менее  $10^{-10}$ . Данные события однозначно не внесут значительного вклада в показатели риска.

По масштабам последствий может быть применен следующий критерий:

$$\pi r_{\text{пор}}^2 < S_{\text{об}} \cdot 0,01, \quad (9)$$

где  $r_{\text{пор}}$  — радиус зоны поражения (зоны, внутри которой возможно поражение реципиента) при реализации сценария;  $S_{\text{об}}$  — площадь объекта.

Сценарии, которые вносят незначительный вклад в интегральные показатели риска, могут не приниматься в учет в случае, если выполняется хотя бы одно из вышеуказанных условий (7, 8). Сокращение числа анализируемых аварийных ситуаций позволит упростить дальнейшие расчеты.

Постоянные рабочие места преимущественно располагаются в зданиях и сооружениях. При построении полей потенциального риска в случае нахождения их на территории зданий можно выделить следующие особенности. Некоторые виды поражения, такие как термическое поражение пожара разлива, огненного шара, факельного горения струи, пожара вспышки (сгорания облака топливо-воздушной смеси (ТВС) без образования воздушной ударной волны), с источниками опасности на открытой площадке не имеют существенного воздействия на людей, расположенных внутри зданий, таким образом в точках расположения зданий на территории может быть принято значение потенциального риска, равное  $R_{\text{п.т.кij}} = 0$ .

Для воздушной ударной волны взрыва ТВС или эффекта BLEVE (Boiling liquid expanding vapour explosion — взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости [9]) структура пораженных характеризуется степенью разрушения зданий, таким образом расчет условной вероятности поражения людей должен проводиться по зависимостям, отражающим вероятность поражения людей в зависимости от степени разрушения зданий.

Вероятность поражения человека в зданиях можно определить по соотношению [7]:

$$P_{\text{зд}} = 0,15P_{\text{ср}} + 0,6P_{\text{сил}}, \quad (10)$$

где  $P_{\text{ср}}$  и  $P_{\text{сил}}$  — вероятность средних и сильных разрушений здания соответственно, определяемые по следующим зависимостям:

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}_1 - 5} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - P_{\text{сил}}, \quad (11)$$

$$P_{\text{сил}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\text{Pr}_2 - 5} e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$$

Здесь  $\text{Pr}_1$ ,  $\text{Pr}_2$  — пробит-функции для различных степеней разрушения зданий и сооружений при прохождении воздушной ударной волны, соответственно, для сильных и средних разрушений и для сильных разрушений.

$$\text{Pr}_1 = 5 - 0,26 \ln \left( \left( \frac{17\,500}{\Delta P_f} \right)^{8,4} + \left( \frac{290}{I} \right)^{9,3} \right), \quad (12)$$

$$\text{Pr}_2 = 5 - 0,22 \ln \left( \left( \frac{40\,000}{\Delta P_f} \right)^{7,4} + \left( \frac{460}{I} \right)^{11,3} \right),$$

где  $\Delta P_f$  — давление во фронте воздушной ударной волны, Па;  $I$  — импульс фазы сжатия, Па · с.

Для построения поля распределения вероятности пребывания персонала в различных зонах территории объекта необходимо провести анализ режима работы персонала.

В качестве основных факторов, оказывающих влияние на характер распределения вероятности пребывания персонала в различных зонах территории объекта, можно выделить:

время пребывания работника в различных точках территории в течение рабочего дня;

характер рабочего места (стационарное рабочее место, нестационарное);

особенности режима работы (пятидневная рабочая неделя, работа посменно, отпуск и т. д.).

Далее приведены три варианта пребывания персонала на рабочих местах и способы моделирования плотности распределения вероятности пребывания персонала.

1. Стационарные рабочие места. Как правило, стационарные рабочие места располагаются в зданиях, таким образом моделирование плотности распределения вероятности пребывания персонала не требуется. Достаточно соотнести полученную ве-



роятность пребывания персонала центру здания, в котором расположено рабочее место.

2. Нестационарные рабочие места. Определяется область, в которой возможно пребывание персонала. Предполагается равномерность распределения времени пребывания персонала в различных точках пространства внутри этой области (см. далее рис. 2). Если имеется достаточно исходных данных, территория может быть разбита на области, в которых определено среднее время пребывания персонала в течение дня, и данный расчет может быть осуществлен отдельно по каждой области.

3. Комбинированные рабочие места. Рабочие места по вариантам 1 и 2 в "чистом" виде встречаются далеко не всегда, чаще имеют место комбинированные варианты. В данном случае вероятность пребывания персонала на территории объекта делится пропорционально времени пребывания персонала на стационарных и нестационарных рабочих местах.

Точно определить время пребывания персонала в тех или иных областях объекта невозможно, необходимо использовать осредненные значения. Подобные данные могут быть получены, например, из анализа фотографий рабочего дня.

Вероятность пребывания индивидуума — представителя персонала группы  $m$  в пределах каждой площадки с координатами  $(x_j, y_j)$  составляет:

$$F_{ijm} = \frac{q_m}{N_m}, \quad (13)$$

где  $q_m$  — вероятность пребывания персонала группы  $m$  на территории объекта;  $N_m$  — количество площадок территории объекта, в пределах которых наиболее вероятно появление персонала группы  $m$ .

Вероятность пребывания работника группы  $m$  на территории объекта при работе по фиксированному графику составляет:

$$q_m = \frac{n_{мд}}{24} \cdot \frac{n_{мг}}{365}, \quad (14)$$

где  $n_{мд}/24$  — поправка, характеризующая вероятность пребывания человека на территории в течение дня, при  $n_{мд}$  часовом рабочем дне;  $n_{мг}/365$  — поправка, характеризующая вероятность нахождения сотрудника на территории объекта в течение года с учетом ежегодного отпуска,  $n_{мг}$  — число рабочих дней в течение года.

Итоговым результатом расчетов будет поле значений плотности распределения вероятности пребывания персонала в различных точках пространства.

В общем случае индивидуальный риск для персонала объекта определяется на основе поля по-

тенциального риска ( $R_{п.т.}(x, y)$ ) и полученной плотности вероятности пребывания индивидуума в различных областях ( $\rho_{и}(x, y)$ ) и определяется по соотношению [6]:

$$R_{и} = \int \int_{x,y} R_{п.т.}(x, y) \rho_{и}(x, y) dx dy. \quad (15)$$

При применении изложенного подхода расчет индивидуального риска осуществляется по формуле, приведенной ниже, при этом в качестве зон используется все множество площадок, полученных в результате разбиения территории путем наложения сетки:

$$R_{им} = \sum_i \sum_j R_{п.т.ij} F_{ijm}, \quad (16)$$

где  $R_{п.т.ij}$  — расчетная величина потенциального (потенциального территориального) риска, соответствующая центру площадки  $ij$ ;  $F_{ijm}$  — вероятность пребывания персонала группы  $m$  в пределах площадки  $ij$ .

Другой количественной интегральной мерой опасности объекта является коллективный риск, определяющий ожидаемое количество пострадавших в результате аварий на объекте за определенный период времени [4].

Коллективный риск определяется на основе индивидуального риска с учетом числа рискующих:

$$R_{кол} = \sum_m R_{им} N_m, \quad (17)$$

где  $R_{им}$  — индивидуальный риск персонала группы  $m$ ;  $N_m$  — число рискующих  $m$ -ой группы людей.

В качестве примера применения изложенного подхода ниже приведен порядок оценки индивидуального риска на основе моделирования плотности распределения вероятности пребывания персонала в различных точках пространства. Оценка индивидуального риска проведена для группы персонала, характеризующейся одинаковыми условиями работы (операторы склада ГСМ). Общее число операторов — 8 человек. Дежурная смена 2 человека. Продолжительность смены — 12 ч. Число рабочих дней в году 182,5. Среднее время пребывания операторов на территории объекта распределено по отдельным зонам следующим образом:

- 1) административно-бытовой корпус (АБК) — 6 ч;
- 2) на территории между резервуарным парком и административно-бытовым корпусом — 2 ч;
- 3) в районе жел.-дор. эстакады — 2 ч;
- 4) в районе насосной и на территории резервуарного парка — 2 ч.

Результаты расчета значений вероятности пребывания персонала в различных зонах пространства

Наименование области пространства	Время пребывания, ч	Вероятность пребывания в пределах области пространства	Количество квадратов сетки разбиения, которые покрывают область пространства	Вероятность пребывания человека в пределах одного квадрата
АБК	6	0,125	1	0,125
Территория между резервуарным парком и административно-бытовым корпусом	2	0,041666667	12	3,472E-03
В районе жел.-дор. эстакады	2	0,041666667	10	4,167E-03
В районе насосной и на территории резервуарного парка	2	0,041666667	8	5,208E-03

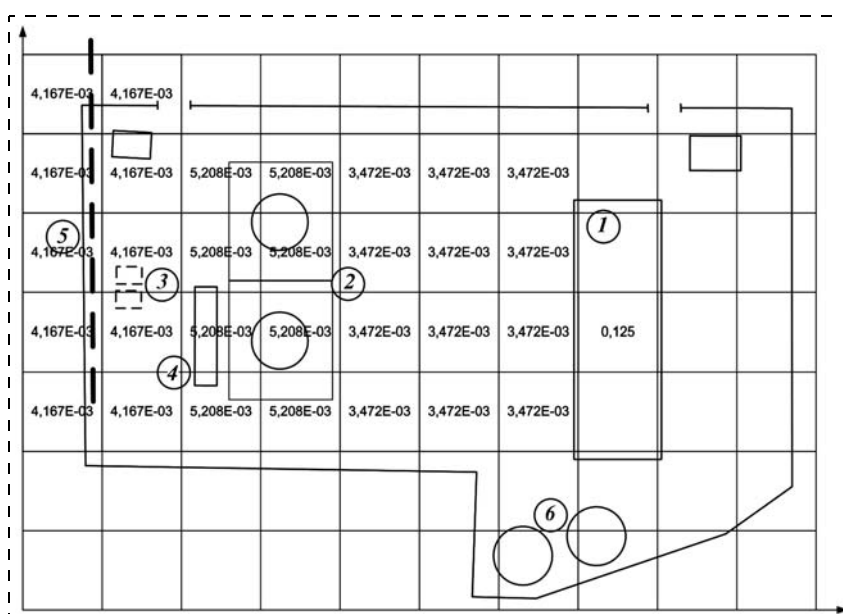


Рис. 2. Иллюстрация к методу определения вероятности пребывания персонала в различных областях территории объекта (пояснение позиций — см. рис. 1)

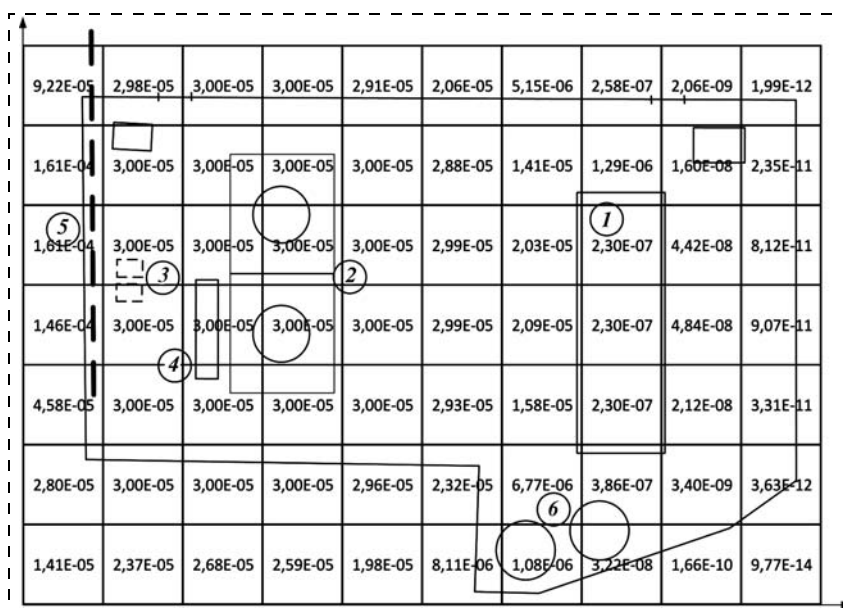


Рис. 3. Вид поля потенциального риска (пояснение позиций — см. рис. 1)

При таком режиме рабочего дня вероятность пребывания персонала на территории объекта в целом составляет:

$$q_0 = \frac{12}{24} \cdot \frac{182,5}{365} = 0,25. \quad (18)$$

Вероятность пребывания персонала была распределена по зонам пропорционально длительности пребывания в них. На основе анализа режима повседневной деятельности выявлено, что области, в пределах которых возможно появление оператора, покрываются следующим количеством квадратов сетки разбиения: АБК (стационарное рабочее место) — 1 квадрат, территория между резервуарным парком и административно-бытовым корпусом — 12 квадратов, территория в районе жел.-дор. эстакады — 10 квадратов, территория в районе насосной и резервуарного парка — 8 квадратов.

Результаты расчета значений вероятности пребывания персонала в различных зонах пространства приведены в таблице.

На рис. 2 графически представлено поле плотности вероятности пребывания персонала в различных зонах пространства. Поле потенциального риска имеет вид, показанный на рис. 3.

Суммируя произведения каждого элемента матрицы поля потенциального риска и соответствующего элемента матрицы распределения вероятности пребывания персонала в различных зонах территории объекта, получим значение индивидуального риска для операторов, которое составит  $5,5 \cdot 10^{-6}$ .

Пример применения изложенных методических подходов приведен укрупненно. При проведении риск-анализа детализация расчетов может быть значительно увеличена.



## Выводы

Оценку потенциального территориального риска рационально осуществлять для всей территории опасного объекта, разбивая ее на элементарные площадки. Данная информация может быть использована при определении областей территории опасного объекта, характеризующихся высокими уровнями потенциального риска.

Структура поражения людей в зданиях и на открытой площадке отличается в зависимости от типа поражающего воздействия. Изложенный подход к определению показателей риска позволяет учесть особенности воздействия опасных факторов на персонал, расположенный в зданиях.

Индивидуальный риск как показатель, характеризующий вероятность поражения индивидуума (группы индивидуумов), должен оцениваться с учетом особенностей режима повседневной деятельности индивидуума в течение года. Изложенный подход к оценке рисков позволяет учесть нестационарность рабочих мест персонала.

## Список литературы

1. **Федеральный закон** РФ от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

2. **Методика** определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах, утвержденная приказом МЧС РФ от 10.07.2009 № 404.
3. **Козлитин А. М.** Совершенствование методов расчета показателей риска аварий на опасных производственных объектах // *Безопасность труда в промышленности.* — 2004. — № 10. — С. 35–42.
4. **РД 03-418-01.** Методические указания по проведению анализа риска производственных объектов, утв. постановлением Госгортехнадзора от 10.07.2001 г. № 30.
5. **Сафонов В. С., Одишария Г. Э., Швыряев А. А.** Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. — М.: НУМЦ Минприроды России, 1996. — 207 с.
6. **Мартынюк В. Ф.** Алгоритм анализа риска пожаро-, взрывоопасного объекта // *Безопасность жизнедеятельности.* — 2007. — № 11. — С. 42–49.
7. **Акимов В. А., Быков А. А., Востоков В. Ю., Долгин Н. Н., Кондратьев-Фирсов В. М., Макиев Ю. Д., Малышев В. П.** Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций. (Утверждены первым заместителем Министра РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий Р. Х. Цаликовым 9.01.2008 г. № 1-4-60-9.)
8. **Меньшиков В. В., Швыряев А. А.** Опасные химические объекты и техногенный риск: Учебное пособие. — М.: Изд-во Химич. фак. ун-та, 2003. — 254 с.
9. **ГОСТ Р 12.3.047—98** — Государственный стандарт Российской Федерации. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля // Приложение Ж. Метод расчета параметров волны давления при взрыве резервуара с перегретой жидкостью или сжиженным газом при воздействии на него очага пожара.

УДК 681.518

**Н. М. Павлова**, асп., **М. В. Иванова**, канд. техн. наук, доц., **А. Т. Волохина**, канд. техн. наук, ст. преп., **Е. В. Глебова**, д-р техн. наук, проф., зав. каф., РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина  
E-mail: NaticPavlova@yandex.ru

## Подбор психодиагностических методик для оценки профессионально важных качеств руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара"

*Представлен анализ существующих психодиагностических методик для оценки профессионально важных качеств работников. Приведено описание тестовых методик, которые были использованы для оценки профессионально важных качеств руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара".*

**Ключевые слова:** профессионально важные качества, психодиагностические методики, тестовый метод

**Pavlova N. M., Volokhina A. T., Ivanova M. V., Glebova E. V.** Selection of psychodiagnostic methods for evaluation of professional important qualities of OOO "Gazprom transgaz Samara" managers and specialists

*The analysis of existing psychodiagnostic methods for evaluation of professional important qualities of workers is performed. The describing of tests used for evaluation of professional important qualities of OOO "Gazprom transgaz Samara" managers and specialists is considered.*

**Keywords:** professional important qualities, psychodiagnostic methods, test's method

Весьма важной задачей является снижение аварийности объектов магистрального трубопроводного транспорта природного газа. Разрывы газопроводов приводят к масштабным потерям природного газа, загрязнению окружающей среды, а иногда и к человеческим жертвам. При этом большое число

аварий связано с влиянием "человеческого фактора", т. е. эффективность и безопасность производства определяются не только надежностью оборудования, но и уровнем развития у работника профессионально важных качеств (внимания, памяти, мышления и т. д.).

Анализ литературных данных позволяет выделить три основных метода оценки профессионально важных качеств работников: анкетный, аппаратный и тестовый [1—4].

Анкетный метод заключается в том, что с использованием сформулированных и сгруппированных вопросов получают информацию о профессиональных интересах и некоторых свойствах человека. Анкеты могут быть самооценочными, когда испытуемый сам дает оценку своих качеств, и внешнеоценочными, когда оценку дает эксперт на основе обобщения данных, получаемых от лиц, длительное время наблюдавших за испытуемым.

Аппаратурный метод состоит в том, что отдельные психофизиологические качества выявляют и оценивают с помощью специально сконструированных приборов и аппаратуры. Наряду с приборами, обеспечивающими общее исследование психофизиологических свойств, на предприятиях конструируются установки, имитирующие тот или иной трудовой процесс. Они служат для определения наличия у испытуемого качеств, важных для данной работы, и используются как тренажеры при обучении соответствующей профессии.

Тестовый метод располагает наборами тестов, предлагаемых испытуемому, в процессе решения которых выявляются те или иные психофизиологические свойства. От других методов исследования он отличается тем, что предполагает четкую процедуру сбора и обработки первичных данных [4].

При подготовке статьи были использованы данные оценки профессионально важных качеств руководителей и специалистов объектов магистрального транспорта газа. В октябре 2010 г. было проведено тестирование в ООО "Газпром Трансгаз Самара", в котором приняло участие 115 сотрудников из семи линейно-производственных управлений магистральных газопроводов (Павловское, Сызранское, Тольяттинское, Средневожское, Отрадное, Сергиевское и Северное). Исследование проводилось с работниками следующих специальностей:

- мастер-инженер газокompрессорной службы;
- мастер-инженер линейно-эксплуатационной службы;
- мастер-инженер службы электроводоснабжения;
- инженер службы контрольно-измерительных приборов и автоматики;



Рис. 1. Проведение тестирования в одном из линейно-производственных управлений ООО "Газпром Трансгаз Самара"

— начальники газокompрессорной службы, линейно-эксплуатационной службы, службы электроводоснабжения и службы контрольно-измерительных приборов и автоматики.

Тестирование проводилось в два этапа. На первом этапе тестирование проводилось с помощью методик для оценки интеллектуальных качеств, на втором этапе — методик для оценки психофизиологических и личностных качеств (рис. 1). Между ними был организован перерыв 10—15 мин.

При проведении тестирования были соблюдены следующие требования [4]:

- перед началом тестирования была проведена короткая беседа (5—7 мин) с обследуемыми, основная цель которой снять их эмоциональное напряжение и создать положительную установку на тестирование;
- были обеспечены условия для самостоятельной работы каждого обследуемого и исключено влияние друг на друга;
- перед началом каждого теста была прочитана инструкция и обязательно указывалось время, которое отпускается на данный тест;
- во время тестирования контролировался темп работы, при обнаружении слишком медленного темпа работы уточнялась причина затруднений и в случае необходимости делались соответствующие пояснения [5, 6].

На первом этапе исследования был проведен профессиографический анализ производственной деятельности руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара". В результате экспертами были выделены 13 качеств, наиболее значимые для эффективной и безопасной производственной деятельности работников [7]. Далее для количественной оценки профессионально важных



**Психодиагностические методики для оценки профессионально важных качеств**

№ п/п	Профессионально важное качество	Психодиагностическая методика
<b>Интеллектуальные</b>		
1	Аналитическое мышление	"Установление закономерностей" "Краткий ориентировочный тест" — шкала А
2	Пространственное мышление	"S-тест" "Краткий ориентировочный тест" — шкала Р
3	Техническое мышление	Тест Беннета
4	Кратковременная память	"Отыскивание чисел с переключением", "Шкалы"
5	Внимание (распределение, переключаемость, устойчивость)	"Отыскивание чисел с переключением", "Краткий ориентировочный тест" — шкала W
<b>Психофизиологические</b>		
6	Скорость мыслительных процессов	"Установление закономерностей" "Отыскивание чисел с переключением" "Шкалы" "S-тест" Тест Беннета
7	Эмоциональная стабильность	"Краткий ориентировочный тест" "Прогноз-2" "Шестнадцатифакторный личностный опросник Кэттелла" — факторы С, Н, О, Q3 "Краткий ориентировочный тест" — шкала Е
<b>Личностные</b>		
8	Ответственность	"Шестнадцатифакторный личностный опросник Кэттелла" — фактор "G"
9	Коммуникабельность	"Коммуникативные и организаторские способности" (КОС) — шкала К
10	Организаторские способности	"Коммуникативные и организаторские способности" (КОС) — шкала О
11	Поведение в конфликтной ситуации	"Поведение в конфликтной ситуации" (ПКС)

качеств руководителей и специалистов объектов магистрального транспорта газа были подобраны апробированные тестовые методики, представленные в таблице. При этом из 13 качеств было выбрано 11, уровень развития которых возможно оценить с помощью существующих тестовых методик (см. таблицу). Выбранные качества сгруппированы в три блока: интеллектуальные, психофизиологические и личностные.

Используемые психодиагностические методики отвечали следующим требованиям:

валидность — мера соответствия того, насколько методика и результаты исследования соответствуют поставленным задачам;

надежность — мера стабильности (постоянства, устойчивости) результатов, полученных с помощью конкретной методики при повторных исследованиях одного и того же испытуемого;

дифференцированность — с помощью выбранного теста оценивается только определенное качество или совокупность качеств [5].

"Всемирный банк" психодиагностических методик очень богат, поэтому для оценки любого качества можно подобрать несколько методик. Кроме этого имеются универсальные опросники, направленные на диагностику сразу нескольких показателей по соответствующим шкалам. Поэтому данный этап потребовал тщательного анализа существующих тестовых методик.

Например, для оценки **интеллектуальных качеств** (первый блок) применяются как структурные методики для определения общего уровня интеллекта (тест Векслера, тест Равена, тест Амтхауэра), так и методики для оценки каждого отдельного качества [8, 9].

Рассмотрим, какие методики применяются в мировой практике для оценки интересующих нас профессионально важных качеств, а также более подробно остановимся на методиках, которые были выбраны для проведения тестирования в ООО "Газпром Трансгаз Самара".

Наиболее распространенными методиками для оценки внимания являются: "Корректирующая проба", "Таблицы Шульце", "Кубики Кооса", "Куб Линка", "Доски Сегена". Указанные методики подробно изложены в специальной литературе [8—10].

В рассматриваемом исследовании для оценки распределения, переключаемости и устойчивости внимания были выбраны методики: "Отыскивание чисел с переключением" и "Краткий ориентировочный тест" (см. табл. 1). Методика "Отыскивание чисел с переключением", предложенная Ф. Д. Горбовым, предназначена для определения распределения и устойчивости внимания, а также характеристик оперативной памяти. В методике использована таблица с числами красного (**от 1 до 24**) и черного (**от 1 до 24**) цветов, расположенными в случайном порядке (рис. 2). Рядом с каждым числом стоит буква. Сущность задания заключается в том, что обследуемый должен находить поочередно красные и черные числа и записывать буквы, стоящие рядом с ними, причем красные числа он отыскивает в возрастающем порядке, а черные — в убывающем. Данная методика проста в применении, выполнение ее занимает около 5 мин.

"Краткий ориентировочный тест" включает 50 заданий и позволяет определить не только уровень развития внимания, но и другие интеллектуальные качества: способность к анализу и обобщению информации; пространственное мышление; устойчивость мыслительных процессов; гибкость мыслительных процессов.

<b>2-л</b>	14-у	<b>15-м</b>	5-ф	<b>12-л</b>	12-и	<b>3-б</b>
8-х	<b>18-ф</b>	24-п	<b>17-ш</b>	15-д	<b>6-г</b>	3-е
<b>11-в</b>	<b>5-з</b>	18-ч		6-з	<b>14-х</b>	17-р
<b>21-р</b>	13-а	<b>1-к</b>	22-ш	<b>19-ч</b>	23-г	<b>20-д</b>
7-т	<b>10-е</b>	11-с	<b>23-о</b>	21-ц	<b>8-г</b>	19-ж
<b>22-ж</b>	16-б	<b>16-ц</b>	20-м	<b>4-с</b>	10-о	<b>9-а</b>
2-н	<b>7-н</b>	4-л	<b>13-у</b>	9-к	<b>24-и</b>	1-в

Рис. 2. Методика "Отыскивание чисел с переключением"

Для оценки пространственного мышления, кроме различных широкопрофильных вопросников, применяются узкоспециализированные тестовые методики (тесты К. Леонгарда, Д. Голланда, Рокича-Шварца, Тимоти Лири, методика "Компас"). Для определения уровня развития пространственного мышления специалистов и руководителей объектов

магистрального транспорта газа применялась методика "Краткий ориентировочный тест", о которой было рассказано выше, а также методика "S-тест" (см. таблицу).

Методика "S-тест" применяется для изучения точности зрительного восприятия, пространственного мышления и скорости протекания мыслительных процессов. Обследуемому необходимо выполнить за ограниченное время как можно больше заданий, состоящих в мысленном дополнении рисунка и идентификации его с одной из четырех предложенных фигур (рис. 3). В первой строке представлены образцы четырех геометрических фигур, а ниже — их фрагменты. Необходимо определить, частью какой из предложенных фигур является каждый фрагмент. Таким образом, задача испытуемого — "в уме" дополнить рисунок и зачеркнуть на бланке цифру, которая обозначает номер образца.

Второй блок исследуемых качеств включает **психофизиологические качества** руководителей и специалистов магистрального транспорта газа. Оценка указанных качеств, как правило, осуществляется с помощью тестов и опросников, позволяющих получить результаты по различным шкалам для многостороннего исследования сотрудника. К таким методикам относятся опросники Айзенка, Тейлора,

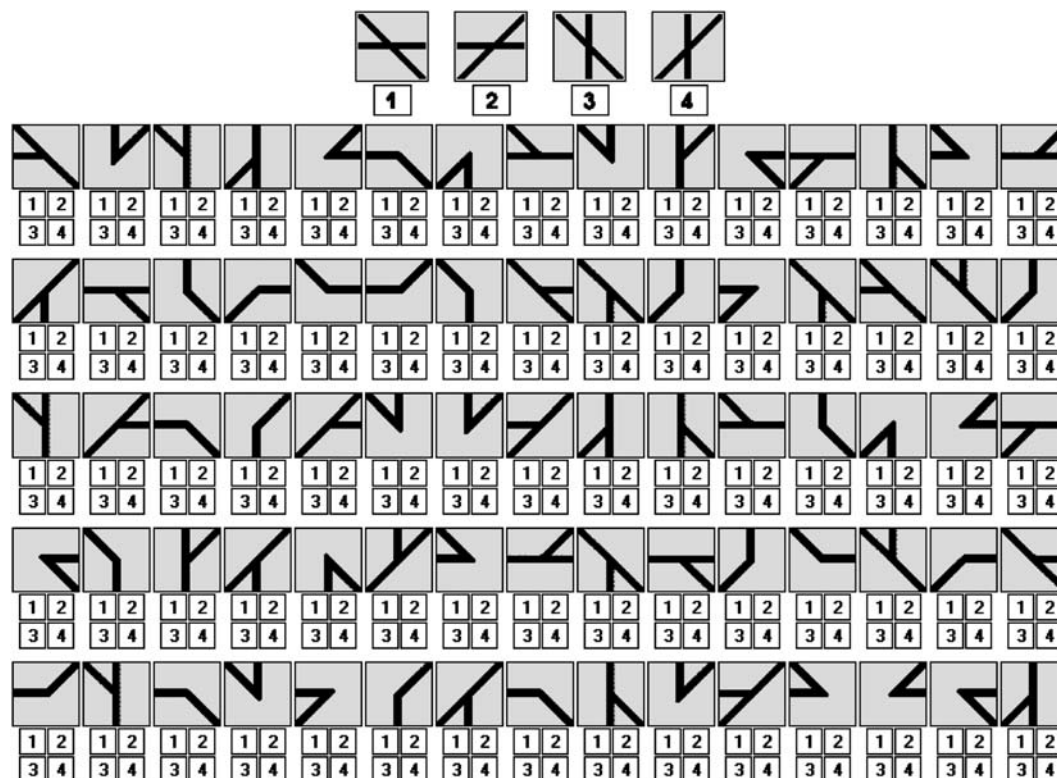


Рис. 3. Фрагмент методики "S-тест"



тесты Люшера, Розенцвейга, стандартизированный многофакторный метод исследования личности (СМИЛ), методики Спилберга, Ханина [9, 10].

Для руководителей и специалистов объектов магистрального транспорта газа наиболее значимыми среди всех психофизиологических качеств были признаны следующие:

- скорость мыслительных процессов;
- эмоциональная устойчивость.

Для оценки выбранных качеств применялись методики, указанные в таблице. Наиболее многосторонней и объемной из них является "Шестнадцатифакторный личностный опросник Кэттелла" (16-ФЛО). Методика предназначена для определения эмоциональных, коммуникативных качеств, особенностей межличностного взаимодействия. Все характеристики объединены в 16 функционально связанных фактора, обуславливающих поведение человека в разнообразных ситуациях. Сущность исследования 16-ФЛО состоит в том, что обследуемый должен из трех предложенных в опроснике ответов выбрать тот, который наиболее полно отражает его мнение, и зафиксировать этот ответ в регистрационном бланке. Тестовая брошюра содержит 187 вопросов. Кроме количественных показателей можно получить словесный портрет каждого обследуемого. Данные словесного портрета позволяют более детально судить о чертах характера человека и делать вывод о его профессиональной пригодности для той или иной специальности.

Третий блок исследуемых профессионально важных качеств включает **личностные качества** руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара". Личностные качества определяют особенности отношения работника к производственной деятельности, взаимоотношения в коллективе, целеустремленность и волю при преодолении трудностей. Существует большое количество методик для оценки личностных качеств, созданных как в России, так и за рубежом: тест Роршаха, Гиссенский тест, Калифорнийский личностный опросник, опросники Стреляу, Белла, методика Калмыковой [10].

В данном исследовании оценивались следующие личностные качества работников: ответственность, коммуникабельность, организаторские способности и поведение в конфликтной ситуации. Для оценки коммуникативных и организаторских способностей сотрудников использовалась методика "КОС" (см. таблицу). Эта методика базируется на принципе отражения и оценки испытуемыми некоторых особенностей своего поведения в различных ситуациях. Подобраны ситуации, знакомые испытуемому по его личному опыту. Особенность дан-

ного метода состоит в том, что человек как бы проецирует особенности своего поведения на предложенную ситуацию. Так, в программу изучения коммуникативных способностей включены вопросы, выявляющие, много ли друзей у обследуемого, быстро ли он привыкает к новому коллективу, легко ли ему даются выступления в большой аудитории и т. п. Программа изучения организаторских способностей включает вопросы, определяющие быстроту ориентации в сложных ситуациях, находчивость, настойчивость, требовательность, выдержку, самостоятельность и пр.

Кроме этого оценивалось поведение работников в конфликтной ситуации с помощью методики "ПКС" (см. таблицу). Данная методика позволяет определить преобладающий тип поведения человека в межличностном конфликте. Выявляется склонность его к соперничеству или сотрудничеству, избеганию или приспособлению, а также компромиссному решению спорного вопроса. Методика состоит из текста опросника, каждый из 30 пунктов которого состоит из альтернативного выбора ("а" или "б") между двумя утверждениями, который должен сделать обследуемый, и бланка ответов.

В результате обработки тестовых материалов были получены балльные значения по каждой методике для всех работников, участвовавших в тестировании. Полученные числовые значения позволяют перейти к дальнейшей обработке данных для получения оценки профессионально важных качеств по иерархической схеме с помощью математического метода многомерного шкалирования.

#### Список литературы

1. **Бодров В. А.** Психология профессиональной пригодности. — М.: ПЕР СЭ, 2001. — 511 с.
2. **Крылов А. А.** Психология. — М.: Проспект, 1999. — 584 с.
3. **Кулагин Б. В.** Основы профессиональной психодиагностики. — Л.: Медицина, 1984. — 250 с.
4. **Багрецов С. А.** Методы профессионального отбора специалистов. — Тверь: Триада, 2005. — 183 с.
5. **Анастаси А.** Психологическое тестирование: Пер. с англ. — Кн. 1—2. — М.: Педагогика, 1982.
6. **Купер Д.** Отбор и найм персонала: технологии тестирования и оценки. — М.: Вершина, 2005. — 332 с.
7. **Павлова Н. М., Волохина А. Т., Иванова М. В., Глебова Е. В.** Экспертная оценка как метод анализа производственной деятельности руководителей и специалистов ООО "Газпром Трансгаз Самара" // Безопасность жизнедеятельности. — 2011. — № 7. — С. 24—29.
8. **Кемаева М. В.** Исследование личностных особенностей персонала применительно к задачам профессионального отбора. — М.: Изд-во Московского открытого социального университета, 2005. — 80 с.
9. **Соколова Е. Т.** Проективные методы исследования личности. — М.: МГУ, 1980. — 186 с.
10. **Терехова М. А., Каширин А. Б.** Анализ методов профотбора персонала экстремальных профессий организаций ОАО "Газпром". — М.: ООО ИРЦ "Газпром", 2008. — 115 с.



УДК 533.6.071.4

**К. Г. Добросельский**, канд. техн. наук, доц., ст. науч. сотр.,  
Институт теплофизики СО РАН, г. Новосибирск  
E-mail: dobroselsky@mail.ru

## Модель оценки рассеяния газообразных вредных веществ от вертикальных сосредоточенных источников

*Описана физическая модель рассеяния вредных газообразных примесей, распространяющихся от точечных источников в приземном атмосферном слое. Дана эмпирическая формула для расчета концентрации газовых примесей на различных расстояниях от источника выбросов.*

**Ключевые слова:** модель, примеси, струя, концентрация

**Dobroselsky K. G. Model of evaluation dispersion gaseous harmful substances from vertical concentrated sources**

*The physical model of dispersion of the harmful gaseous impurity extending from dot sources in a ground atmospheric layer is developed. The empirical formula for calculation of concentration of gas impurity on various distances from a source of emissions is received.*

**Keywords:** model, impurities, jet, concentration

### Введение

Вредные газообразные примеси наиболее опасны для окружающей среды, так как трудно улавливаются и легко переносятся на большие расстояния. Распространенными загрязнителями атмосферы являются выбросы от труб, которые можно считать точечными сосредоточенными источниками.

Детальное исследование рассеяния примесей в атмосферном воздухе затруднительно вследствие ограниченного количества наблюдателей. Поэтому моделирование рассеяния газообразных примесей — одна из первоочередных задач природоохранных мер. Оно должно обеспечивать достоверную информацию о распространении примесей при небольшом количестве параметров, времени и материальных средств.

Существующие модели и методики рассеяния примесей содержат большое количество параметров, зависимость которых от метеоусловий сложна и плохо

изучена. Расчеты по ним сильно разнятся [1, 2]. Наиболее достоверные результаты получаются для высоких источников вредных выбросов и далеко от них.

Наибольшее воздействие на окружающую среду оказывают низкие и средние источники, в частности котельные, располагающиеся вблизи жилых и промышленных зон. Действие таких источников исследовано недостаточно. Данная работа частично восполняет этот пробел.

### Предпосылки модели

Ниже перечислены предпосылки построения модели:

1. Основные параметры, влияющие на распространение газообразных примесей в атмосферном воздухе — направление и скорость ветрового потока, скорость выбросов [3].
2. Выбросы газообразных примесей, скорость упорядоченного оседания которых практически равна нулю, турбулентные струи, распространяющиеся в поперечном ветровом потоке.
3. Газовоздушная струя выбросов. Ее можно считать практически воздушной уже вблизи источника. Рассеяние примесей в атмосферном приземном слое, осуществляемое в конечном итоге под действием диффузии переносимой среды (ветрового, воздушного потока).
4. Профиль концентраций газообразной примеси, подобный профилю избыточных температур в поперечном сечении струи [4, 5].

Для моделирования рассеяния газообразных примесей в реальной атмосфере необходимо соблюдать механическое (физическое) подобие модели, под которым подразумеваются одновременно геометрическое, кинематическое и динамическое подобия [6, 7]. Выполнение полного подобия практически невозможно, однако и частичность его, тем более в случае развитых турбулентных течений, вполне достаточна для качественной оценки рассеяния газообразных веществ.



Для двух геометрически подобных потоков, если их линейные размеры отличаются величиной масштаба, можно записать:

$$M_l = \frac{l_n}{l_m},$$

где  $l_n, l_m$  — какой-либо размер соответственно натуре и модели.

Для сходных скоростей в геометрически и кинематически подобных потоках аналогично можно ввести масштаб скорости:

$$M_u = \frac{u_n}{u_m},$$

где  $u_n, u_m$  — характерные скорости исследуемых течений соответственно в натуре и модели.

Критерий частичного подобия, обеспечивающий пропорциональность сил вязкости и давления, называется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{d_n \times u_n}{\nu_n} = \frac{d_m \times u_m}{\nu_m},$$

где  $d_n, d_m$  — характерные размеры исследуемых течений соответственно в натуре и на модели;  $\nu_n, \nu_m$  — кинематические вязкости исследуемых течений, соответственно в натуре и на модели.

### Физическая модель процесса

Физическая модель исследуемого течения представляет собой воздушную осесимметричную струю, которая выбрасывается из трубы высотой  $H = 0,22...0,3$  м и диаметром  $d = 0,022$  м под прямым углом к направлению движения воздушного потока. На рис. 1 представлена задымленная струя. Для исследования струи в сносящем потоке применялся аэродинамический канал [8] длиной 5,5 м и поперечным сечением  $0,8 \times 0,5$  м. Распространение

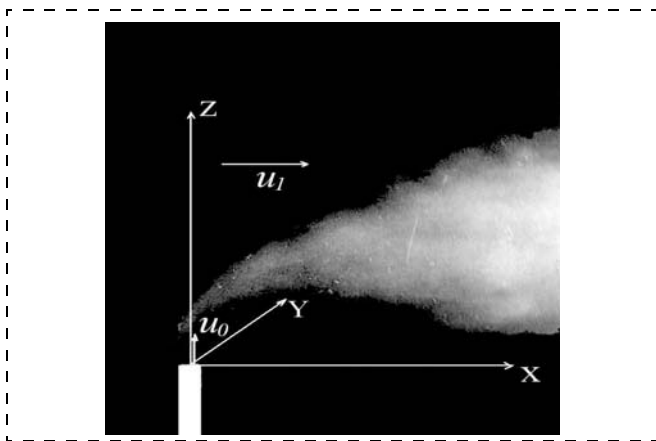


Рис. 1. Вертикальная струя в поперечном потоке

струи в канале происходило таким образом, что границы струи находились достаточно далеко от стенок измерительной части канала. Это позволяет говорить о свободном движении струи.

Исследования проводились для относительных скоростных напоров  $q = 0,85...6,12$  ( $q = u_0^2/u_1^2$ , где  $u_0$  — максимальная скорость струи на срезе трубы;  $u_1$  — скорость сносящего потока) с изотермическими и слабонеизотермическими (критерий Архимеда  $Ar = 2,8 \times 10^{-4}...1,0 \times 10^{-3}$ ) струями.

Геометрическое подобие легко достижимо. Натурные диаметры источников выбросов (например, котельные, вентиляционные трубы) лежат в пределах  $0,5...1,5$  м. Для диаметра используемых труб коэффициент  $M_l \approx 23...68$ , что соответствует высотам реальных труб  $H \approx 5...20$  м.

Масштаб скорости  $M_u = 1,6...6$ , что соответствует скорости атмосферных течений  $3...10$  м/с и воздушному потоку в канале  $u_1 = 1,7...1,9$  м/с. Отсюда скорость выбросов в "натуре"  $u_n \approx 4...28$  м/с при скорости "модельных" струй (в устье источника)  $u_0 = 2,4...4,7$  м/с.

Значения чисел Рейнольдса для воздушных струй, формирующихся в вертикальных трубах, составляли  $Re_0 = 2,7 \times 10^3...6,9 \times 10^3$ , где  $Re_0 = u_0 d/\nu$ , где  $\nu$  — кинематическая вязкость воздуха. В центральной части канала был сформирован равномерный поток с числом  $Re_1 \approx 8,5 \times 10^4$ , где  $Re_1 = u_1 D/\nu$ , где  $D$  — условный диаметр канала, который определялся из равенства площадей поперечного сечения канала ( $a \times b$ ) и круглой трубы:  $a \times b = \pi D^2/4$ . Откуда  $D = \sqrt{(4ab)/\pi} \approx 0,71$  м).

Реальные атмосферные течения имеют числа  $Re_1 > 10^5$ , а струи газообразных выбросов —  $Re_0 > 10^4$ . Однако это неполное подобие чисел Рейнольдса для натуре и модели не оказывает серьезного влияния на достоверность модельного исследования, так как расширение струи не зависит от плотности, вязкости и числа Рейнольдса, если оно достаточно велико [5].

### Основные характеристики струи в поперечном потоке

Одной из основных характеристик распространения выбросов от труб является определение эффективной высоты выброса с помощью выражений для подъема шлейфа (определение оси струи).

Измерения скоростного и температурного полей, визуальные наблюдения и фотосъемка задымленных струй показали, что наиболее достоверно ось струи описывается точками максимальной температуры в поперечных сечениях неизотермической струи. Точки максимальной скорости рас-

полагаются ближе к верхней границе струи и с уменьшением  $q$  могут выйти за ее пределы.

Для относительных скоростных напоров  $q = 2,0; 3,10; 5,55$  слабонеизотермической струи было получено эмпирическое выражение для точек максимальной температуры (поднятие струи над источником) [9]:

$$\bar{z}_0 = q^{0,51} \bar{x}^{0,33}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$ ,  $\bar{z}_0$  — относительные координаты ( $\bar{x} = x/d$ ,  $\bar{z}_0 = z_0/d$ ), отсчитываемые относительно устья источника (трубы);  $x$ ,  $z_0$  — координаты точек максимальной температуры в поперечных сечениях струи.

Для  $q < 1$  идентифицировать струю практически невозможно (ось, границы), ее поведение резко отличается от струй с  $q > 1$ , она достаточно близко от источника опускается ниже среза трубы (рис. 2).

Считая, что профиль концентраций газообразной примеси подобен профилю избыточных температур в поперечном сечении струи, были определены границы теплового пограничного слоя струи.

На основе опытных данных был получен безразмерный профиль избыточной температуры [10], который может быть представлен в виде:

$$\frac{t - t_1}{t_m - t_1} = \exp \left\{ -\frac{0,7}{\text{tg}^2 \alpha_{0,5t}} \left( \frac{z - z_0}{x} \right)^2 \right\}, \quad (2)$$

где  $t$  — температура в измеряемой точке;  $t_m$  — максимальная температура в рассматриваемом поперечном сечении струи;  $t_1$  — температура сносящего потока;  $z$  — вертикальная координата измеряемой точки;  $z_0$  — то же оси (точки максимальной температуры [9]) в рассматриваемом поперечном сечении относительно устья трубы;  $\text{tg} \alpha_{0,5t}$  — тангенс угла  $\alpha$ , образованного точкой половинной из-

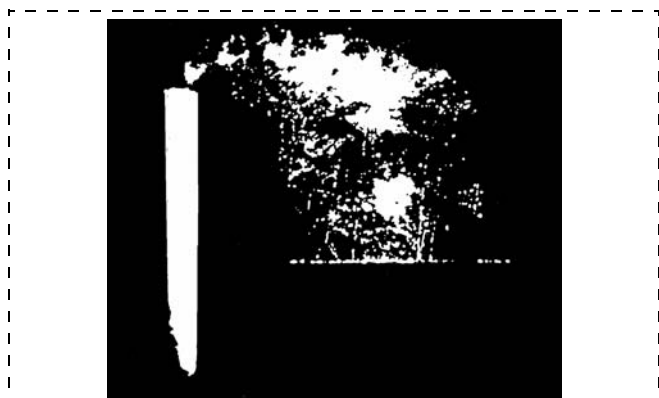


Рис. 2. Задымленная струя в поперечном воздушном потоке при  $q < 1$

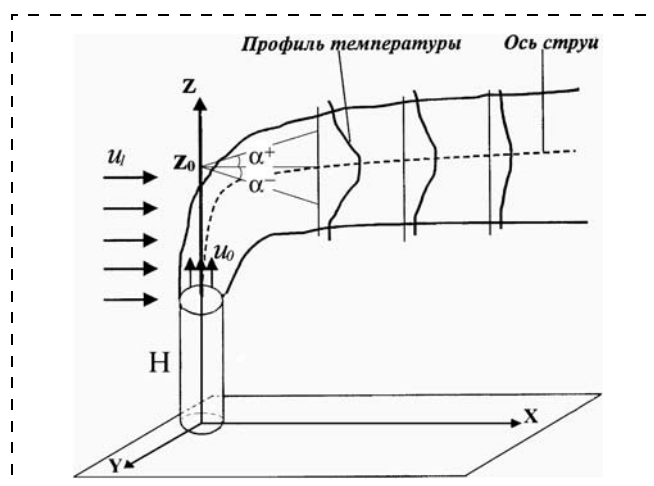


Рис. 3. Геометрические характеристики границ пограничного слоя в струе

быточной максимальной температуры и осью  $X$  в рассматриваемом поперечном сечении струи (рис. 3).

Вблизи источника были определены значения тангенсов отдельно выше ( $\text{tg} \alpha_{0,5t}^+$ ) и ниже ( $\text{tg} \alpha_{0,5t}^-$ ) оси в поперечных сечениях струи.

По этим опытным данным были получены следующие эмпирические зависимости

$$\text{tg} \alpha_{0,5t}^+ = \frac{0,39q^{0,43}}{\bar{x}^{0,75}} \quad \text{и} \quad \text{tg} \alpha_{0,5t}^- = \frac{0,54q^{0,28}}{\bar{x}^{0,75}}. \quad (3)$$

Используя приведенные выше рассуждения и зависимости, был построен профиль относительных, избыточных температур слабонеизотермических струй в горизонтальной плоскости  $XY$ .

$$\frac{t - t_1}{t_m - t_1} = \exp \left\{ -\frac{0,7}{\text{tg}^2 \beta_{0,5t}} \left( \frac{y}{x} \right)^2 \right\}, \quad (4)$$

где  $\text{tg} \beta_{0,5t}$  — тангенс угла, образованного точкой половинной избыточной осевой температурой и осью  $X$  в рассматриваемом горизонтальном поперечном сечении струи;  $y$  — поперечная координата (см. рис. 1).

Для некоторых поперечных сечений ( $\bar{x} = 0,9 \dots 17,25$ ) были найдены значения тангенса угла  $\beta_{0,5t}$ , которые могут быть выражены зависимостью

$$\text{tg} \beta_{0,5t} = \frac{0,29q^{0,86}}{\bar{x}^{0,75}}. \quad (5)$$

Для значений осевой относительной безразмерной температуры была получена зависимость [11],

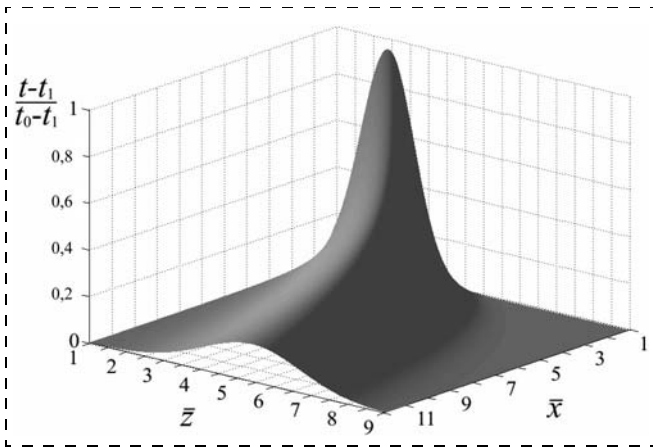


Рис. 4. Безразмерные профили температуры в плоскости XZ

которая может быть представлена в виде ( $\bar{x} = 2,73...20,91$ ):

$$\frac{t_m - t_1}{t_0 - t_1} = \frac{1}{\bar{x}^{0,75}}, \quad (6)$$

где  $t_0$  — температура в начальном сечении струи (в устье источника).

Используя (2) и (6), можно получить выражение для профиля относительной температуры.

$$\frac{t - t_1}{t_0 - t_1} = \frac{1}{\bar{x}^{0,75}} \exp \left\{ -\frac{0,7}{\text{tg}^2 \alpha_{0,5t}} \left( \frac{z - z_0}{x} \right)^2 \right\}. \quad (7)$$

На рис. 4 представлены профили температуры для  $q = 5,55$ , построенные по зависимости (7), с использованием выражений (1) и (3). Подобный профиль будет и для относительной концентрации газообразных примесей, если сделать замену  $t$  (температуру) на  $c$  (концентрацию).

#### Результаты модели и их обсуждение

На основе зависимостей (1)–(7), считая фоновую концентрацию незначительной, была получена формула для расчета концентрации  $c$  газообразных примесей, выбрасываемых в атмосферу через одиночные источники (трубы).

$$c = A(\bar{x})c_0 \exp \left\{ \frac{-0,7}{\text{tg}^2 \alpha} \left( \frac{\bar{z} - (\bar{z}_0 + \bar{H})}{\bar{x}} \right)^2 \right\} \times \exp \left\{ \frac{-0,7}{\text{tg}^2 \beta} \left( \frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right)^2 \right\}, \quad (8)$$

где  $A(\bar{x})$  определяется по зависимости (6) при  $\bar{x} < 20$  и  $A(\bar{x}) = 2,1q^{0,3}/\bar{x}$  при  $\bar{x} > 20$  [12];  $c_0$  — концент-

рация примеси в устье источника;  $\bar{z}_0$  — положение осевой линии струи (точки максимальной температуры в поперечных сечениях неизотермических струй) выбросов относительно устья источника;  $\bar{H} = H/d$  — относительная высота источника выбросов;  $\bar{z} = z/d$  — вертикальная координата, отсчитываемая относительно подстилающей поверхности;  $\bar{y} = y/d$  — поперечная координата;  $\text{tg} \alpha$ ,  $\text{tg} \beta$  — тангенсы углов, образованных точкой половинной избыточной максимальной температуры и продольной осью  $X$ , в рассматриваемом поперечном сечении струи соответственно в вертикальной  $XZ$  и горизонтальной  $XU$  плоскостях.

Вблизи источника ( $0 < \bar{x} < 20$ )  $\text{tg} \alpha$  и  $\text{tg} \beta$  определяются по зависимостям (3) и (5) соответственно. Далеко от источника ( $\bar{x} > 20$ )  $\text{tg} \alpha \approx 0,10$ ,  $\text{tg} \beta \approx 0,12$  [10].

Используя математические преобразования, можно получить профили концентраций газообразных примесей на поверхности Земли ( $\bar{z} = 0$ ), определив предварительно место касания струи. Это будет происходить достаточно далеко от источника, где  $\text{tg} \alpha \approx 0,10$ ,  $\text{tg} \beta \approx 0,12$ . Для конкретного значения  $q$  и относительной высоты трубы  $\bar{H}$  можно найти подъем (шлейфа) струи ( $\bar{z}_0 + \bar{H}$ ) над поверхностью Земли, определив сначала расстояние  $\bar{x}_0$ , когда подъем струи над источником будет максимальным, используя формулу (3) для  $\text{tg} \alpha$  и приравняв его к 0,1 и далее подставив в выражение (1).

$$\bar{x}_0 = \left( \frac{0,54q^{0,28}}{0,1} \right)^{4/3}, \quad \bar{z}_{\max} = q^{0,51} \bar{x}_0^{0,33}.$$

Продифференцировав выражение (8) для концентрации (при  $\bar{y} = 0$  и  $\bar{z} = 0$ )

$$\frac{c}{c_0} = \frac{2,1q^{0,3}}{\bar{x}} \exp \left\{ \frac{-0,7}{\text{tg}^2 \alpha} \left( \frac{(\bar{z}_{\max} + \bar{H})}{\bar{x}} \right)^2 \right\},$$

и приравняв полученное выражение к нулю, можно определить место касания струи с поверхностью Земли ( $\bar{x}_k$ ) и относительную концентрацию примеси  $c_k/c_0$  в этом месте.

Например, для  $q = 5,55$ ,  $\bar{H} = 20$  относительная координата места касания  $\bar{x}_k = 310$ , а концентрация примеси в этом месте  $c_k/c_0 \approx 0,07$ .

При этом относительная концентрация на поверхности Земли определяется выражением

$$\frac{c}{c_0} = \frac{2,1q^{0,3}}{\bar{x}} \exp \left\{ -\frac{48\,195 + 48,6\bar{y}^2}{\bar{x}^2} \right\}.$$



Для  $q = 3,10$  и  $2,0$  расстояние от источника той же высоты до места касания уменьшается (до 275 м), относительная концентрация примеси в месте касания незначительно уменьшается и составляет  $c_k/c_0 \approx 0,06$ . Получается, что величина относительного динамического напора в рассматриваемом диапазоне влияет незначительно на наземную концентрацию примеси.

### Заключение

Разработанная модель позволяет оценить концентрации газообразных примесей, распространяющихся от точечных источников высотой 5...20 м в воздухе и на поверхности Земли для скоростей ветровых потоков 3...10 м/с.

### Список литературы

1. **Защита** атмосферы от промышленных загрязнений: Справ. изд.: В 2-х ч. Ч. 2. Пер. с англ. / Под ред. С. Калверта, Г. М. Инглунда. — М.: Металлургия, 1988. — 712 с.
2. **Методика** расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 94 с.

3. **Лейкин И. Н.** Проектирование вентиляционных и промышленных выбросов в атмосферу. — М.: Химия, 1970. — 132 с.
4. **Аксенов А. А., Гудзовский А. В., Дядькин А. А., Тишин А. П.** Смешение газов при вдуве низконапорной струи в поперечный поток // Изв. РАН. Сер. МЖГ. — 1996. — № 3. — С. 67—74.
5. **Рейнольдс А. Дж.** Турбулентные течения в инженерных приложениях / Пер. с англ. — М.: Энергия, 1979. — 408 с.
6. **Мхитарян А. М.** Аэродинамика. — М.: Машиностроение, 1976. — 448 с.
7. **Седов Л. И.** Методы подобия и размерности в механике. — М.: Наука, 1965. — 388 с.
8. **Добросельский К. Г.** Методика оценки распространения вредных выбросов от вентиляционных шахт и дымовых труб в приземном слое атмосферы. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владивосток, 1995. — 26 с.
9. **Добросельский К. Г.** Геометрия слабонапорной струи в поперечном воздушном потоке // Теплофизика и аэромеханика. — 2001. — Т. 8. — № 2. — С. 199—203.
10. **Добросельский К. Г.** Динамические и тепловые характеристики струи, вдуваемой по нормали к поперечному потоку // Теплофизика и аэромеханика, 2004. — Т. 11, № 1. — С. 79—86.
11. **Добросельский К. Г.** Вертикальная слабонапорная струя в поперечном потоке // Инженерно-физический журнал. — 2005. — Т. 78. — № 6. — С. 143—147.
12. **Добросельский К. Г.** Изменение осевых значений скорости и температуры в струе, сносимой поперечным потоком // Вестн. Амур. ГУ. — Благовещенск: Изд-во Амур. ГУ, 2002. — Вып. 19. — С. 27—29.

УДК 665.767:621.56:543.51

**Н. В. Ермолаева**, асп., **Ю. В. Голубков**, д-р техн. наук, МГТУ "Станкин"  
E-mail: ermolaeva\_n\_v@mail.ru

## Воздействие масляных смазочно-охлаждающих жидкостей на человека и окружающую среду и методы его минимизации<sup>1</sup>

*Приведены данные анализа молекулярного состава индустриального масла И-40А, проведенного хромато-масс-спектрометрическим методом. Оценена опасность для человека и окружающей среды обнаруженных веществ. Перечислены методы защиты от указанных соединений, а также от ряда других веществ, содержащихся в масляных смазочно-охлаждающих жидкостях.*

**Ключевые слова:** защита окружающей среды, фенол, смазочно-охлаждающие жидкости

**Ermolaeva N. V., Golubkov Yu. V.** *An influence of the oil lubricoolants on a man and an environment and the methods of its minimization*

*The molecular composition of industrial oil was researched with the chromatography-mass spectrometric method. There were discovered different organic com-*

*pounds. They can be accumulated in workman's or ganism and also polluted environment. There was suggested the methods of the active protection from the indicate compounds, and also from other compounds which are contained in lubricoolants.*

**Keywords:** environmental protection, phenol, lubricoolants

Смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС), подавляющее большинство которых составляют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), являются неотъемлемым элементом технологических процессов современных металлообрабатывающих производств. Многие технологические процессы обработки металлических загото-

<sup>1</sup> Статья публикуется в рамках Международной заочной конференции "Проблемы безопасности XXI века".



вок резанием вообще невозможны без применения СОТС [1]. При обработке металлов температура в зоне резания может достигать 960 °С и более [1].

К СОЖ на масляной основе предъявляется ряд требований [2, 3]. В частности, они не должны вызывать выраженного биологического действия на кожу и органы дыхания работника. Воздействие СОЖ на слизистые оболочки должно быть с минимальным раздражающим эффектом, обладать низкой способностью к образованию масляного тумана; СОЖ не должны содержать 3,4-бензпирен и некоторые другие опасные вещества [3].

Основным фактором риска для здоровья работающих с масляными СОЖ является поступление в дыхательные пути аэрозоля масла, формальдегида, акролеина и других продуктов термоокислительной деструкции. Установлено, что даже при соблюдении ПДК в рабочей зоне по акролеину, бензолу, формальдегиду, 3,4-бензпирену, ацетальдегиду индивидуальный пожизненный канцерогенный риск при двадцатилетнем производственном стаже может достигать  $9 \cdot 10^{-3}$ , а при тридцатилетнем стаже —  $1,3 \cdot 10^{-2}$ , что значительно выше приемлемого ( $1 \cdot 10^{-3}$ ) для профессиональных групп [2, 4].

Несмотря на то, что практически для всех компонентов, входящих в состав СОЖ и продуктов их термоокислительной деструкции, имеются ПДК, СОЖ, являясь сложными смесями, способны оказывать неблагоприятное воздействие на здоровье человека. Поскольку на основе теоретического анализа это воздействие достоверно прогнозировать затруднительно, обязательным этапом определения степени опасности СОЖ является их токсикологическая оценка, при которой определяются показатели LD50, LC50, а также способность раздражать кожу и слизистые, сенсibilизирующие и мутагенные свойства, класс опасности.

При оценке вредного воздействия СОЖ учитывают канцерогенные свойства веществ, входящих в ее состав. В литературе имеются данные о присутствии канцерогенных веществ, в частности, 3,4-бензпирена, в масляной СОЖ марки "Сульфозфрезол" и в воздухе металлообрабатывающих цехов, где они используются [3].

Молекулярный состав СОЖ на масляной основе МР-3 был исследован хромато-масс-спектрометрическим методом. В нем обнаружено присутствие трех полициклических ароматических углеводородов (ПАУ): 3-метилфенантрена, 2- и 9-метилантрацена. Последние присутствуют в количестве от 4 до 22 нг/г, обладают потенциальной канцерогенной активностью и могут накапливаться в организме человека и загрязнять окружающую среду [5].

Тем же методом был исследован молекулярный состав масляной СОЖ СП-4. В ней обнаружено

5 алкенов, 2 серо-, 8 кислород-, 6 галогенсодержащих соединений и ряд других веществ. Они присутствуют в количестве 0,3...10 мкг/г и представляют опасность для человека и окружающей среды [6].

Чаще всего масляные СОЖ изготавливают на основе индустриальных масел, ассортимент которых только в бывшем СССР составлял 150 марок. Кинематическая вязкость масел различна и изменяется в пределах  $(5...500) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при 50 °С и  $(11...70) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при 100 °С. Для приготовления СОЖ предпочтительны масла, вязкость которых не превышает  $50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  при 40 °С. Обычно в качестве основы СОЖ применяют маловязкие продукты 7...12-го классов вязкости по действующей классификации [7].

Очень важным является унификация смазочно-охлаждающих жидкостей для обработки металлов резанием [8]. Наиболее подходящими для унификации, по мнению авторов, являются концентраты присадок, из которых можно приготовить рабочие растворы масляных СОЖ непосредственно на заводах-потребителях путем растворения концентрата в минеральных маслах.

Поэтому представляет значительный интерес определение молекулярного состава индустриальных масел с целью нахождения отдельных соединений — потенциальных загрязнителей окружающей среды. Такие данные необходимы для разработки и принятия мер по реализации активных методов защиты персонала и окружающей среды от вредных компонентов масляных СОЖ [9].

Целью исследования является анализ молекулярного состава индустриального масла И-40А.

### Экспериментальная часть

Содержание компонентов индустриального масла И-40А определяли хромато-масс-спектрометрическим методом. Исследуемый образец разбавляли дихлорметаном в 10 раз и вводили в хроматограф.

Хроматографические эксперименты проводили на газовом хроматографе Agilent 6850 (Agilent Technologies, США), снабженном масс-спектрометрическим детектором Agilent 5973N (Agilent Technologies, США). Разделение проводили на колонке длиной 60 м и диаметром 0,25 мм, заполненной неподвижной фазой (ZB-WAX) толщиной 0,25 мкм (Phenomenex, США). Программа градиента температур колонки: начальный изотермический участок 40 °С (5 мин); подъем температуры со скоростью 10 °С/мин от 40 до 230 °С; конечный изотермический участок 230 °С (7 мин). Объем вводимой пробы 1 мкл. Температура испарителя и



детектора — 230 °С. Ионизацию проводили электронным ударом энергией 70 эВ. Сбор и обработку данных осуществляли с использованием программно-аппаратного комплекса ChemStation версии D 02.00.275 (Agilent Technologies, США) [10].

В результате были идентифицированы 12 алканов, 7 алкенов, 4 циклоалкана, 4 спирта, 2 фенола, 1 сложный эфир, 1 азот-, 2 серо- и 6 галогенсодержащих органических соединений, нитропроизводное алкенов — 6-нитроундецен-5 и ряд других веществ. Они присутствуют в количестве 0,2...0,3 мкг/г. Физические и физико-химические свойства некоторых из них представлены в приложении к статье.

### Обсуждение результатов

Некоторые СОЖ на масляной основе с содержанием нефтяных рафинированных масел 89,5...97,2 масс. % в виде поставок с нефтемастозаводов содержат в своем составе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), поступающие в СОЖ из сырья [2]. То же можно сказать и о перечисленных выше идентифицированных веществах, содержащихся в индустриальном масле И-40А.

Известно [11], что в составе некоторых геологически наиболее молодых нефтей обнаружены незначительные количества *непредельных углеводородов*. Имеющиеся в настоящее время данные позволяют вполне обоснованно утверждать, что обнаруживаемые в нефтях алкены являются продуктами естественного генезиса нативных нефтей [12].

Обширную группу нефтяных компонентов составляют гетероатомные вещества, содержащие в молекулах атомы серы, кислорода или азота. Наиболее важными из таких гетерокомпонентов являются сернистые соединения.

По содержанию *сернистых соединений* и их составу нефти сильно различаются. К вредным воздействиям сернистых соединений относят коррозию машин и оборудования, загрязнение атмосферы при сгорании топлив и др.

Главными из *кислородсодержащих* компонентов нефти являются карбоновые кислоты и их эфиры, в меньших количествах обнаружены фенолы, спирты, лактоны, производные фурана. Повышенные концентрации кислородсодержащих соединений обычно встречаются в нефтях из очень молодых или неглубоко погруженных залежей.

В индустриальном масле И-40А одновременно присутствуют непредельные углеводороды и кислородсодержащие органические соединения. Это дает право предположить, что исследуемое масло было приготовлено на основе геологически наиболее молодых или неглубоко залегающих нефтей.

В высших фракциях нефти идентифицированы [12] *азотсодержащие* органические соединения.

Исследуемое индустриальное масло И-40А содержит нитропроизводное алкенов — 6-нитроундецен-5.

Практически все органические вещества представляют опасность для окружающей среды. Наиболее сильными канцерогенами в нефтяных маслах являются ароматические углеводороды (ПДК 0,01..100 мг/м<sup>3</sup>), олефины (1...10 мг/м<sup>3</sup>), а также соединения серы, азота и кислорода. Токсичность *фенолов* зависит от их природы; увеличение длины и количества алкильных заместителей в ядре, как правило, уменьшает токсичность, но увеличивает персистентность и способность к кумуляции в живых организмах. Именно поэтому октил- и нонилфенолы включены в число стойких органических загрязнителей [13].

В настоящее время трудно выделить самые вредные для окружающей среды вещества, так как многие из них, в том числе и алкилфенолы, оказывают влияние на репродуктивное здоровье людей, вызывают рост раковых заболеваний. В организме человека алкилфенолы окисляются до алкилпирокатахинов, ингибирующих тирозиназную редокс-систему (ДОПА-оксидазную).

Особенно сильно страдают от загрязнения фенолами обитатели водной среды и растительность. Установлено, что рыбы, живущие в районах стока вод химических производств, имеют нарушения эндокринной системы. При этом самцы начинают вырабатывать белки, которые присутствуют в икринках самок. Так, после катастрофического выброса сточных вод во Флориде (США) в 1980 г. наблюдалось рождение стерильных крокодилов. Действие фенола и его производных имеет еще одну неприятную сторону. Исследования показали, что они обладают синергизмом, т. е. совместное токсическое действие нескольких веществ превышает сумму эффектов отдельных соединений.

Результаты анализов, выполненных норвежскими учеными, свидетельствуют о том, что содержание *хлорпарафинов* в воздухе арктических районов колеблется от 1,8 до 10,6 нг/м<sup>3</sup>, причем летом оно почти на порядок выше, чем в зимние месяцы [13].

Хлорпарафины адсорбируются на твердых частицах и накапливаются в донных осадках, с которыми переносятся на большие расстояния. Возможно их накопление и в водной фауне.

Токсичность хлорпарафинов для рыб, птиц и млекопитающих относительно невысокая. Кроме того, отмечено нейротоксическое действие хлорпарафинов на рыб. Для млекопитающих  $CL_{50} = 40$  г/м<sup>3</sup>. При непосредственном введении хлорпарафинов в организм мышей  $DL_{50} = 21,8$  г/кг, для крыс соответствующая величина равна 26,1 г/кг. Опыты с куриными эмбрионами показывают, что хлорпа-



рафины вызывают нарушения в мембранах и изменяют скорость ферментативных процессов.

В организм человека хлорпарафины попадают, как правило, с пищей. Так, в пробах жировой ткани пожилых рыбаков было найдено до 200 мкг/кг хлорпарафинов. В основном они накапливаются в жировой ткани, в печени, надпочечниках, костном мозге и яичниках. Хлорпарафины с большой степенью хлорирования задерживаются преимущественно в жировой ткани и печени. В дальнейшем под действием микросомальных ферментов они дехлорируются и расщепляются до углеводородных фрагментов, которые подвергаются метаболической детоксикации. Скорость метаболизма уменьшается с увеличением длины углеродной цепи и степени хлорирования.

Учитывая вышеизложенное, поскольку в индустриальном масле И-40А содержатся хлорсодержащие соединения, его не рекомендуется использовать для приготовления СОЖ, которые применяются при обработке глубоких отверстий.

Необходимо оценивать пространственные и временные масштабы источников воздействия на окружающую среду, которые могут иметь катастрофические последствия для отдельных видов, популяций и сообществ, привести к экологической катастрофе. По утверждению философа Н. Ф. Реймерса [14], малые воздействия могут складываться в кумулятивные и цепные интеграции, по силе многократно превосходящие отдельные влияния и их арифметическую сумму. Незначительное по величине не значит безопасное. Вредное для одних групп организмов в силу физико-химического единства живого на планете не может быть безопасным для других групп и, в конечном итоге, для человека. Разница лишь во времени и в скорости реакций деструкции. Вымирание (истребление) всегда имеет групповой характер природной цепной реакции.

Все это делает контроль за уровнем содержания вредных компонентов в объектах окружающей среды одной из важнейших задач, прямо связанных с самой возможностью существования человечества. Понимание роли указанных веществ в возникновении раковых и других заболеваний человека должно сочетаться с организацией профилактических мер, предупреждающих их вредное воздействие на организм человека. Анализ воздействия обнаруженных веществ на рабочих позволит определить их количество, идентифицировать их природу и на этой основе оценить их вредное влияние.

Важным принципом в области обеспечения безопасности жизнедеятельности является приоритетность минимизации воздействия на окружающую

среду и человека перед управлением этим воздействием [9]. Реализация этого принципа заключается в том, что необходимо уменьшить воздействие на окружающую среду и человека непосредственно в источнике, а не принимать затем меры по управлению этим воздействием посредством строительства очистных сооружений разных типов, утилизации отходов, их нейтрализации и т. п.

Перечислим возможные методы очистки индустриального масла И-40А от вредных примесей.

*Гидроочистка* — наиболее эффективный метод удаления сернистых соединений всех типов из нефтепродуктов. Режимы и катализаторы, используемые при гидроочистке, зависят от состава сернистых соединений и их содержания в нефтепродуктах. Процесс ведут при температуре 350...450 °С и давлении 2,5...20 МПа. В качестве катализаторов используют оксиды или сульфиды кобальта, молибдена, вольфрама, никеля, железа на оксиде алюминия. Наиболее распространенный катализатор, применяемый в процессе гидроочистки нефтепродуктов, — молибдат кобальта на оксиде алюминия. Гидроочистка основана на разрушении сернистых соединений с образованием сероводорода. Разрушение происходит в следующем порядке: меркаптаны, полисульфиды, сульфиды, производные тиофена. Получаемый сероводород окисляют до элементарной серы.

Универсальным методом очистки является *адсорбция* на естественных глинах, синтетических алюмосиликатах, силикагеле и активированном угле. Однако этот метод требует дальнейшей разработки.

Перспективной может оказаться также *экстракционная очистка* сернистых и ароматических соединений диэтиленгликолем. Такую очистку необходимо проводить, по мнению авторов, на нефтеперегонных заводах, чтобы потребителям поставлять экологичные СОЖ.

#### Список литературы

1. **Кугультинов С. Д., Ковальчук А. К., Портнов И. И.** Обработка резанием материалов, применяемых в ракетостроении. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. — 194 с.
2. **Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием:** Справочник / Под общ. ред. Л. В. Худобина. — М.: Машиностроение, 2006. — 544 с.
3. **Малиновский Г. Т.** Масляные смазочно-охлаждающие жидкости для обработки металлов резанием: свойства и применение. — М.: Химия, 1993. — 160 с.
4. **Кошенков В. Н., Плитман С. И., Корбакова А. И.** Оценка индивидуального канцерогенного риска при контакте со смазочно-охлаждающими технологическими средствами // Медицина труда и промышленная экология. — 2004. — № 8. — С. 36—38.
5. **Ермолаева Н. В., Голубков Ю. В.** Экологическая безопасность при работе с СОЖ на масляной основе и монито-





- ринг окружающей среды // Безопасность жизнедеятельности. — 2010. — № 12. — С. 36—40.
6. **Ермолаева Н. В., Голубков Ю. В., Кушева М. Е.** Определение молекулярного состава смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на масляной основе хромато-масс-спектрометрическим методом // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. — 2010. — № 5. — С. 25—27.
  7. **Бердичевский Е. Г.** Смазочно-охлаждающие средства для обработки материалов: Справочник. — М.: Машиностроение, 1984. — 224 с.
  8. **Кобилинский К. Н., Олейников А. П., Лютый С. Н.** Эффективность универсальных смазочно-охлаждающих жидкостей для обработки резанием конструкционных и легированных сталей // Вопросы химии и технологии смазочных материалов: Сб. научн. тр. — М.: ЦНИИТЭнефтехим. — 1981. — Вып. 17. — С. 78—87.

9. **Шварцбург Л. Э.** Инженерная экология, безопасность труда и жизнедеятельности в МГТУ "Станкин" // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — № 6. — С. 2—4.
10. **Jennings W.** Analytical Gas Chromatography. — San Diego: Academic Press, 1997. — 394 p.
11. **Камьянов В. Ф.** Основы химии нефти. Часть 1. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1981. — 132 с.
12. **Чеников И. В.** Химия и физика нефти: учеб. пособие / Кубан. гос. технол. ун-т. — Краснодар: ГОУ ВПО "КубГТУ", 2010. — 292 с.
13. **Майстренко В. Н., Клюев Н. А.** Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. — 323 с.
14. **Реймерс Н. Ф.** Экология: теории, законы, правила, принципы и гипотезы. — М.: Россия молодая, 1994. — 367 с.

## Приложение

### Физические и физико-химические свойства компонентов индустриального масла И-40А

Название	Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см <sup>3</sup> , при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при другой $t$ )	Температура $t$ , $^{\circ}\text{C}$		Растворимость в воде, г/100 г, при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при другой $t$ )
			плавления	кипения (при $P$ , кПа)	
<b>Алканы</b>					
4,6-Диметилдодекан	198,40	—	—	—	—
Пентадекан	212,42	0,7683	9,93	270,6	Не раств.
Гексадекан	226,45	0,7734	18,15	286,79	Не раств.
Гектадекан	240,48	0,778	21,98	302,7	Не раств.
Октадекан	254,50	0,7753 (30)	28,18	317,4	Не раств.
Нонадекан	268,53	0,772 (40)	32	330	Не раств.
6,10,14-Тетраметилгексадекан	282,56	0,7935	-70	352,5...353,0 139,7...140,2 (0,400)	—
10-Метилнонадекан	282,56	—	—	—	—
9-Метилнонадекан	282,56	—	—	—	—
Генэйкозан	296,57	0,7778 (40,3)	40	358,4	—
Трикозан	324,63	0,7700 (48)	47,5	382	Не раств.
Октакозан	394,78	0,8067	64,4	428,7	—
<b>Алкены</b>					
1-Гептадецен	238,46	—	—	—	—
1-Нонадецен	266,54	—	—	—	—
1-Докозен	308,60	—	—	—	—
11-Трикозен	322,62	—	—	—	—
<i>цис</i> -12-Пентакозен	350,68	—	—	—	—
1-Гексакозен	364,70	—	—	—	—
9-Гексакозен	364,70	—	—	—	—
<b>Циклоалканы</b>					
1,2-Диметил-3-пентил-4-пропил-циклогексан	224,43	—	—	—	—
Этилциклооктадекан	280,54	—	—	—	—
1-(1,5-Диметилгексил)-4-(4-метилпентил)циклогексан	280,54	—	—	—	—
1, 7, 11-Триметил-4-(1-метилэтил)циклотетрадекан	280,54	—	—	—	—
<b>Спирты и фенолы</b>					
2,4,6-Три(1-метилэтил)фенол	220,36	—	—	—	—
4,6-Дибутил- <i>m</i> -крезол	220,36	—	—	—	—
2-Гексил-1-деканол	314,56	—	—	—	—
2-Октадецилоксиэтанол	242,45	—	—	—	—
1-Трикозанол	340,63	—	—	—	—
1-Гескакозанол	382,71	—	79,5...79,8	—	Не раств.
<b>Сложные эфиры</b>					
11,13-Диметил-12-тетрадецен-1-олацетат	282,47	—	—	—	—



Название	Молярная масса, г/моль	Плотность, г/см <sup>3</sup> , при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при другой $t$ )	Температура $t$ , $^{\circ}\text{C}$		Растворимость в воде, г/100 г, при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при другой $t$ )
			плавления	кипения (при $P$ , кПа)	
<b>Серосодержащие органические соединения</b>					
Бутилгептадециловый эфир серной кислоты	392,65	—	—	—	—
Бутилоктодециловый эфир серной кислоты	406,67	—	—	—	—
<b>Галогенсодержащие органические соединения</b>					
1-Хлорнонадекан	302,98	—	—	—	—
1-Йодгексадекан	352,34	1,123	22	211 (1,733)	Не раств.
1-Бром-11-йодундекан	361,11	—	—	—	—
1-Йодоктадекан	380,39	—	34	169 (0,067)	Не раств.
1-Бромдокозан	389,51	—	—	—	—
1-Хлоргептакозан	415,19	—	—	—	—
<b>Азотсодержащие органические соединения</b>					
6-Нитроундецан-5	199,29	—	—	—	—

УДК 629.3.015

**В. В. Чернышев**, д-р техн. наук, проф. кафедры, **Е. С. Брискин**, д-р физ.-мат. наук, проф., зав. кафедрой, Волгоградский государственный технический университет  
E-mail: dtm@vstu.ru

## Исследование взаимодействия шагающего движителя с экологически ранимым почвенным покровом<sup>1</sup>

Обсуждаются результаты исследований взаимодействия шагающего движителя с экологически ранимым почвенным покровом, полученные при испытании опытных образцов шагающих опор многосекционной дождевальная машины. Показано, что шагающие машины с простыми и надежными цикловыми движителями могут быть востребованы при внедрении новых почвосберегающих и ресурсосберегающих технологий в земледелии.

**Ключевые слова:** экология и охрана окружающей среды, почвосберегающие технологии, шагающие машины, взаимодействие с почвенным покровом, динамическое моделирование, энергоэффективность, полевые испытания

**Chernyshev V. V., Briskin E. S. Experience in development and testing of sprinkler walking machines**

*Discusses the results of studies of walking cyclic propulsions with environmentally vulnerable soil cover, when tested prototypes of multisection sprinkling walking machine. It is shown that the walking machine with*

*a simple and reliable propulsors cycle can be claimed for the introduction of new soil conservation and resource-saving technologies in agriculture.*

**Keywords:** ecology and environmental protection, soil conservation technologies, walking machine, interaction with soil cover, the dynamic simulation, energy efficiency, field-testing

Рациональное использование земельных ресурсов, сохранение и воспроизводство плодородия различных типов почв являются важными условиями эффективного и устойчивого развития агропромышленного комплекса России. Вместе с тем, одной из наиболее острых проблем земледелия России продолжает оставаться деградация почвенного покрова. По данным Российской академии сельскохозяйственных наук, из общей площади пашни 119,1 млн га водной эрозии подвержено

<sup>1</sup> Статья публикуется в рамках Международной заочной конференции "Проблемы безопасности XXI века".

35 млн га, ветровой эрозии — 10 млн га, эрозионно опасных — 50 млн га. Одной из причин процессов эрозии и уплотнения почвы, приводящей к ее деградации, является широкое использование в сельском хозяйстве колесных и гусеничных машин. Традиционные транспортные средства в условиях грунта с низкой несущей способностью зачастую не обладают достаточной проходимостью, оставляют глубокую колею и разрушают экологически ранимый почвенный покров.

В условиях переувлажненного почвогрунта указанные недостатки проявляются в наибольшей степени. Например, в поливном земледелии при движении колесных дождевальных машин образуется широкая колея, глубиной порядка 0,5 м, хорошо видная из космоса (рис. 1 — см. 2-ю стр. обложки). Колея такого размера уменьшает коэффициент полезного использования почвы, а также приводит к бесполезным потерям воды, которая либо скапливается в колее, либо уходит с поля по этим своеобразным каналам, разрушая и смывая плодородный слой почвы. Водная эрозия почвы, вызванная указанными причинами, хорошо заметна на участках А и В (см. рис. 1). На участке А процесс водной эрозии только начинается, а на участке В уже имеет место глубинная форма ирригационной эрозии с началом образования оврага. С точки зрения энергозатрат колесный тип передвижения в поливном земледелии также не является ресурсосберегающим. При поливе колеса дождевальной машины не могут выбраться из глубокой колее, заполненной водой и грязью, и движение происходит в наиболее тяжелых, с точки зрения энергозатрат, условиях.

При внедрении новых почвосберегающих технологий в сельском хозяйстве представляется привлекательным применение шагающего движителя вместо колесного и гусеничного. При шагающем способе передвижения имеет место качественный рост грунтовой и профильной проходимости, а наносимый почвенному покрову вред, благодаря дискретному и близкому к статическому взаимодействию стопы с грунтом, сводится к минимуму.

В Волгоградском государственном техническом университете имеется опыт по разработке, созданию и испытанию в условиях реальной местности шагающих машин, предназначенных для работы на слабых и экологически ранимых грунтах. Шагающие машины основываются, в основном, на простейших шагающих движителях с одной управляемой степенью свободы. Движитель циклового типа состоит из двух механизмов шагания, кинематически жестко связанных и работающих в противофазе. В каждый момент времени хотя бы один из механизмов шагания находится в контакте с грунтом, та-

ким образом, коэффициент режима такого движителя равен 1. Использование движителей циклового типа позволяет не заботиться о сохранении походки и устойчивости и исключает необходимость управляемой системы адаптации. В результате машины имеют минимальное число управляемых степеней свободы и становятся существенно проще и на порядок дешевле зарубежных аналогов с адаптивным управлением [1]. Исключительно высокая грунтовая и профильная проходимость [2—4], простота конструкции, надежность работы и низкая стоимость делают возможным создание и широкую эксплуатацию шагающих машин с движителями на базе цикловых механизмов уже в настоящее время.

Опытные образцы шагающих опор многосекционной дождевальной машины "Кубань" были выполнены в виде несущих балок, поперечно расположенных к напорному трубопроводу, на концах которых попарно установлены механизмы шагания (ноги), сгруппированные в шагающие движители (рис. 2 — см. 2-ю стр. обложки). На несущих балках также установлены стойки напорного трубопровода и расположен силовой привод.

Привод шагающих опор электромеханический (рис. 3). Электропитание от внешней сети подается по кабелю в шкаф управления дождевальной машиной и далее через систему управления электроприводом подводится к расположенным в центральной части несущей балки 1 электродвигателям 2 мотор-редукторов 3 шагающих опор движителей. По кабелю, подводящему электропитание, также передаются сигналы дистанционного управления от центрального пульта управления и поступает информация о состоянии машины.

Мотор-редукторы 3 через карданную передачу 4 и редукторы шагающих движителей 5 вращают ведущие кривошипы механизмов шагания 6. Для необратимости перемещений механизмов шагания при неработающем силовом приводе редукторы шагающих движителей включают в себя самотормозящую червячную передачу. Для обеспечения статически устойчивой походки и чередования опорной фазы и фазы переноса передний и задний

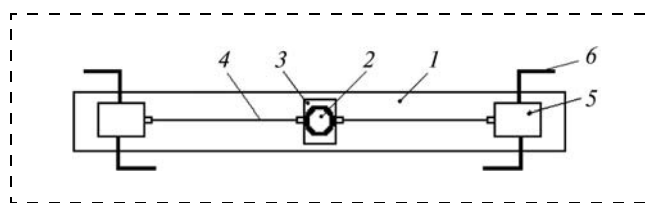


Рис. 3. Схема привода шагающей опоры (вид сверху): 1 — несущая балка; 2 — электродвигатель; 3 — мотор-редуктор; 4 — карданные передачи; 5 — редукторы шагающих движителей; 6 — ведущие кривошипы механизмов шагания



шагающие движители жестко кинематически связаны, а ведущие кривошипные каждой пары механизмов шагания установлены в противофазе на общих ведущих осях. Ноги одного борта также работают в противофазе.

В шагающих опорах использовались движители на базе четырехзвенных цикловых механизмов шагания "λ-образного" типа [5]. Механизм предложен Н. В. Умновым (Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН). Длина шага равна 0,8 м. Для взаимодействия с грунтом механизмы шагания снабжались стопами, которые шарнирно присоединялись к опорному звену.

Уменьшить повреждения экологически ранимого почвенного покрова можно либо за счет уменьшения зоны уплотнения почвы, снижая габариты стопы, либо путем уменьшения давления на грунт. При попытках использования круглых стоп "hoof-foot" (рис. 4 — см. 2-ю стр. обложки) с малой опорной поверхностью наблюдалось падение тягово-сцепных свойств движителя в момент смены стоп, что сопровождалось разрушением верхнего слоя почвенного покрова.

Наблюдавшееся изменение тягово-сцепных свойств движителя при смене стоп существенно зависит от глубины деформации грунта. На слабых почвогрунтах неоднократно имело место полная потеря проходимости, вызванная этой причиной. Как было выяснено в дальнейшем [6], это обусловлено, во-первых, деформацией опорной поверхности, соразмерной с высотой шага в фазе переноса, а во-вторых, различием при смене стоп горизонтальных составляющих относительных скоростей их опорных точек. Поскольку обе стопы при этом погружены в грунт, то, как минимум, одна из стоп будет иметь скорость, отличную от нуля по отношению к грунту. В результате под ней будет иметь место локальное разрушение (срыв) грунта с потерей его несущих свойств.

По этой причине в дальнейшем в шагающих опорах использовались только лыжеобразные стопы "ski-foot". Лыжеобразные стопы были выполнены в виде полых, снабженных ребрами жесткости трапециевидных коробов. Высокая прочность и жесткость стоп допускает при эксплуатации машины, например, при преодолении рвов или уступов, опору только на две крайние точки стопы. После испытаний толщина стоп была специально увеличена до 0,15 м. Это снизило вероятность наблюдавшегося эффекта "самозакапывания" стопы переувлажненным грунтом, оседавшим со стенок колеи. За счет большой опорной поверхности лыжеобразных стоп (2400 × 1600 мм) обеспечивалось снижение давления на грунт до 0,04 МПа. Грунтозацепы на лыжах не предусматривались из экологических

соображений, так как при движении они разрушают экологически ранимый верхний слой почвы.

Для повышения адаптивности и профильной проходимости в шагающем движителе был реализован простейший вариант системы пассивной адаптации стопы к рельефу местности, т. е. была синтезирована траектория опорной точки, обеспечивающая за счет кинематики механизма шагания и трения в шарнире стопы подъем ее носка в фазе переноса [7, 8]. Пассивная адаптация стопы повышает возможности шагающей опоры по приспособляемости к неровностям грунта и дает возможность преодолевать препятствия, более чем вдвое превышающие высоту подъема опорной точки механизма шагания.

Опытные образцы шагающих опор были испытаны в полевых условиях. Испытания проводились в течение двух сезонов в ОПХ "Орошаемое" (Волгоградская обл.). Были проведены испытания отдельных шагающих опор, а затем три шагающие опоры были испытаны в условиях реальной эксплуатации в составе 13-секционной дождевальной машины "Кубань" кругового действия (рис. 5 — см. 2-ю стр. обложки). Шагающие опоры устанавливались на крайних секциях, имеющих наибольшую скорость передвижения и, соответственно, наибольшую динамическую нагруженность. Максимальная курсовая скорость опоры последней секции составляла около 0,067 м/с. Дождевальная машина эксплуатировалась в поле с тяжелой глинистой почвой и небольшими уклонами (до 0,015 рад). Поливаемая культура — лук.

Полевые испытания показали, что в условиях слабого грунта шагающий движитель по показателям грунтовой и профильной проходимости намного превосходит колесный. Проведенные испытания показали, что для обеспечения высокой грунтовой проходимости значения среднего давления на грунт, рекомендованные для гусеничных и колесных транспортных средств повышенной проходимости (0,015...0,02 МПа), могут быть для шагающих машин увеличены. Достаточно высокая грунтовая проходимость шагающих опор в условиях переувлажненной почвы имела место уже при давлении на грунт 0,04 МПа. Это объясняется близким к статическому механизму взаимодействия стопы с грунтом в опорной фазе и большим условным клиренсом шагающего движителя, исключающим потерю сцепного веса и возникновения бульдозерного эффекта.

По показателям экологичности шагающий движитель также существенно превосходит колесный. Глубина следовой дорожки шагающих опор при испытаниях составляла всего 5...20 % от глубины колеи колесных движителей (рис. 6 —



см. 2-ю стр. обложки), причем на следовой дорожке продолжала расти поливаемая культура. Вместе с тем колея остается достаточно заметной, и для уменьшения повреждения почвогрунта, очевидно, целесообразно увеличивать опорную поверхность стоп.

Из-за того, что в опытных образцах шагающих опор длина шага была меньше длины лыжи, то следовая дорожка получилась не дискретной, а сплошной, что может способствовать ирригационной эрозии. В разработанной шагающей опоре габариты ног выбирались из условия возможности ее функционирования в дождевальной машине "Кубань" совместно с серийными колесными опорами. В результате длина шага получилась сравнительно небольшой (около 0,8 м). Габариты шагающей опоры позволяют, не меняя принципиальную схему движителя, увеличить длину шага в 2—3 раза путем пропорционального увеличения длин звеньев механизмов шагания. Чтобы исключить образование сплошной колеи, можно расположить лыжеобразные стопы под углом к продольной оси несущей балки "елочкой" [8]. При этом также усилятся тягосцепные свойства движителя.

При сравнении энергоэффективности шагающего и колесного способа передвижения потери мощности на преодоление грунтового сопротивления движению оценивались как

$$W_f = k_f v_x G,$$

где  $v_x$  — курсовая скорость опоры;  $k_f$  — коэффициент сопротивления движению;  $G$  — суммарный вес опоры и напорного трубопровода одной секции дождевальной машины.

Для шагающего движителя в качестве  $k_f$  в условиях полного отсутствия экспериментальных данных, использовались коэффициенты сопротивления движению гусеничных машин, причем принимались несколько заниженные их значения, так как для шагающих машин, в отличие от гусеничных, грунт не является препятствием для передвижения, а лишь требует необходимых затрат мощности на его прессование. Также ориентировочные значения коэффициента сопротивления движению для шагающих машин определялись аналитически по формуле

$$k_f = A_f / GS,$$

где  $A_f$  — работа, затрачиваемая на прессование грунта за цикл;  $S$  — перемещение машины за цикл.

В рассматриваемом случае прессование грунта за цикл (два шага) происходит дважды, поэтому

$$A_f = 2Gh,$$

где  $h$  — глубина следовой дорожки.

Проведенный анализ показал, что в тяжелых условиях движения переход от колесного движителя к шагающему обеспечивает снижение среднего значения  $W_f$  приблизительно в 2—3 раза (например, при  $G = 25$  кН и скорости 1 км/ч — с 1,7 до 0,5...0,8 кВт). Мощность, расходуемая на преодоление грунтового сопротивления, пропорциональна курсовой скорости, и уменьшение последней приводит к пропорциональному уменьшению этой составляющей энергозатрат как для колесного, так и для шагающего движителя.

Использование в шагающих опорах простых и надежных четырехзвенных механизмов шагания приводит из-за несовершенства траектории опорной точки к неравномерности курсового движения и вертикальным колебаниям корпуса в каждом цикле движения. Это требует дополнительных энергозатрат, появление которых может свести на нет экономию мощности, полученную за счет уменьшения сопротивления передвижению.

Дополнительные энергозатраты привода  $W_{\text{доп}}$ , в основном расходуемые на возникающие при ходьбе колебания в системе, складываются из мощности, затрачиваемой на преодоление силы тяжести шагающей опоры при ее вертикальных колебаниях  $W_0^G = Gv_z$  (где  $v_z$  — вертикальная составляющая скорости шагающей опоры), и мощности  $W_0^\Phi$ , идущей на преодоление их цикловых сил инерции корпуса и напорного трубопровода, а также суммарных затрат мощности  $W_{\text{дв}}^\Phi$  на преодоление сил инерции в звеньях движителя, которые также носят периодический характер. Другие составляющие потерь в рассматриваемом диапазоне малых скоростей передвижения малы, и ими можно пренебречь.

Для определения инерционных нагрузок в шагающей опоре и мощности, расходуемой на их преодоление, был проведен полный кинематический анализ шагающих движителей. При определении скоростей и ускорений узловых точек механизмов шагания они рассматривались как плоские многозвенные механизмы. При составлении дифференциальных уравнений движения звеньев их угловые скорости выражались через скорости точек, на которые накладываются внешние связи. Выражения для скоростей узловых точек получались последовательным от звена к звену рассмотрением движений твердых тел. Угловые ускорения звеньев движителя определялись дифференцированием их угловых скоростей. Для задания движения шагающей опоры к уравнениям движения также добавлялись формулы для проекций относительных скоростей опорных точек, являю-

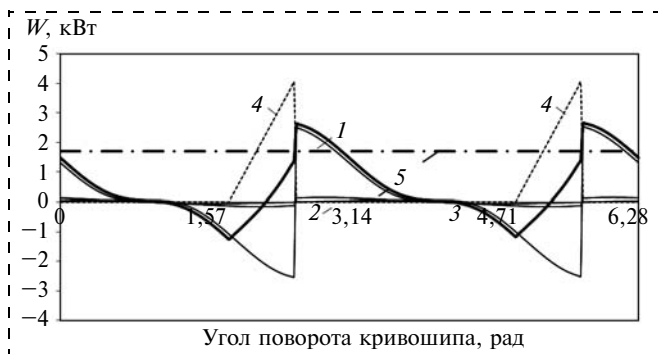


Рис. 7. Структура затрат мощности за цикл движения шагающей опоры при скорости передвижения 1 км/ч:

1, 2, 3 и 4 —  $W_0^G$ ,  $W_0^Ф$ ,  $W_{дв}^Ф$  и  $W_f$  соответственно; 5, 6 — суммарные затраты мощности при шагающем и колесном способе передвижения, соответственно

шихся узловыми точками опорного звена, а также формулы для относительных координат опорных точек, необходимых для определения момента смены стоп.

Анализ результатов расчета показал, что в рассматриваемом диапазоне невысоких скоростей (до 1 км/ч) основной объем дополнительных энергозатрат на колебания в системе  $W_{доп}$  связан с мощностью, идущей на преодоление сил тяжести шагающей опоры при ее вертикальных колебаниях. Мощность на преодоление цикловых сил инерции корпуса и в движителе в этом скоростном диапазоне не существенна из-за малости ускорений.

Структура затрат мощности за цикл (2 шага) для шагающей опоры массой 2,5 т при скорости 1 км/ч представлена на рис. 7. Кривые 1–3 получены для идеализированного недеформируемого грунта, в случае реального грунта кривые будут иметь более сглаженный вид.

В шагающих машинах, в отличие от колесных, энергозатраты на прессование грунта имеют место лишь часть цикла — в момент смены стоп. Характер изменения  $W_f$  для шагающей опоры при  $h = 0,05$  м представлен на рис. 7 кривой 4. Мощность  $W_f$  будет расти по мере увеличения реакции грунта под стопой, входящей в опорную фазу, от нуля до максимального значения. При смене стоп мощность  $W_f$  и  $W_0^G$  имеют разные знаки и мощность на преодоление грунтового сопротивления на 65 % обеспечивается за счет рекуперации энергии, затраченной на подъем корпуса шагающей опоры. В результате дополнительные потери  $W_{доп}$  мало влияют на среднее значение мощности, расходуемой на движение за цикл, и шагающий движитель по энергоэффективности превосходит колесный

в 1,5–2,5 раза. Так как  $W_f$  и  $W_0^G$  пропорциональны курсовой скорости, то аналогичная ситуация будет иметь место и при меньших скоростях движения. Экспериментальное сравнение энергозатрат при колесном и шагающем способе передвижения, проведенные в процессе полевых испытаний, подтвердили полученные теоретические результаты.

Проведенные полевые испытания и анализ структуры энергозатрат показали, что в условиях почвогрунта с низкой несущей способностью шагающий движитель по показателям проходимости и экологичности, а также по показателям энергоэффективности в диапазоне невысоких скоростей существенно превосходит колесный движитель. Таким образом, шагающие машины с простыми и надежными цикловыми движителями могут быть востребованы при внедрении новых почвосберегающих и ресурсосберегающих технологий в земледелии.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 11-08-97061) и ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 годы.*

#### Список литературы

1. Чернышев В. В. Опыт использования шагающей машины для ликвидации аварийного разлива нефти // Безопасность жизнедеятельности. — 2003. — № 5. — С. 28–30.
2. Чернышев В. В. Полевые исследования шагающих машин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2004. — № 4. — С. 20–22.
3. Чернышев В. В., Шаров К. В., Шаронов Н. Г., Малолетов А. В. Экспериментальные исследования механизма взаимодействия шагающего движителя с локальными препятствиями // Поволжский экологический вестник: [Сб. статей] / Волгогр. отд-ние Рос. экол. академии. — Волгоград, 2004. — Вып. 10. — С. 127–132.
4. On ground and profile practicability of multi-legged walking machines / E. S. Briskin, V. V. Chernyshev, A. V. Maloletov and others // Climbing and Walking Robots. CLAWAR 2001: Proceedings of the Fourth International Conference, 24–26<sup>th</sup> September 2001. — London, 2001. — С. 1005–1012.
5. Брискин Е. С., Чернышев В. В., Фролова Н. Е. О позиционной зависимости тягово-сцепных свойств шагающих машин с цикловыми движителями // Тракторы и сельхозмашины. — 2009, № 6. — С. 21–25.
6. Брискин Е. С., Чернышев В. В. Цикловые механизмы шагания с пассивно управляемой стопой // Теория механизмов и машин. — 2004. — № 1. — С. 80–88.
7. Пат. 2156711 РФ, МПК 7 В 62 D 57/032 Шагающая опора для транспортных средств повышенной проходимости / Д. Е. Охотимский, Е. С. Брискин, В. В. Чернышев, С. В. Шерстобитов; ВолгГТУ, 2000.
8. Пат. 2108708 РФ, МПК 6 А 01 G 25/09, В 62 D 57/02 Самоходная тележка многоопорной дождевальная машины / Е. С. Брискин, А. Е. Русаковский, В. В. Чернышев, В. В. Жога и др.; ВолгГТУ, 1998.

УДК 57.042

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

## Анализ устойчивости природно-техногенных систем с помощью неравновесных потенциальных функций

*С помощью методов нелинейной динамики количественно охарактеризована значимость различных видов внешнего воздействия на состояние некоторых природно-техногенных систем. Расширены представления об особенностях внутрисистемных процессов поддержания их устойчивости. Оценена степень устойчивости систем в рассматриваемый период 2002—2009 гг.*

**Ключевые слова:** устойчивость, природно-техногенные системы, значимость внешнего воздействия, потенциальная функция

**Shavrak E. I.** *Stability analysis of natural and man-caused systems with nonequilibrium potential functions*

*By means of methods of nonlinear dynamics concernment of various types of external actions to the conditions of some natural and man-caused systems has been described quantitatively. We have widen the notions about characteristics of endogenous processes of maintenance of stability of natural and man-caused systems. The degree of stability of the systems has been estimated for the concerned period from 2002 to 2009.*

**Keywords:** stability, natural and man-caused systems, concernment of external actions, potential functions

Природно-техногенные системы (ПТС) — это неотъемлемая часть природообустройства, включающая в себя природные (атмосфера, гидросфера, литосфера, биосфера) и техногенные (промышленный, энергетический, сельскохозяйственный, лесохозяйственный, коммунальный, рыбохозяйственный и рекреационный) компоненты. Они образуют целостную систему различных уровней, между которыми осуществляется обмен веществ и энергии. Способность ПТС и входящих в их состав подсистем к нормальному функционированию определяется, в том числе их экологической устойчивостью, т. е. способностью экосистемы сохранять свои свойства и параметры в условиях действующих возмущений.

Одним из наиболее информативных современных методов исследования устойчивости открытых систем, каковыми являются все ПТС, является

синергетический метод неравновесных потенциальных функций [1]. Он позволяет на основании статистических данных о состоянии ПТС анализировать их текущее состояние с точки зрения устойчивости и определять задачи обеспечения устойчивого развития систем. В данной статье с помощью потенциальных функций рассмотрена динамика изменения состояния трех различных подсистем, находящихся в непосредственной ландшафтной близости друг от друга, но отличающихся структурно-масштабными особенностями, в период 2002—2009 гг. Результаты представлены в наглядном графическом виде, определены области устойчивости на детерминированных ветвях развития подсистем, проведена их сравнительная оценка.

### Материалы и методы исследования

В качестве основного объекта исследования рассматривалась ПТС юга России, сформированная в процессе взаимодействия естественного ландшафта с построенным в 1952 г. Цимлянским водохранилищем (ЦВ) и его интенсивно развивающимся водохозяйственным комплексом. Эта ПТС включает в себя множество неравновесных подсистем. С целью анализа на экологическую устойчивость были отобраны три подсистемы, наиболее типичные для ПТС, генетически сходных с рассматриваемой, а именно: Цимлянское водохранилище, водоем-охладитель (ВО) Ростовской атомной электростанции (РоАЭС), являющийся его частью, и г. Волгодонск, расположенный на берегу ЦВ.

Цимлянское водохранилище является одним из крупнейших искусственных водоемов степной зоны юга России. Его площадь и полная емкость равны, соответственно 2624 км<sup>2</sup> и 22,97 · 10<sup>9</sup> м<sup>3</sup>. В районе нижнего бьефа ЦВ расположена РоАЭС, в оборотную систему технического водоснабжения которой включен ВО площадью 18 км<sup>2</sup>, созданный путем отсечения прибрежного участка ЦВ. В 13,5 км от АЭС находится крупный промышленный центр Ростовской области город Волгодонск с численностью населения 169 тыс. человек. Указанные подсистемы постоянно испытывают извне влияние комплекса факторов разной природы и интенсивности. Его оценка осуществлялась в работе с помощью интегрального показателя  $s$ . Он учиты-



вает степень выраженности наиболее значимых внешних факторов, среди которых были выделены химическое и тепловое воздействие.

В качестве характеристик внешнего воздействия на территорию ЦВ использованы среднегодовая температура воздуха  $t_b$  и величины токсических нагрузок химических веществ на единицу площади водохранилища  $T_i^{BX}$ . Численно токсическая нагрузка соответствует количеству ингредиента, млрд ед. ПДК, приходящемуся на 1 км<sup>2</sup> площади ЦВ и выраженному в единицах ПДК.

$$T_i^{BX} = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}^{BX} V_j}{\text{ПДК}_i S_{\text{ЦВ}}}, \quad (1)$$

где  $C_{ij}^{BX}$  — концентрация  $i$ -го ингредиента в  $j$ -м учитываемом входном материальном потоке, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_j$  — объем  $j$ -го потока, млн м<sup>3</sup>/год;  $n$  — количество учитываемых входных потоков (стоки реки Дон и боковые притоки, осадки, техногенное загрязнение), ПДК <sub>$i$</sub>  — предельно допустимая концентрация  $i$ -го ингредиента для водоемов рыбохозяйственного назначения, мг/дм<sup>3</sup>,  $S_{\text{ЦВ}}$  — площадь ЦВ, км<sup>2</sup>.

При определении нагрузки рассматривали годовое поступление в ЦВ девяти основных ингредиентов, вносящих наиболее существенный вклад в загрязнение воды: марганца, меди, железа, азота аммонийного и нитритного, фосфатов, сульфатов, легкоразлагаемых органических веществ, характеризуемых величиной БПК<sub>5</sub>, нефтепродуктов (НП) [2].

При оценке внешнего влияния на подсистему ВО РоАЭС, вследствие незначительности его химического загрязнения [3], учитывали только тепловое воздействие как со стороны атомной станции, так и природного происхождения. Поскольку тепловое загрязнение ВО РоАЭС сопряжено с электрической мощностью атомной станции, в качестве его косвенного показателя использовали количество выработанной РоАЭС электроэнергии ( $Q_{\text{энер}}$ , млрд кВт/ч в год). Вклад климатических особенностей в тепловое загрязнение ВО РоАЭС оценивали с помощью усредненных за период апрель — декабрь значений температуры воздуха  $t_{1b}$ , что обусловлено наличием объемом анализируемой информации.

Для характеристики внешнего воздействия на подсистему г. Волгодонска, расположенного на берегу ЦВ, использованы такие показатели среды обитания населения, как среднегодовая температура воздуха  $t_b$ , ИЗА<sub>5</sub> — комплексный индекс загрязнения воздуха, УКИЗВ — удельный комбинаторный индекс загрязнения поверхностных вод в районе г. Волгодонска. Загрязнение городских почв не выходит за пределы нормативных, поэтому в интегральном показателе  $s$  не учитывалось.

Необходимо отметить, что при оценке экологической устойчивости подсистем в качестве вне-

шнего воздействия не рассматривалась радиация. Это объясняется тем, что по результатам ежедневного радиационного контроля в зоне возможного влияния РоАЭС радиационная обстановка остается стабильной, уровень гамма-фона не превышает значений многолетних наблюдений и составляет 0,10...0,12 мкЗв/ч.

Характеристики внешнего влияния на рассматриваемые экологические подсистемы приведены в табл. 1—2.

Так как все значения показателей внешнего воздействия находятся в разных единицах измерения, то для приведения их к одной размерности проводилось нормирование по формуле:

$$p_z^H = \frac{p_z}{p_{z\max}},$$

где  $p_z^H$  и  $p_z$  — нормированное и фактическое значение показателя;  $p_{z\max}$  — максимальное значение показателя за рассматриваемый период (2002—2009 гг.) (см. табл. 1, 2). На основе нормированных частных показателей находили значения интегральных показателей внешнего воздействия:

$$s = a_1 p_1^H + \dots + a_k p_k^H,$$

где  $a_1, \dots, a_k$  — весовые коэффициенты учитываемых показателей; сумма их значений должна быть равна единице; на первом этапе исследования все весовые коэффициенты принимались одинаковыми.

Экологическую устойчивость подсистем исследовали с помощью потенциальной неравновесной функции  $\psi$ , тождественно равной производству энтропии в подсистеме. Реакция подсистемы на внешнее воздействие проявляется как динамическое изменение ее состояния, в процессе которого она стремится минимизировать эту потенциальную функцию [6]. Подсистема ЦВ описывалась набором из девяти потенциальных функций, характеризующих эффективность внутриводоемных процессов самоочищения воды ЦВ от учитываемых

Таблица 1  
Показатели теплового воздействия на подсистемы

Год	Подсистемы ЦВ и Волгодонска	Подсистема ВО РоАЭС	
	$t_b$ , °С [4]	$t_{1b}$ , °С [4]	$Q_{\text{энер}}$ , млрд кВт/ч в год [5]
2002	10,08	12,81	7514,00
2003	9,00	12,85	7299,00
2004	10,28	13,04	7814,00
2005	10,41	14,24	7607,00
2006	9,77	14,34	7580,00
2007	11,44	14,46	7672,00
2008	10,15	13,66	7893,00
2009	10,35	14,35	8245,00





Показатели химического воздействия на подсистемы

Год	Нагрузка ингредиентов на подсистему ЦВ, млрд ед. ПДК/км <sup>2</sup>									Показатели загрязнения окружающей среды Волгодонска	
	$T_{(NH_4^+)}^{BX}$	$T_{(NO_2^-)}^{BX}$	$T_{(PO_4^{3-})}^{BX}$	$T_{(Fe)}^{BX}$	$T_{(Mn)}^{BX}$	$T_{(Cu)}^{BX}$	$T_{(SO_4^{2-})}^{BX}$	$T_{(НП)}^{BX}$	$T_{(БПК_5)}^{BX}$	УКИЗВ	ИЗА <sub>5</sub>
2002	3,84	2,26	4,96	2,54	21,86	30,20	6,70	8,46	6,73	2,29	15,60
2003	4,07	10,99	6,75	7,50	55,56	5,65	7,67	6,45	8,83	3,01	7,53
2004	3,90	4,17	5,44	5,74	48,16	0,00	8,38	8,32	8,97	2,71	9,99
2005	4,47	6,15	9,25	8,87	58,08	0,00	8,80	3,62	12,68	1,63	13,60
2006	5,33	5,33	5,72	4,38	84,39	9,57	8,81	25,28	11,63	2,94	17,20
2007	1,86	1,65	5,60	0,69	101,30	16,08	6,04	13,95	9,45	3,52	12,10
2008	5,35	2,48	6,24	9,93	37,51	12,06	6,58	12,02	7,73	2,36	10,80
2009	0	0,87	1,76	4,94	25,70	16,00	5,72	4,98	6,70	2,43	13,17

мых ингредиентов. Количественные значения функций  $\psi_i$  рассчитывали по формуле:

$$\psi_i = \frac{\sum_{j=1}^n C_{ij}^{BX} V_j - \sum_{y=1}^m C_{iy}^{БВХ} V_y}{\sum_{j=1}^n C_{ij}^{BX} V_j},$$

где  $C_{iy}^{БВХ}$  — концентрация  $i$ -го ингредиента в  $y$ -м учитываемом выходном материальном потоке, мг/дм<sup>3</sup>;  $V_y$  — объем  $y$ -го потока, млн · м<sup>3</sup>/год;  $n$  — количество учитываемых выходных потоков (сток через ГЭС, безвозвратный забор воды на хозяйственные нужды, потери с фильтрацией воды, расходы на шлюзование и переброску в другие бассейны).

Для оценки устойчивости подсистемы ВО РоАЭС к тепловому загрязнению в качестве потенциальной функции ( $\psi_{ВО}$ ) использовали значения фоновых температур воды в ВО, найденных в ходе корреляционно-регрессионного анализа совокупности данных о температурных режимах ВО и сопряженном с ним участке ЦВ за период с апреля по декабрь 2002—2009 гг. При этом были установлены статистически значимые линейные корреляции высокого качества между температурой воды в

ВО ( $t_{ВО}$ ) и ЦВ ( $t_{ЦВ}$ ) и построены соответствующие модели простых линейных регрессий вида

$$t_{ВО} = A + b_1 t_{ЦВ},$$

где  $A$  — численные значения свободного члена регрессии, которые интерпретировались как фоновая температура воды в ВО;  $b_1$  — коэффициент регрессии.

При выборе потенциальной функции для подсистемы г. Волгодонска ( $\psi_{г}$ ) руководствовались тем соображением, что изменение качества среды обитания неизбежно сказывается на состоянии здоровья населения. В связи с этим в качестве потенциальной функции были выбраны показатели смертности населения (число случаев на 1000 человек населения) [7]. Количественные значения потенциальных функций подсистем приведены в табл. 3.

При установлении зависимости между показателями внешнего воздействия  $s$  и потенциальными функциями  $\psi$ , согласно методологии теории катастроф [8], последовательно рассматривались полиномы от третьей до шестой степени при одновременном варьировании весовых коэффициентов показателей внешнего воздействия. В качестве критерия выбора окончательного варианта регрессии при этом выступало ее качество (коэффициент детерминации  $R^2$ ).

Устойчивость текущего состояния подсистем определяли на основании графической интерпре-

Таблица 3

Количественное значение потенциальных функций подсистем

Год	$\psi_{iЦВ}$									$\psi_{ВО}$	$\psi_{г}$
	$\psi(NH_4^+)$	$\psi(NO_2^-)$	$\psi(PO_4^{3-})$	$\psi(Fe)$	$\psi(Mn)$	$\psi(Cu)$	$\psi(SO_4^{2-})$	$\psi(НП)$	$\psi(БПК_5)$		
2002	-0,88	-0,02	0,77	-0,78	1,00	0,32	0,03	0,85	-0,22	1,85	9,90
2003	-0,63	0,25	0,47	0,70	1,00	-3,69	-0,02	-0,19	-0,57	1,44	9,90
2004	0,31	-0,46	0,60	-0,27	0,01	1,00	0,13	-1,03	-1,06	1,76	10,20
2005	0,27	0,31	0,59	0,43	0,78	1,00	0,17	-2,50	-0,27	0,17	10,60
2006	0,58	-0,35	0,32	1,00	0,44	-0,47	0,13	0,39	-0,40	3,42	10,70
2007	-4,03	0,30	0,55	-3,55	0,63	0,25	0,02	0,49	0,15	2,96	10,00
2008	0,43	0,40	0,60	0,76	0,57	0,41	0,09	0,12	0,05	4,27	10,60
2009	1,00	0,27	-1,67	0,31	0,40	0,19	-0,08	0,41	-0,04	5,14	10,50

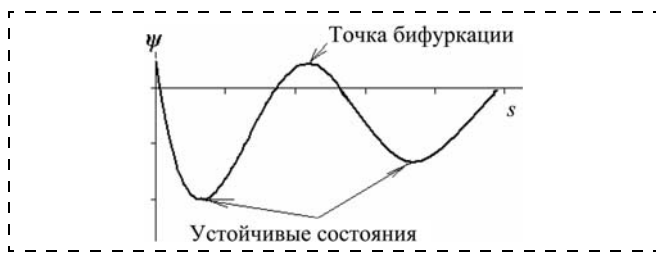


Рис. 1. График потенциальной функции

тации потенциальной функции  $\psi$ . На рис. 1 изображен график потенциальной функции, аппроксимируемой полиномом четвертой степени [9]. Минимумы функции соответствуют устойчивому состоянию. Переход от одного такого состояния к другому осуществляется через точки бифуркации.

### Результаты и их обсуждение

В ходе исследования установлены взаимосвязи между величинами внешнего воздействия и откликом рассматриваемых подсистем на эти воздействия. Они описываются полиномиальными моделями четвертой степени, идентифицируемыми в теории катастроф как "катастрофа сборки" [8] (табл. 4).

При анализе полученных результатов уделялось внимание следующим аспектам: качеству регрессий, характеризующему коэффициентом детерминации и отражающему адекватность выбора показателей внешнего воздействия; весовым коэффициентам показателей, по численному значению которых судили о значимости того или иного воздействия для состояния подсистемы; исследованию временной деформации потенциальных функций, позволяющему определить области устойчивости подсистем.

Значения коэффициентов детерминации регрессий (см. табл. 4) свидетельствуют о том, что интенсивность ассимиляции аммонийного азота ( $\text{NH}_4^+$ ), минерального фосфора ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), железа (Fe), меди (Cu) и сульфатов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) в ЦВ находится практически в функциональной зависимости от нагрузки этих ингредиентов на территорию водохранилища ( $R^2 = 0,94...0,99$ ). Качество моделей, отражающих ассимиляцию нитритного азота ( $\text{NO}_2^-$ ), марганца (Mn), нефтепродуктов (НП) и органического вещества (БПК<sub>5</sub>), характеризуемого величиной БПК<sub>5</sub>, несколько хуже ( $R^2 = 0,64...0,82$ ). Этот факт позволяет сделать вывод о наличии дополнительных, неучтенных в данном исследовании, видов внешнего воздействия, влияющих на процессы самоочищения водохранилища от указанных ингредиентов. Чем меньше значение  $R^2$ , тем вклад этих неучтенных воздействий выше.

Данные выводы в равной степени относятся и к другим рассматриваемым подсистемам. Сравнительно низкое качество зависимости величины фонового теплового загрязнения ВО РоАЭС от температуры воздуха и теплового воздействия со стороны атомной станции ( $R^2 = 0,71$ ) может также объясняться неучтенными видами воздействия. Напротив, выбранный комплекс внешних факторов, действующих на подсистему г. Волгодонска, достаточно полно характеризует изменения соответствующей потенциальной функции, что подтверждается высоким качеством регрессии ( $R^2 = 0,95$ ).

Показателем значимости того или иного вида внешнего воздействия для состояния подсистемы

Таблица 4

#### Характеристики моделей

Подсистема	Уравнение модели	Весовые коэффициенты показателей внешнего воздействия	Коэффициент детерминации $R^2$
Цимлянское водохранилище	$\psi(\text{NH}_4^+) = 40,204s^4 - 125,56s^3 + 131,59s^2 - 46,725s + 1$	$a(\text{NH}_4^+) = 1$	0,95
	$\psi(\text{NO}_2^-) = -117,51s^4 + 215,49s^3 - 118,03s^2 + 21,056s - 0,8$	$a(\text{NO}_2^-) = 1$	0,80
	$\psi(\text{PO}_4^{3-}) = -147,04s^4 + 382,23s^3 - 352,56s^2 + 134,9s$	$a(\text{PO}_4^{3-}) = 1$	0,99
	$\psi(\text{Fe}) = -18,556s^4 + 61,283s^3 - 70,693s^2 + 34,381s - 5,6368$	$a(\text{Fe}) = 1$	0,94
	$\psi(\text{Mn}) = -50247s^4 + 173944s^3 - 225043s^2 + 128981s - 27633$	$a(\text{Mn}) = 0,1, a(\text{ТВ}) = 0,9$	0,81
	$\psi(\text{Cu}) = 477,47s^4 - 886s^3 + 501,8s^2 - 90,13s + 1$	$a(\text{Cu}) = 1$	0,99
	$\psi(\text{SO}_4^{2-}) = -577,19s^4 + 1724,4s^3 - 1914,6s^2 + 936,52s$	$a(\text{SO}_4^{2-}) = 1$	0,94
	$\psi(\text{НП}) = -822,36s^4 + 2348,6s^3 - 2418,3s^2 + 1069,1s - 172$	$a(\text{НП}) = 0,7, a(t_b) = 0,3$	0,64
$\psi(\text{БПК}_5) = -54830s^4 + 174066s^3 - 206720s^2 + 108845s - 21440$	$a(\text{БПК}_5) = 0,4, a(t_\theta) = 0,6$	0,82	
Водоём — охладитель РоАЭС	$\psi_{\text{ВО}} = 1\text{E}+06s^4 - 5\text{E}+06s^3 + 7\text{E}+06s^2 - 4\text{E}+06s + 942210$	$a(Q_{\text{энер}}) = 0,15, a(t_{\text{В}}) = 0,85$	0,71
г. Волгодонск	$\psi_{\text{г}} = 8061,3s^4 - 23768s^3 + 26086s^2 - 12628s + 2284$	$a(\text{УКИЗВ})=0,1, a(t_b) = 0,4, a(\text{ИЗА}_5) = 0,5$	0,95

Показатели устойчивости рассматриваемых подсистем

Подсистема	Потенциальная функция	$T_u$	$U_l$	Степень устойчивости
Цимлянское водохранилище	$\psi(\text{NH}_4^+)$	1	0,13	Ниже средней
	$\psi(\text{NO}_2^-)$	2	0,25	Ниже средней
	$\psi(\text{PO}_4^{3-})$	6	0,75	Выше средней
	$\psi(\text{Fe})$	6	0,75	Выше средней
	$\psi(\text{Mn})$	6	0,75	Выше средней
	$\psi(\text{Cu})$	1	0,13	Ниже средней
	$\psi(\text{SO}_4^{2-})$	1	0,13	Ниже средней
	$\psi(\text{НП})$	2	0,25	Ниже средней
	$\psi(\text{БПК}_5)$	2	0,25	Ниже средней
	Среднее по ЦВ			0,38
ВО РоАЭС	$\psi_{\text{ВО}}$	4	0,50	Средняя
г. Волгодонск	$\psi_{\text{Г}}$	2	0,25	Ниже средней

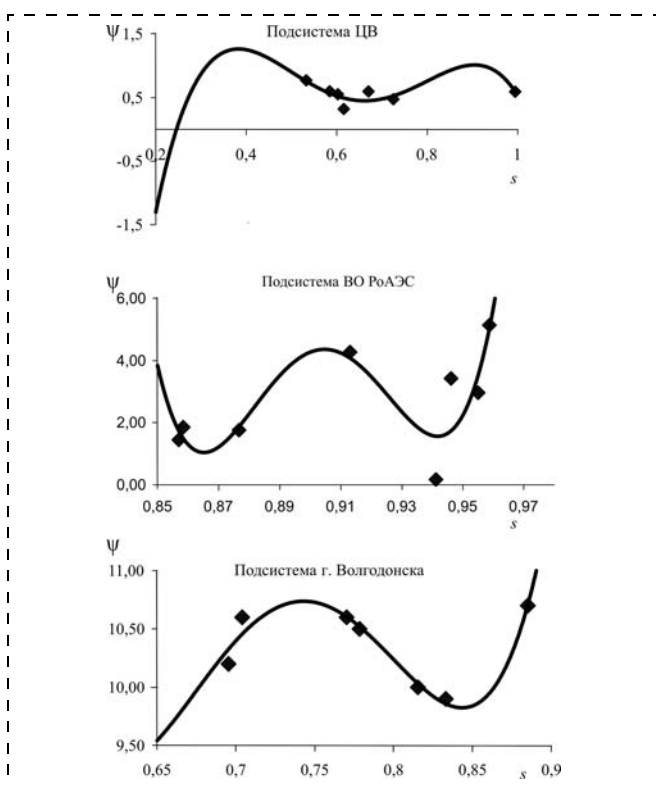


Рис. 2. Графики потенциальных функций подсистем

являются их весовые коэффициенты  $a$ . Интенсивность ассимиляции в водохранилище аммонийного и нитратного азота, минерального фосфора, железа, меди и сульфатов определяется только нагрузкой этих ингредиентов на территорию ЦВ ( $a = 1$ ). В случае самоочищения воды от марганца, нефтепродуктов и легкоразлагаемого органического вещества большую значимость, согласно полученным результатам, имеют температурные условия ( $a(t_B) = 0,3...0,85$ ). Влияние климатического фактора максимально для процессов ассимиляции марганца.

Исследования свойств подсистемы ВО РоАЭС показали, что фоновое тепловое загрязнение водоема также в большей степени зависит от температуры окружающего воздуха ( $a(t_{\text{В}}) = 0,85$ ), нежели от теплового воздействия РоАЭС ( $a(Q_{\text{энер}}) = 0,15$ ). Причиной этого является, с одной стороны, быстрая прогреваемость водоема вследствие его незначительной глубины, с другой — глобальные климатические изменения.

Как видно из табл. 4, практически равную значимость для потенциальной функции подсистемы г. Волгодонска, в качестве которой выступает показатель смертности горожан, имеют температура ( $a(t_B) = 0,4$ ) и степень загрязнения атмосферного воздуха ( $a(\text{ИЗА}_5) = 0,5$ ). Качество поверхностных вод почти не влияет на потенциальную функцию.

С целью определения устойчивости подсистем в рассматриваемый период были проанализированы графики соответствующих потенциальных функций. Из графиков, приведенных на рис. 2, видно, что подсистемы отличаются между собой по устойчивости.

Это проявляется в различной продолжительности их пребывания в состоянии устойчивости (в областях, соответствующих минимумам функций). В целях сравнительной характеристики подсистем по графикам функций определена эта продолжительность ( $T_u$ ).

На основании полученной информации рассчитаны показатели относительной устойчивости  $U_l$ , соответствующие доле  $T_u$  в рассматриваемом временном диапазоне (2002—2009 гг., 8 лет). Введена шкала устойчивости. Принято, что при значениях  $U_l < 0,3$  степень устойчивости подсистемы ниже средней, величинам  $U_l = 0,3...0,5$  — соответствует средняя устойчивость, при  $U_l > 0,5$  — устойчивость выше средней. Полученные результаты приведены в табл. 5.

### Заключение

Показана возможность применения метода неравновесных потенциальных функций для исследования систем, отличающихся структурно-масштабными особенностями. Использование синергетического аппарата позволило унифицировать методологию определения степени экологической устойчивости для различных подсистем ПТС и провести на этой основе их сравнительный анализ, расширить представления о количественной и качест-



венной природе детерминирующего воздействия на экосистемы, идентифицировать направления повышения их устойчивости. Из рассмотренных подсистем наименьшей экологической устойчивостью к химическому и тепловому воздействию в период 2002—2009 гг. обладала экосистема г. Волгодонска. Этому способствовало сочетание высокого уровня химического загрязнения атмосферного воздуха с потеплением климата. В связи с тем, что химическое загрязнение имеет техногенную природу и является регулируемым фактором, его снижение должно стать приоритетным направлением мероприятий по повышению устойчивости городской экосистемы.

#### Список литературы

1. Быстрый Г. П. Методы синергетики в анализе структурных сдвигов в промышленности: разработка унифицированных моделей и алгоритмов анализа устойчивости теку-

щих состояний в условиях внешнего и внутреннего управления // Вестник кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2003. — Вып. 2. — С. 71—88.

2. Шаврак Е. И., Фесенко Л. Н., Генераленко И. А. Особенности изменения качества воды Цимлянского водохранилища // Вода: химия и экология. — 2011. — № 5. — С. 11—18.
3. Шаврак Е. И., Сапельников В. М., Генераленко И. А. Исследование влияния Волгодонской АЭС на экологическое состояние Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. — 2010. — Спец. вып. — С. 160—167.
4. <http://www.meteo.ru/tech/aisori> (дата обращения 10.12.2010).
5. Отраслевой обзор "Атомная энергетика РФ". <http://www.mashportal.ru/research-289.aspx>. (дата обращения 16.02.2011).
6. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. — М.: Наука, 1990. — 260 с.
7. Экологический вестник Дона "О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2009 году". — Ростов-на-Дону, 2010.
8. Арнольд В. И. Теория катастроф. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 128 с.
9. Осипов А. И. Термодинамика вчера, сегодня, завтра. Ч. 2. Неравновесная термодинамика // Соросов. образоват. журн. — 1999. — № 5. — С. 91—97.

## ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

УДК 536.421.1

В. А. Акатьев<sup>1</sup>, д-р техн. наук, Д. Ю. Грязнев<sup>2</sup>, науч. сотр., М. В. Дмитриев<sup>1</sup>, асп., Г. С. Назаров<sup>1</sup>, канд. техн. наук,

<sup>1</sup> Российский государственный социальный университет

<sup>2</sup> Научно-образовательный центр исследований экстремальных ситуаций (НОЦ ИЭС) МГТУ им. Н. Э. Баумана  
E-mail: akatiev07@mail.ru

## Обеспечение безопасности применением легкоплавких средств защиты

Рассмотрена проблема обеспечения безопасности людей при пожарах и защиты техники от кратковременных тепловых воздействий использованием легкоплавких материалов в средствах защиты. Для ограничения роста температуры и ее стабилизации используются легкоплавкие вещества, при этом в чрезвычайных ситуациях теплота расходуется на нагрев, плавление вещества. Приведены данные о теплоаккумулирующих свойствах легкоплавких веществ и их классификации. Представлены результаты экспериментов по аккумулярованию теплоты конструкцией, заполненной плавящимся кристаллогидратом азотнокислого никеля.

**Ключевые слова:** безопасность в чрезвычайных ситуациях, теплозащитные и теплоаккумулирующие свойства конструкций, легкоплавкие вещества, кристаллогидраты, плавление, удельная теплота плавления вещества, стабилизация температурного режима, коэффициент теплопроводности

*Akatiev V. A., Ghyznev D. Yu., Dmitriev M. V., Nazarov G. S. Safety by application of fusible protection frames*

The problem of safety of people is considered at fires and protection of technics against short-term thermal influences by use of fusible materials in protection frames. For restriction of growth of temperature and its stabilization fusible substances are used, thus in emergency situations warmth is spent for heating, substance fusion. The data about теплоаккумулирующих properties of fusible substances and their classification is cited. Results of experiments on accumulation of warmth by a design filled melting кристаллогидратом of nitrate nickel are presented.

**Keywords:** safety in emergency situations, heat-resistant properties and thermal storage design, low-melting substance, crystalline, melting, latent heat of melting of the substance, the stabilization of the temperature, the thermal conductivity

Безопасность людей и сохранность материальных объектов при чрезвычайной ситуации (ЧС) с пожаром обеспечивается эвакуацией людей и ее локализацией. Начало эвакуации по времени всегда начинается с некоторым запаздыванием относительно времени зарождения ЧС. Кроме того, на прибытие пожарно-спасательных отделений требуется время. Поэтому безопасность людей и материальных ценностей часто в первые минуты после возникновения загорания обеспечивают противопожарные преграды (стены, двери, перегородки, перекрытия, шторы, зонты и другие ограждающие конструкции). Длительность времени сохранения защитных качеств этих преград в условиях воздействия на них высоких температур характеризуется их пределами огнестойкости.

Одним из способов повышения огнестойкости противопожарных ограждений является способ утилизации поступающей теплоты в теплоту фазовых превращений легкоплавкого вещества.

Обеспечение допустимых параметров теплового режима приборных отсеков аппаратов и объектов различного назначения при пожарах является одним из основных факторов обеспечения их надежной эксплуатации и безопасности людей. В общем виде обеспечение теплового режима в зависимости от происходящих процессов заключается или в отводе от защищаемого прибора или оборудования выделяющейся в процессе работы теплоты (охлаждение) или в защите оборудования или объектов от внешних тепловых потоков (теплозащита).

Во многих технологических процессах и приборах осуществляются интенсивные кратковременные циклические тепловыделения (например, при импульсных включениях светодиодов). Также ограничены по длительности времени и тепловые воздействия, возникающие при пожарах. Средства теплозащиты при пожарах, как правило, рассчитываются на однократное применение в течение ограниченного времени (при спасании), поэтому возможность их выхода из строя (потеря целостности или разрушение) не является принципиальным ограничением в ее использовании в аварийных условиях.

В настоящее время известны три направления в разработке методов отвода теплоты: теплопроводностью с использованием теплоемкости вещества; за счет радиационного излучения; за счет физико-химических превращений (эндотермические реакции растворения некоторых солей). На практике часто применяется комбинация указанных методов.

Применение отвода теплоты за счет теплоемкости ограничено теплофизическими свойствами применяемых материалов и их массогабаритными характеристиками. Отвод теплоты за счет радиационного излучения ограничен высокими требованиями к отражательным свойствам используемых экранов.

Способ отвода теплоты, основанный на физико-химических превращениях, в частности на фазовых превращениях (плавление, испарение и сублимация), весьма эффективно может быть применен в технологических процессах и аппаратах с малым временем функционирования или работающих в циклическом

режиме с короткими интервалами цикла. В данных условиях этот принцип открывает перспективы существенного улучшения теплозащитных свойств не только при внутренних тепловых выделениях, но и при внешних тепловых потоках.

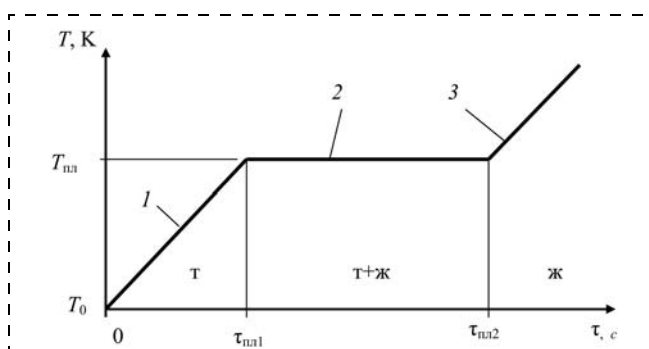
Общеизвестно, что любое фазовое превращение сопровождается значительными тепловыми эффектами. Процессы плавления, испарения и сублимации происходят при поглощении теплоты, а процессы затвердевания и конденсация являются экзотермическими. Тепловые эффекты фазовых превращений характеризуются теплотой фазового перехода (количество теплоты, необходимой для перевода 1 кг или 1 м<sup>3</sup> вещества из одного агрегатного состояния в другое) и его температурой.

Особенностью использования систем отвода теплоты за счет фазового перехода является то, что температура вещества на протяжении всего процесса остается постоянной и равной температуре фазового перехода. Упрощенная диаграмма состояний вещества при его плавлении показана на рис. 1.

На диаграмме показаны три характерные зоны: 1 — зона нагрева твердой фазы ( $T < T_{пл}$ ), в которой температура растет, но она не достигла температуры плавления вещества; 2 — зона плавления, когда одновременно существуют и жидкая и твердая фазы, при этом температура остается постоянной в течение всего времени плавления ( $T = T_{пл}$ ); 3 — зона нагрева жидкой фазы, в которой при подводе теплоты температура жидкой фазы (расплава) растет ( $T > T_{пл}$ ).

В процессе отвода участвуют процессы, показанные на всех трех участках. Нагрев в жидкой фазе продолжается до достижения в системе охлаждения наперед заданной предельной температуры. Однако основным процессом отвода теплоты является процесс плавления. Время действия системы охлаждения определяется временем от начала нагрева до полного расплавления рабочего вещества.

Энергетические и временные характеристики системы охлаждения можно оценить следующим образом. Количество энергии, кДж, поглощенное рабочим ве-



**Рис. 1. Диаграмма состояний вещества при его плавлении:**  
 $T_0$  — начальная температура;  $T_{пл}$  — температура плавления;  
 $\tau_{пл1}$  — время начала плавления;  $\tau_{пл2}$  — время окончания плавления;  
 т — твердая фаза; т + ж — твердая и жидкая фазы;  
 ж — жидкая фаза



шеством с момента начала нагрева до момента его полного расплавления, определяется выражением:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = c_p m (T_{\text{пл}} - T_0) + rm = \mathcal{E}_H + \mathcal{E}_{\text{пл}}, \quad (1)$$

где  $c_p$  — удельная теплоемкость, кДж/(кг · К);  $r$  — удельная теплота плавления, кДж/кг;  $m$  — масса плавящегося вещества, кг;  $T_0$  — температура рабочего вещества до начала нагрева, К;  $T_{\text{пл}}$  — температура плавления рабочего вещества, К;  $\mathcal{E}_H$ ,  $\mathcal{E}_{\text{пл}}$  — энергия, затрачиваемая соответственно на нагрев и плавление рабочего вещества, кДж.

Поскольку тепловая мощность  $P$ , кВт, поглощаемая веществом, в нашем случае практически постоянна, запишем

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = P(\tau_H + \tau_{\text{пл}}) = P\Delta\tau, \quad (2)$$

где  $\tau_H$  — время нагрева от температуры  $T_0$  до  $T_{\text{пл}}$ , с;  $\tau_{\text{пл}}$  — время плавления рабочего вещества, с;  $\Delta\tau$  — суммарное время действия системы охлаждения, с.

Из уравнений (1) и (2) следует, что время работы охладителя

$$\Delta\tau = m[c_p(T_{\text{пл}} - T_0) + r]/P. \quad (3)$$

При заданном количестве отводимой энергии действительное (необходимое) количество  $m_d$  плавящегося вещества определяется с учетом поправки на возможность неучастия части этого вещества  $k_Q$ , что может быть следствием каких-либо конструктивных особенностей защитного ограждения или (и) из-за неравномерности его прогрева:

$$m_d = k_Q m. \quad (4)$$

Величина коэффициента запаса  $k_Q$  зависит от условий нерегулярности и неравномерности поступления теплоты с учетом назначения системы охлаждения. Для оценочных расчетов величину  $k_Q$  можно принимать равной 1,05, но в ряде случаев его величина может быть весьма большой.

В общем случае можно выделить две области применения плавящихся веществ. Это устройства для аккумуляции теплоты с целью дальнейшего ее использования и средства теплозащиты и термостабилизации при воздействии внешних тепловых потоков.

По принципу работы аккумуляторы теплоты и средства теплозащиты, построенные на поглощении теплоты, мало отличаются друг от друга. Различие состоит лишь в назначении устройства и требованиях, предъявляемых к плавящемуся веществу. Так, если проектируется система теплозащиты, то используется вещество, имеющее низкую, а при проектировании аккумулятора теплоты — высокую теплопроводность.

Область применения теплопоглощающих устройств, основанных на применении плавящихся веществ, весьма обширна. Например, система теплозащиты в виде оболочки из легкоплавкого материала для стабилизации температуры в бортовом отсеке искусственного спутника Земли. Спутник при облете Земли периодически оказывается то на освещенной, то на затененной стороне. Во время действия солнечной радиации вещество плавится, забирая тепловую энергию, предохраняя тем самым от перегрева нахо-

дящуюся на борту аппаратуру. Находясь на затененной стороне, теплозащитная оболочка излучает теплоту в космическое пространство и затвердевает.

Широкое распространение плавящиеся вещества нашли в системах обеспечения оптимальных температурных условий узлов и элементов радиоэлектронной аппаратуры с малым временем функционирования или работающей в коротко циклическом режиме выделения теплоты [4]. Также примером такой защиты от перегрева может быть приборный отсек в автономном аппарате (АА) внутреннего контроля функционирующей дымовой трубы [7]. Основным источником тепловыделений в АА является излучатель, работающий в импульсно-циклическом режиме. Сам принцип охлаждения в этом случае основан на отводе и накоплении избыточной теплоты в аккумуляторе плавления и позволяет, хотя и кратковременно, но достаточно жестко зафиксировать температуру охлаждаемого узла. В перерывах между обследованиями дымовых труб с помощью АА накопленная теплота сбрасывается в атмосферу, вещество затвердевает и устройство вновь готово к дальнейшему использованию.

Следует отметить еще один аспект применения легкоплавкого вещества в защите электронных приборов. Одним из недостатков существующих электронных приборов является их чувствительность к повышенным температурам, которые могут возникать не только за счет внутреннего тепловыделения, но и при повышении температуры окружающей среды. Обычно они перестают нормально работать при повышении температуры до 50...85 °С. При пожарах в помещении температура газов может достигать 500 °С и выше. В этих условиях защитить приборы в течение некоторого времени можно применяя тепловой экран, состоящий из нескольких теплозащитных оболочек, включающих в себя и легкоплавкое вещество.

Легкоплавкие вещества используются в спецодежде для индивидуальной защиты человека от неблагоприятных внешних воздействий. Например, в аварийной системе обогрева водолаза, которая защищает организм от переохлаждения при аварийном отключении электрического обогрева [3]. В средствах индивидуальной тепловой защиты применяется теплоаккумулирующий материал в виде полимерной оболочки и наполнителя из парафина. В качестве наполнителя используют низкоплавкий парафин из ряда  $C_{17}H_{36}$ — $C_{20}H_{42}$  с температурой плавления от 16,7 до 36,7 °С, в качестве полимерной оболочки — пористый материал (патент № 2008776, опубликован 15.03.1994 г.).

Независимо от назначения легкоплавкие вещества по температурным диапазонам применения принято подразделять на группы [3]:

- вещества для производства холода, имеющие температуру плавления ниже 20 °С;
- низкотемпературные вещества, температура плавления которых находится в диапазоне температур от 20 до 200 °С;



- среднетемпературные вещества, температура плавления которых находится в диапазоне температур от 200 до 500 °С;
- высокотемпературные вещества, имеющие температуру плавления свыше 500 °С.

Наиболее широкое применение нашли низкотемпературные плавящиеся вещества, использование которых связано с системами стабилизации температурных режимов приборов, узлов и элементов радиоэлектронной аппаратуры, с системами жизнеобеспечения человека, экологически чистыми способами производства и запасания энергии для оптимизации режимов потребления энергии. Для хранения пищевых продуктов и медицинских препаратов, в том числе в условиях их транспортировки, используются низкотемпературные легкоплавкие вещества для производства холода. Средне- и высокотемпературные вещества пока не нашли широкого применения в промышленности.

В настоящее время известен достаточно широкий спектр веществ, обеспечивающих необходимую теплоту аккумуляции при плавлении [2, 5]. В общем случае легкоплавкие вещества независимо от назначения должны обладать следующими характеристиками:

- температурой фазового перехода, обеспечивающей возможность отвода теплоты во всем диапазоне изменения температуры окружающей среды;
- высокой удельной теплотой фазового перехода;
- низким коэффициентом объемного расширения при минимальной разности плотностей жидкой и твердой фаз;
- надежной обратимостью при многократных превращениях, например, при использовании в циклически работающих устройствах;
- максимально возможной теплопроводностью (при использовании в системах отвода и накопления теплоты);
- минимальной теплопроводностью (при использовании в системах теплозащиты);

— химической нейтральностью в отношении конструкционных материалов;

— стабильностью состава и теплофизических свойств в условиях циклического изменения температур;

- идентичностью составов жидкой и твердой фаз;
- малой токсичностью;
- свойствами негорючести и непожароопасности;
- низкой стоимостью и наличием в необходимых объемах.

Низкотемпературные легкоплавкие вещества, отвечающие перечисленным требованиям, в основном, относятся к двум классам веществ — кристаллогидраты солей и органические вещества, в первую очередь парафины. Сведения о свойствах (температура плавления  $T_{пл}$ , удельная теплота плавления  $r_{пл}$ , плотность  $\rho$ , коэффициент теплопроводности  $\lambda$ ) наиболее распространенных легкоплавких веществ приведены в таблице.

Органические соединения по таким параметрам, как химическая инертность, экологическая безопасность, безопасность для здоровья человека, доступность и сравнительная низкая стоимость, имеют преимущества, но по энергоемкости они проигрывают кристаллогидратам различных водно-солевых систем. Кристаллогидраты обладают большей удельной теплотой плавления и не являются пожароопасными.

Очевидно, что в технических объектах, например в автономном диагностическом аппарате, предпочтение в применении будут иметь кристаллогидраты, а в зданиях с массовым пребыванием людей, например в учебном или медицинском заведении, — органические вещества.

Несмотря на значительный интерес к легкоплавким веществам в различных аспектах их применения, экспериментальных данных по исследованию механизмов плавления и аспектов применения недостаточно. При проектировании охлаждающих устройств, предназначенных для защиты от источников

Краткие сведения о свойствах легкоплавких веществ

Название вещества	Химическая формула	$T_{пл}$ , °С	$r_{пл}$ , кДж/кг	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\lambda$ , Вт/(м·К)
Парафин	$C_nH_{2n+2}$	40...56	156	760...780	0,27
Воск	—	40...90	177	956...970	$(3,47...8,16) \cdot 10^{-2}$
Кислота пальмитиновая	$C_{16}H_{32}O_2$	63	214	841,4	0,1715
Кислота миристиновая	$C_{14}H_{28}O_2$	58	200	841,4	—
Кислота стеариновая	$C_{18}H_{36}O_2$	69	200	—	0,1601
Кристаллический азотнокислый кадмий	$Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	59,4	106	—	—
Гидрат оксида бария	$Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$	78	308	2180	0,244
Кристаллический азотнокислый никель	$(NiNO_3)_2 \cdot 6H_2O$	56,7	155	1980...2050	0,56
Натрия сульфат (глауберова соль)	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	95	251	1465...1554	1,850 (тв. фаза) 1,714 (ж. фаза)
Натрия сульфит	$Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$	33,4	179,0	1176...2630	—
Натрия карбонат	$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	22...36,1	247,6	1442	—
Натрия ацетат	$Na(CH_3COO) \cdot 3H_2O$	58	272,4	1450	—
Галун алюмокалиевый	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	92	254,3	1750	—
Сегнетова соль	$KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	70...80	181,4	1790	—
Алюминия нитрат	$Al(NO_3)_3 \cdot 7H_2O$	70	155,03	1890	—
Магния нитрат	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	95	160,1	1500	—

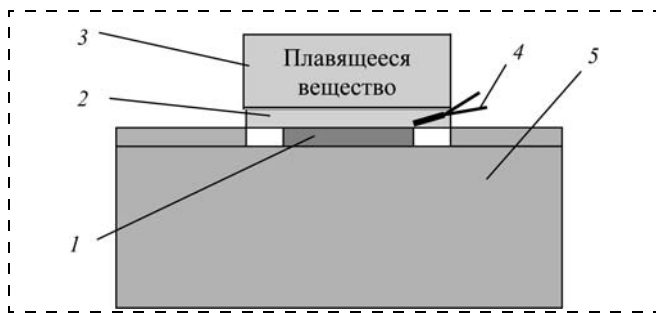


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования процесса плавления легкоплавкого вещества:

1 — тонкопленочный нагреватель; 2 — медная пластина; 3 — блок, заполненный легкоплавким веществом; 4 — термопара; 5 — теплоизоляционный блок

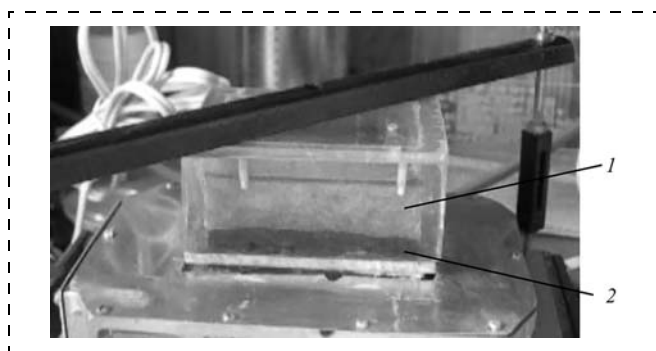


Рис. 3. Картина плавления вещества (кристаллического азотнокислого никеля) в блоке без наполнителя:

1 — твердая фаза; 2 — жидкая фаза

теплоты, работающих при пиковых нагрузках большой мощности, для минимизации массогабаритных показателей целесообразно увеличивать плотность тепловых потоков. Однако экспериментальные данные по плавлению веществ в заданном температурном диапазоне, приведенные в литературе, ограничены сравнительно невысокими значениями плотности теплового потока  $q = 2...4 \text{ кВт/м}^2$  [4]. Это обстоятельство потребовало проведения дополнительных экспериментальных исследований в области тепловых потоков плотностью  $q = 10 \text{ кВт/м}^2$  и более.

Типичным представителем группы кристаллогидратов является кристаллический азотнокислый никель. Поэтому в экспериментальной установке по исследованию тепловых процессов в качестве плавящегося вещества был использован кристаллический азотнокислый никель  $(\text{NiNO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , который в твердом состоянии представляет собой кристаллы изумрудно-зеленого цвета. Они слегка выветриваются в сухом и быстро расплываются во влажном воздухе, кристаллы легко растворимы в воде.

Теплоотводящие (теплопоглощающие) блоки различной конструкции исследовались на модельной установке, схема которой показана на рис. 2.

Установка состоит из плоского тонкопленочного нагревателя 1, который размещен в нише, выполненной в блоке теплоизоляционного материала 5 (шамо-

та), который, благодаря очень низкой теплопроводности, позволяет избежать потерь теплоты от нагревателя в атмосферу. На нагревателе закреплена медная пластина 2 площадью  $61 \times 40 \text{ мм}$  и толщиной 2,5 мм, которая выравнивает тепловое поле с минимальными потерями теплоты с торцов пластины. На медную пластину устанавливался блок 3 с плавящимся веществом, между дном которого и медной пластиной обеспечивался хороший тепловой контакт с помощью теплопроводной пасты.

Измеряемым параметром являлась температура верхней плоскости медной пластины, которая идентифицировалась с температурой корпуса охлаждаемого устройства. Температура измерялась термопарой ТХК (хромель-капельовой термопарой (ТХК)) 4, зачеканенной в медную пластину. Показания считывались с дисплея мультиметра. Для визуализации процесса плавления вещества, ограждающие конструкции аккумулирующих блоков, были выполнены из оргстекла, а поверхность, опирающаяся на нагреватель, — из алюминиевого сплава (рис. 3).

На рисунке показана характерная картина плавления вещества при подводе теплоты снизу в блоке без теплопроводящих наполнителей, которые обычно применяются для интенсификации подвода теплоты в вещество. В нижней части блока темным цветом показана жидкая фаза, а сверху твердая (кристаллическая) фаза. Как видно, процесс плавления имеет послойный характер. Изменение температуры пластины в процессе нагрева представлено на рис. 4.

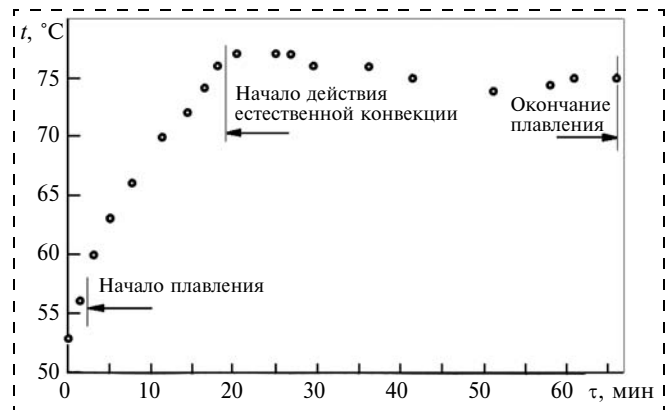


Рис. 4. Изменение температуры медной пластины при плавлении азотнокислого никеля в блоке без наполнителя:  $q = 6,6 \text{ кВт/м}^2$

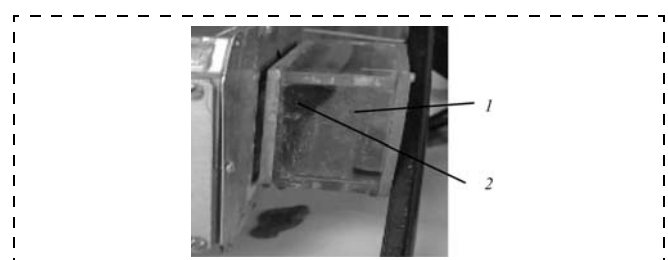
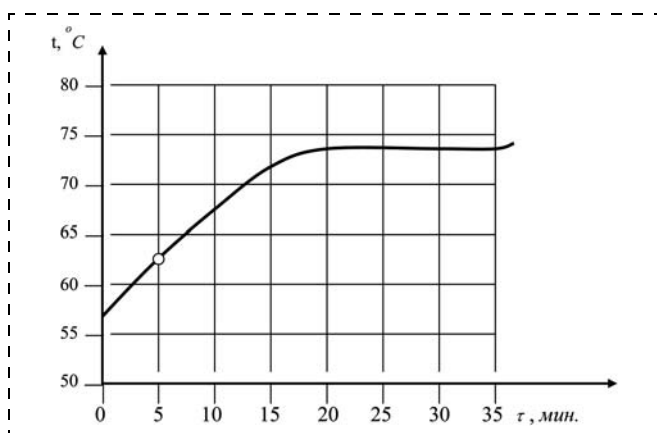


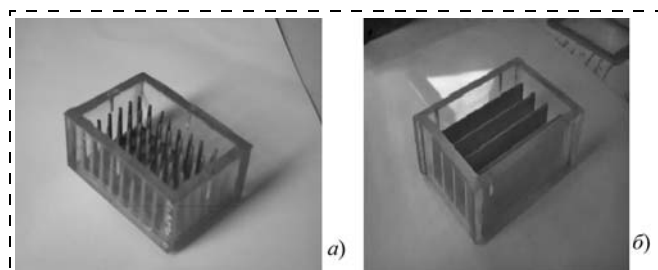
Рис. 5. Картина плавления азотнокислого никеля при вертикальном подводе теплоты:

1 — твердая фаза; 2 — жидкая фаза





**Рис. 6.** Изменение температуры медной пластины при плавлении азотнокислого никеля при вертикальном подводе теплоты  $q = 6,6 \text{ кВт/м}^2$ :  
о — точка начала плавления вещества



**Рис. 7.** Образцы экспериментальных блоков с наполнителями разных типов:  
а — игольчатый радиатор; б — пластинчатый радиатор

Сопоставляя результаты визуальных наблюдений за процессом плавления и результаты температурных измерений, можно констатировать факт возникновения конвективных токов в жидкой фазе, начиная с ее толщины примерно в 6...8 мм, что согласуется с результатами [4].

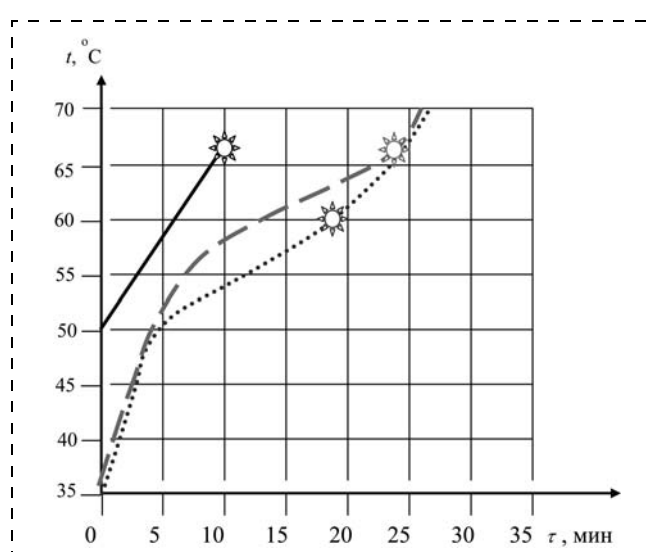
Возникновение и воздействие конвекции при плавлении особенно явно проявилось при вертикальном расположении блока (рис. 5).

Вследствие конвекции наблюдается резкое увеличение скорости плавления в верхней части блока. Динамика изменения температуры медной пластины при вертикальном подводе теплоты показана на рис. 6.

Для выравнивания температурных полей внутри блоков используются различного рода теплопроводные наполнители [4], например, медная (латунная) проволока-путанка, дисперсные теплопроводные наполнители. В эксперименте были использованы наполнители в виде алюминиевых радиаторов (рис. 7).

На рис. 8 представлены кривые изменения температур азотнокислого никеля во времени в блоках с различными наполнителями.

**Заключение.** Использование легкоплавких веществ в средствах тепловой защиты при пожарах весьма перспективно. Отметим одно направление. Сегодня остро стоит проблема своевременной и безопасной эвакуации людей из зданий повышенной



**Рис. 8.** Изменение температуры при плавлении азотнокислого никеля в блоках с наполнителями в виде игольчатого и пластинчатого радиаторов:

— игольчатый радиатор,  $q = 15 \text{ кВт/м}^2$ ; - - игольчатый радиатор,  $q = 10,2 \text{ кВт/м}^2$ ; ..... — пластинчатый радиатор,  $q = 10,2 \text{ кВт/м}^2$ ; звездочками на линиях обозначены точки окончания плавления

этажности и высотных сооружений. В настоящее время для указанных зданий исследуются возможности создания в них зон безопасности, оборудованных противопожарными шторами, в которых люди могли бы безопасно находиться до прибытия пожарно-спасательных отделений.

Использование легкоплавких веществ перспективно и для отвода теплоты от оборудования, работающего кратковременно или при возникновении инцидентов, сопровождающихся тепловыми эффектами.

#### Список литературы

1. Полежаев Ю. В. Тепловая защита / Ю. В. Полежаев, Ф. Б. Юревич; Под ред. А. В. Лыкова. — М.: Энергия, 1976. — 392 с.
2. Теплофизические свойства теплоаккумулирующих материалов. Кристаллогидраты / А. Г. Мозговой [и др.]. — М.: ИВТАН АН СССР. — 1990. — № 2 (82). — 105 с.
3. Россихин Н. А. Методические указания по проектированию аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа) / Н. А. Россихин. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. — 33 с.
4. Алексеев В. А. Охлаждение радиоэлектронной аппаратуры с использованием плавящихся веществ / В. А. Алексеев. — М.: Энергия, 1975. — 118 с.
5. Гороновский И. Т. Краткий справочник по химии / И. Т. Гороновский [и др.]. — Киев: Наукова Думка, 1987. — 830 с.
6. Александров В. Д. Теплоаккумулирующие материалы на основе кристаллогидратов / В. Д. Александров [и др.]. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. — 2009. — Вып. 11 (75). — С. 100—106.
7. Акатьев В. А., Суцев С. П. Технология и параметры автономного аппарата для контроля футеровки функционирующей дымовой трубы // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. — № 3. — С. 32—44.



УДК 614.894.22

**В. В. Новиков**, канд. воен. наук, доц.,  
Московский городской психолого-педагогический университет  
E-mail: novicov.slava@yandex.ru

## Лесной пожар и средство защиты и спасения человека "Феникс"

*Охарактеризовано состояние опасности при лесном пожаре для человека и раскрыты возможности спасения при наличии средств защиты. Показаны возможности защитного капюшона-самоспасателя и дан алгоритм его применения.*

**Ключевые слова:** *чрезвычайная ситуация, лесной пожар, низовой пожар, верховой пожар, подземный пожар, опасный фактор пожара, оксид углерода, средство индивидуальной защиты, самоспасатель*

**Novikov V. V.** *Forest fire and protection frame and rescue of the person "Phoenix"*

*The danger condition is characterized at forest fire for the person and possibilities of rescue in the presence of protection frames are opened. Possibilities of a protective hood are shown and the algorithm of its application is given.*

**Keywords:** *an emergency situation, forest fire, a local fire, a riding fire, the underground fire, the dangerous factor of a fire, оксид carbon, individual defense means, the self-rescuer*

Россия занимает первое место в мире по количеству лесов. С полным основанием можно сказать, что леса России — это стратегический запас планеты. На долю нашей страны приходится не только порядка четверти мировых запасов древесины (1,2 млрд га), но и 26 % неосвоенных лесов мира, исключительно важных для выполнения первостепенных функций в глобальных процессах климатообразования, регулирования речных стоков, да и состояния окружающей среды в целом.

Лес относится к природным ландшафтам повышенной опасности. В лесу может гореть практически все: трава, мох, пни, порубочные остатки, корни, валежник, бурелом, кустарник, подрост, подлесок, листья, хвоя, древостой, особенно сухостойные деревья и т. д. Лесные пожары справедливо считаются одним из крупнейших по охвату территории стихийных бедствий. Ни для кого не секрет, что наша страна несет огромный урон от опустошающих лесных пожаров. По статистике, ежедневно в России за последнее десятилетие выгорают огромные лесные площади: от 2 до 8 млн га. Каждый год регистрируются около 30 тыс. лесных пожаров. По данным Института космических исследований РАН и Института леса

им. В. Н. Сукачева, в 1998 г. пожаром уничтожено 4,3 млн га, в 2002 г. — 8,3, в 2003 г. — 2,3, в 2009 г. — 3,0, а в 2010 г. — 5,9 млн га.

В России 2010 год принято считать самым тяжелым, но он не побил рекорд 2002 года, когда огонь уничтожил более 8 млн га леса. Именно пожары наносят лесу наибольший ущерб. Средства массовой информации с ранней весны до поздней осени постоянно сообщают о горящих на большой площади лесных массивах. Чаше упоминаются регионы Дальнего Востока, Сибири, да и Центральной части России. Например, в Хабаровском крае ежегодно происходит в среднем 400...500 лесных пожаров, которые наносят значительный ущерб экономике края и оказывают негативное влияние на здоровье людей.

Возгорания чаще всего возникают вокруг населенных пунктов, вдоль автомобильных и железнодорожных дорог, линий связи и электропередач, нефте- и газопроводов, по берегам судоходных рек, в лесных массивах, которые наиболее часто используются для отдыха, охоты или производственной деятельности. Вообще на территорию в радиусе 5 км от населенных пунктов приходится 80...93 % пожаров.

В зависимости от характера возгорания и состава леса пожары подразделяются на низовые, верховые, подземные (торфяные).

В лесных массивах наиболее часто возникают низовые пожары, выжигающие лесную подстилку, травянисто-кустарничковый покров, валежник, корневища деревьев и т. д.

В засушливый период при ветре представляют опасность верховые пожары, при которых огонь распространяется также и по корням деревьев преимущественно хвойных пород.

При горении торфа и корней растений существует угроза возникновения подземных пожаров, распространяющихся в разные стороны. Способность торфа самовозгораться и гореть без доступа воздуха и даже под водой представляет большую опасность. Горение идет медленно, со скоростью 0,1...0,5 м/мин с выделением большого количества дыма. Над горящими торфяниками возможно образование "столбчатых завихрений" горячей золы и горящей торфяной пыли, которые при сильном ветре переносятся на большие расстояния и вызывают новые возгорания и ожоги у людей и животных.

Важными характеристиками пожара являются скорость распространения — низовых и верховых, глубина прогорания — подземных. По скорости распространения огня (интенсивности горения) лесные



пожары делятся на слабые, средние и сильные, а по характеру горения — на беглые и устойчивые. Скорость распространения слабого низового пожара не превышает 1 м/мин, среднего — 1...3 м/мин, сильного — свыше 3 м/мин. Слабый верховой имеет скорость до 3 м/мин, средний до 100 м/мин, а сильный свыше 100 м/мин. Слабым почвенным (подземным) считается такой пожар, у которого глубина прогорания не превышает 25 см, средним — 25...50 см, сильным — более 50 см.

При устойчивых низовых пожарах кромка продвигается медленно, максимальная температура на кромке пожара достигает 900 °С, образуется много дыма, что указывает на гетерогенный характер горения. Особенно большой ущерб приносят верховые пожары, когда горят кроны деревьев верхнего яруса. При горении выделяется огромное количество газообразных и аэрозольных примесей, которые существенно влияют на динамику атмосферных процессов.

Основным поражающими факторами лесных пожаров являются: дым, искры, высокая температура и открытый огонь.

Тяжесть лесных пожаров усугубляется тем, что в ряде случаев лес подходит вплотную к зонам жилой застройки. По оценке возгораний строений от природных пожаров основным фактором являются горящие частицы, которые разбрасываются перед фронтом пожара. Количество горящих частиц и дальность их переноса зависит от интенсивности природного пожара и скорости ветра. Дальность переноса горящих частиц, особенно при сильном ветре, может достигать 400...500 м. Даже если пожар удалось остановить на расстоянии 100...200 м от населенного пункта, то горящие частицы, попавшие на его территорию, могут вызвать загорание домов, тем более, что в России дома в лесных поселках и деревнях в основном деревянные.

Так, крупный лесной пожар в Богучанском районе Красноярского края в июле 1994 г. уничтожил деревню Хая, которая была окружена сосновым лесом высотой 16...18 м. Лес находился от деревни на расстоянии 100...200 м. По рассказам очевидцев, деревня была буквально засыпана горящими частицами и сгорело 27 домов из 30. При этом пожар не был верховым, а только сильным низовым.

Во время лесных пожаров нередко гибнут люди. В ходе лесного пожара в 1985 г. в Португалии погибло более 300 человек. В 1996 г. в Бурятии во время лесного пожара погибло 5 человек. В начале июля 1997 г. на Алтае в огне погибло 14 участников тушения лесного пожара. В основном люди погибают в первые минуты пожара, задохнувшись от дыма.

Большое количество лесных пожаров вызывает необходимость усиления профилактических мероприятий. О наступлении в лесу пожароопасного сезона население узнает из средств массовой информации.

В период высокой пожарной опасности, исходя из условий погоды, у дорог при въездах в лес, выставляются контрольные посты из работников лесничеств, лесхозов, предприятий и организаций, привлекаемых для борьбы с огнем, и общественных автоинспекторов, которые обязаны предупреждать водителей транспор-

та, а также граждан о правилах поведения в лесу, за прещении разведения костров и т. д.

В отдаленных населенных пунктах ежегодно происходит до 30 тысяч пожаров. Первыми реагируют на пожар те, кто оказался рядом с ним — добровольцы. Они локализируют пожар, стараются уменьшить возможный ущерб, защищают соседние дома, эвакуируют ценные вещи. Уже сегодня добровольцы участвуют в тушении 18 % пожаров. Принятие закона "О добровольной пожарной охране" позволило определить порядок формирования добровольных пожарных дружин, расширить круг волонтеров и добровольцев, которые могут участвовать в деле обеспечения пожарной безопасности. По расчетам МЧС России, для прикрытия отдаленных населенных пунктов нужно около 800 тыс. добровольцев.

При тушении пожара личный состав пожарных формирований, добровольные пожарные и волонтеры подвергаются воздействию дыма, а также оксида углерода. Поэтому при высокой концентрации оксида углерода (более 0,02 мг/л), что определяется с помощью газоанализатора, работы должны проводиться в средствах индивидуальной защиты (СИЗ) [1].

Обычный гражданин, отправляясь за грибами или ягодами, на охоту, находясь в лесу, не задумывается над тем, каким образом он может спастись, если окажется в зоне лесного пожара. В учебнике для населения "Безопасность и защита населения в чрезвычайных ситуациях" даны следующие рекомендации: "В случае если человек оказался вблизи очага пожара в лесу или на торфянике и у него нет возможности своими силами справиться с его локализацией и тушением:

— выходите из огненной зоны, перпендикулярно направлению движения огня...;

— оказавшись на открытом пространстве или поляне, дышите воздухом возле земли — там он менее задымлен; рот и нос при этом прикройте ватно-марлевой повязкой или тряпкой".

Для защиты в зоне лесного, торфяного пожара, по мнению автора, необходимо иметь: СИЗ органов дыхания, например защитные фильтрующие капюшоны-самоспасатели. Самоспасатели принадлежат к такому классу изделий, представления о которых имеет весьма узкий круг общестественности. О фильтрующих противогазах типа ГП-7, ГП-7В и др., респираторах знают, а вот о фильтрующих самоспасателях — знания очень скудные.

На отечественном рынке потребителям предлагают несколько моделей СИЗ органов дыхания — самоспасатели фильтрующие: газодымозащитный комплекс ГЗДК (ГЗДК-У); самоспасатель противопожарный фильтрующий СФП-1; малогабаритный эвакуационный комплект МЭК-ЧС1Т; капюшон защитный "КЗУ"; капюшон защитный "Феникс", противогаз-самоспасатель "Феникс-2" ("Феникс-3П"); универсальный фильтрующий малогабаритный самоспасатель (УФМС) "Шанс" или "Шанс"-Е (Европейский); спасательная шлем-маска компании Dräger (Германия) "PARAT C".

Изделия просты в применении и в течение 20...60 мин (в зависимости от модели) обеспечивают защиту чел-



века от токсичных продуктов горения (в том числе от оксида углерода) и химически опасных веществ, образующихся при пожаре в общественных, административных и других зданиях. Они не требуют соблюдения размерного ряда и позволяют вести переговоры при эвакуации. Срок хранения самоспасателей — не менее 5 лет.

Самоспасатели просто надеваются на голову и защищают органы дыхания и зрения пользователя. Они выпускаются одного универсального размера для всех пользователей — взрослого человека, в том числе носящего очки или бороду, и даже ребенка от 7—12 лет. Лицевая часть обеспечивает необходимый обзор и защищает голову от искр и пламени [2]. Самоспасатели выпускаются в разной упаковке массой от 250 до 900 г.

Следует заметить, что все самоспасатели одноразового использования. Работникам лесного хозяйства, охотникам, грибникам, туристам (путешественникам), а также жителям лесных поселков и деревень можно рекомендовать противогаз-самоспасатель "Феникс-2" (далее ПС "Феникс-2").

При использовании ПС "Феникс-2" у пламени лесного костра с различной плотностью дыма и летящих искр от горящих веток автор надевал и снимал ПС более десяти раз, пребывая в нем над дымом костра от 5 до 55 мин.

В ходе многократного применения ПС "Феникс-2" удалось выявить следующее: ПС "Феникс-2" можно применять при локализации очага лесного возгорания. Однако следует отметить, что при времени нахождения в ПС более 30 мин появляется неприятное (болевое ощущение) давление на ноздри носа зажимом. Снять синдром сдавливания можно, если задержать дыхание, через пленку снять зажим, потереть ноздри, т. е. обеспечить доступ крови к ноздрям и снова надеть зажим.

При нахождении в дыму при высокой температуре воздух под пленкой нагревается, и пленка ПС раздувается. Привести в нормальное положение пленку капюшона можно, немного оттянув с затылочной части плотно прилегающий шнур, спереди надавить на пленку и выпустить часть воздуха, это даст возможность привести ПС в исходное рабочее состояние.

При постоянном нахождении в дыму при высокой температуре искры, летящие на пленку самоспасателя, нарушают его герметизацию, однако начинается потовыделение. Пот со лба можно снять, прижав пленку ко лбу и протерев лоб.

Наличие загубника во рту вызывает повышенное слюновыделение и скапливание слюны. Частые глотательные движения слюны позволяют не допустить попадания ее в клапан выдоха.

После каждого применения ПС "Феникс-2" необходимо вывернуть капюшон для просушки и резким движением встряхивания удалить скопившуюся влагу из клапана выдоха. При длительном нахождении в дыму пленка теряет прозрачность, восстановить которую можно, протерев влажной салфеткой.

ПС "Феникс-2" оптимально сочетает такие характеристики, как "стоимость — качество — защитные параметры — простота использования — занимаемый объем". Масса ПС "Феникс-2" 250 г, размеры в упаковке — диаметр 110 мм, высота 50 мм. Применение ПС "Феникс-2" туристами, рыболовами, работниками лесного хозяйства, а также жителями лесных поселков позволит выйти из задымленного леса или проводить работы по локализации очага возгорания, не опасаясь летящих искр, высокой температуры и дыма.

Чтобы оградить одежду от летящих искр, целесообразно применять теплоотражающую накидку (ТОН). При лесных пожарах в качестве защиты тела человека от теплового излучения и кратковременного воздействия открытого пламени можно рекомендовать ТОН "Феникс", которая выполнена из специальной тонкой пленки серебристого цвета в форме "бурки", т. е. она разворачивается и надевается на плечи. Материал накидки не поддерживает горение, выдерживает кратковременное воздействие открытого пламени до 850 °С. Благодаря малым размерам упаковки (15 × 15 × 1 см), массе (всего 120 г), она легко умещается в любом кармане.

В заключение следует отметить, что чрезвычайные ситуации ставят под угрозу жизнь каждого человека, а наличие средств индивидуальной защиты дает человеку шанс спастись.

#### Список литературы

1. **Технический регламент** о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ; принят Гос. Думой 04.07.2008; одобрен Советом Федерации 11.07.2008. — М.: ФГУ ВНИИПО, 2008. — 157 с.
2. **ГОСТ Р 53261—2009** Техника пожарная. Самоспасатели фильтрующие для защиты людей от токсичных продуктов горения при эвакуации из задымленных помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний: введ. 01.01.2010. — М.: Стандартинформ, 2009.

## О новом национальном стандарте системы стандартов безопасности труда "Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков"

В 2011 г. введен в действие ГОСТ Р 12.0.010—2009, определяющий практически новые принципы управления охраной труда. Во введении к указанному документу отмечается, что одной из целей системы менеджмента охраны здоровья и обеспечения безопасности труда является снижение ущерба здоровью и жизни работника на основе управления рисками. Начальным этапом управления рисками является проведение их оценки. В общем случае оценка (расчет) рисков включает выявление опасностей, определение для каждой из них размера возможных ущербов здоровью, вероятностей их наступления, проведение расчета значений показателей рисков.

Порядок такой оценки и устанавливает рассматриваемый стандарт.

В разделе "Область применения" обращается внимание на универсальность стандарта, так как он может применяться на различных уровнях: национальном, в отдельных отраслях экономики, в организации и на отдельном рабочем месте. При этом стандарт может использоваться в целях реализации целого ряда статей Трудового кодекса РФ:

- обеспечение конституционного права работника на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены;

- получение данных (об опасностях и рисках) для информирования работников о риске повреждения здоровья;

- обоснование положений социальной защиты работников, в том числе компенсаций за работу во вредных и (или) опасных условиях труда;

- оценивание эффективности мер по совершенствованию охраны труда;

- принятие превентивных мер по защите здоровья работника;

- выяснение причинно-следственной связи состояния здоровья работников с условиями труда;

- обоснование положения трудового договора об обязательствах работодателя по обеспечению работника необходимыми средствами индивидуальной защиты, установлению соответствующего режима труда и отдыха, а также по обеспечению других предусмотренных законодательством гарантий и компенсаций.

Кроме того, стандарт может быть применен экспертами и страховыми организациями для обоснования размера страховых тарифов.

В разделе "Нормативные ссылки" перечисляются национальные стандарты, на которых базируется ГОСТ Р 12.0.010—2009.

В разделе "Термины и определения" стандарта рассматриваются такие понятия, как опасность, определение опасности, условия труда, риск, оценка риска, ущерб, вредный производственный фактор, опасный производственный фактор, охрана труда, организация, профессиональное заболевание, несчастный случай на производстве, гигиенический норматив.

Особо следует отметить раздел стандарта "Риск", в котором разъясняется, что риск  $R$  в общем случае рассчитывается суммированием произведений возможных дискретных значений ущерба здоровью и жизни работника  $U_i$  на вероятность их наступления  $P_i$ :

$$R = \sum_{i=1}^N P_i U_i, \quad (1)$$

где  $N$  — количество дискретных значений возможных ущербов (одного типа, одной размерности) или объединяющих их групп.

Вычисляемое по формуле (1) значение является математическим ожиданием дискретной случайной величины — ущерба здоровью и жизни работника. Если ущерб  $U$  является непрерывной случайной величиной, имеющей плотность распределения вероятностей  $f(U)$ , то риск рассчитывается по формуле:

$$R = \int U f(U) dU. \quad (2)$$

Интеграл берут по всему интервалу изменения ущерба  $U$ . Учитывая, что характеристики случайных чисел, в том числе значения вероятности и ущерба, как правило, определяют по репрезентативной ограниченной по объему и времени выборке, формулу (1) можно представить в следующем виде:

$$R^* = \sum_{i=1}^N P_i^* U_i, \quad (3)$$

где  $R^*$  — статистическая оценка риска;  $P_i^*$  — частота наступления ущерба здоровью и жизни работника  $U_i$ .

В подразделе "Ущерб здоровью и жизни работника" обращается внимание на связь последнего с воздействием опасных и (или) вредных производственных факторов, на его проявление в виде профессиональных заболеваний (хронических или острых) и (или) производственного травматизма.



Подчеркивается, что в общем случае показатели ущерба отражают:

- ухудшение состояния здоровья работника и (или) его потомства;
- нарушение функционального состояния организма;
- сокращение предстоящей продолжительности жизни;
- нарушение психосоциального благополучия (удовлетворенности работой, семьей, доходами и здоровьем).

Разъясняется, что выбор показателя ущерба, используемого для оценки риска, зависит от целей (представление отчетных данных, выявление источников возникновения рисков, выбор вариантов эффективного управления рисками и др.), ресурсов, объема информации, особенностей решаемых задач и других факторов.

Перечисляются используемые количественные показатели ущерба:

- количество и тяжесть профессиональных заболеваний;
- продолжительность временной утраты трудоспособности;
- сумма пособий по временной утрате трудоспособности;
- количество случаев стойкой утраты профессиональной трудоспособности;

— степень утраты профессиональной трудоспособности в процентах;

— сумма расходов на обеспечение по страхованию по данному виду экономической деятельности и другие показатели.

Согласно рассматриваемому стандарту, кроме количественных показателей при определении риска также используются и качественные показатели ущерба. Так, ущерб от несчастных случаев классифицируется по их тяжести:

— легкий ущерб, когда пострадавшему работнику не требуется оказание медицинской помощи, в худшем случае трехдневное отсутствие на работе;

— средний ущерб, когда пострадавшего работника доставляют в организацию здравоохранения или требуется ее посещение, отсутствие на работе до 30 дней; развивается хроническое заболевание;

— тяжелый ущерб, когда несчастный случай вызывает тяжелое (неизлечимое) повреждение здоровья, требуется лечение в стационаре; отсутствие на работе более 30 дней; стойкая утрата трудоспособности или смерть.

Следует отметить, что подобного рода классификация вводится впервые.

Ущерб, связанный с нарушением функций организма, согласно стандарту, можно оценивать как незначительный, умеренный, выраженный и значительно выраженный.

Допускается использовать и другие качественные показатели ущерба здоровью — незначительный, малый, средний, существенный, большой, несовместимый с жизнью и т. д.

Отмечается, что ущерб здоровью, вызванный профессиональными заболеваниями, имеет многообразные клинические проявления, различные по характеру и по степени выраженности нарушений функций. С учетом этого стандарта устанавливается пять групп ущерба. Признаки каждой группы подробно комментируются.

В подразделе "Оценка рисков" указывается, что ее выполняют прямыми и косвенными методами. Порядок оценки в обоих случаях представлен на рисунке. Разъясняется, что выбор метода зависит от цели оценки рисков, имеющегося объема статистической информации и особенностей решаемых задач.

**Прямой метод** использует статистическую информацию по выбранным показателям риска или непосредственно показатели ущерба и вероятности их наступления.

При наличии статистической информации, достаточной для достижения требуемой точности оценки, значения показателей риска оценивают (прогно-



Порядок оценки рисков



зируют), используя в общем случае методы многомерного статистического анализа.

Подчеркивается, что для обеспечения требуемой точности оценки риска при недостаточной статистической информации используют статистический по объемной выборке, вероятностно-статистический или экспертно-статистический методы. Критерием выбора метода служит относительная погрешность показателя риска, рассчитываемая через квантили распределений, описывающих ошибку как случайную величину, частоту выбранного показателя риска и объем наблюдений.

Наиболее часто применяемые показатели рисков представлены в Приложении А рассматриваемого стандарта.

При отсутствии статистической информации о значениях выбранных показателей рисков или при необходимости лишь установить влияние опасностей на риски, расчет последних проводят экспертными методами с использованием формул (1)–(3). При этом определяют (идентифицируют) опасности, их возможные проявления и последствия — ущербы здоровью и жизни работников  $U_i$  и вероятности их наступления  $P_i$ ; для дискретных значений ущерба или интервал изменения ущерба и его плотность распределения  $f(U)$  для непрерывно значений.

**При косвенном методе** оценки рисков для здоровья и жизни работников в качестве показателей используются отклонения фактических (контролируемых) характеристик условий труда от нормативных (далее — показатели отклонения) и имеющие причинно-следственную связь с рисками.

К таким показателям относятся:

— отклонения значений (измеряемых или рассчитываемых) вредных и (или) опасных производственных факторов (концентрация, доза, уровень и т. п.) от предельно допустимых концентраций, доз, уровней и других известных предельных значений;

— отношение не выполненных на рабочем месте нормативных требований охраны труда к их общему количеству и т. д.

По существующей или построенной функции преобразования (отображения) пространства показателей отклонения на пространство рисков здоровью и жизни, используя измеренные (рассчитанные) значения показателей отклонения  $\text{ind}(\Delta_i)$  в качестве исходных данных, определяют значения  $i$ -х показателей риска  $R_i$ :

$$R_i = \Phi(\text{ind}(\Delta_i)), \quad (4)$$

где  $\Phi$  — функция преобразования (отображения) показателей отклонения  $\text{ind}(\Delta_i)$  на пространство рисков  $R$ .

При построении функции преобразования (отображения) учитывают:

- состояние здоровья;
- заболеваемость с временной утратой трудоспособности;

#### Пример категорий доказанности причинно-следственной связи между ущербом (риском) и показателями отклонений

Мероприятия (материалы)	Категория доказанности		
	1А (доказано)	1Б (предполагается)	2 (подозревается)
Гигиеническая оценка условий труда	+	+	+
Периодические медицинские осмотры	+		
Физиологические исследования	+		
Лабораторные исследования	+		
Экспериментальные исследования	+		
Эпидемиологические исследования	+		
Клинико-физиологические или лабораторные данные или экспериментальные данные или приведенные в специальной литературе		+	

— биологический возраст в сравнении с паспортом;

— нарушение репродуктивного здоровья и здоровья потомства;

— смертность, сокращение продолжительности жизни в сравнении со среднестатистическим значением, инвалидность и т. п.

Степень причинно-следственной связи нарушения здоровья (возникновение ущербов и рисков) с показателями отклонения определяют по данным эпидемиологических исследований, рассчитывая относительный риск  $RR$  и этиологическую долю  $EF$ .

Степень доказанности такой связи при выбранных для косвенной оценки показателей отклонения стандарт классифицирует по категориям (соответствующий пример представлен в таблице).

В справочном приложении А стандарта представлены показатели рисков, применяемые при использовании прямых методов оценки.

Следует отметить, что показатель, именуемый в стандарте индексом травматизма, в действующих подзаконных нормативных актах фигурирует как коэффициент частоты травматизма.

В обязательном приложении Б подробно комментируется порядок определения рисков в организации (на рабочем месте), включающий в себя следующие этапы:

- выявление (идентификация) опасностей, определение их возможных проявлений и последствий, выбор показателя ущерба;



— определение вероятности (частоты) наступления ущерба;

— оценка (расчет) риска.

Там же приведен пример расчета рисков.

В справочном приложении В даются разъяснения по применению косвенного метода оценки рисков на основе определения классов условий труда согласно Р 2.2.2006—05 "Руководства по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда".

В справочном приложении Г дается комментарий по применению косвенного метода оценки рисков на основе ранжирования уровня требований. Отмечается, что в основе данного метода лежит предположение, что выполнение в полном объеме нормативных требований, например по охране труда, не причиняет ущерба здоровью и жизни работника. В этом случае риски минимальны. Чем выше доля невыполненных требований, тем выше риски.

Поскольку требования, как правило, влияют на риски по-разному, то стандарт делит их на группы. Например, государственные нормативные требования охраны труда относят к группе обязательных требований. Требования, не входящие с правовой точки зрения в группу обязательных, но, фактически, признаваемые таковыми в силу их объективной важности, относят к группе важных. Рекомендации, не являющиеся обязательными, но применение которых желательно для улучшения условий труда, относят к группе рекомендуемых.

Если количество важных и рекомендуемых требований обозначить как  $n_{ов}$  и  $n_{ор}$ , а количество выполненных в полном объеме обязательных, важных и ре-

комендуемых требований обозначить как  $n_{во}$ ,  $n_{вв}$ ,  $n_{вр}$ , соответственно, то индекс безопасности  $U_{овр}$  — отношение количества требований, которые выполнены, к общему количеству показателей с учетом их весовых коэффициентов, рассчитывается по формуле:

$$U_{овр} = \frac{K_1 n_{во} + K_2 n_{вв} + K_3 n_{вр}}{K_1 n_{оо} + K_2 n_{ов} + K_3 n_{ор}} 100 \%, \quad (5)$$

где  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  — весовые коэффициенты, присваиваемые каждой группе требований (количество групп и весовые коэффициенты выбирают по усмотрению экспертов);  $n_{оо}$  — общее количество требований.

В заключение отмечается, что связь индекса  $U_{овр}$  с прямыми показателями риска здоровью и жизни работника осуществляется с помощью функции преобразования.

Представляется, что введение ГОСТ 12.0.010—2009 ССБТ "Системы управления охраной труда. Определение опасностей и оценка рисков" будет способствовать совершенствованию управления охраной труда в организациях не только благодаря введению нового принципа управления, но и ввиду связанной с этим очевидной необходимостью усиления служб охраны труда и техники безопасности специалистами по оценке рисков и ущербов.

*Э. П. Пышкина,  
канд. техн. наук, проф.,  
Е. Н. Симакова,  
канд. пед. наук, ст. препод.,  
МГТУ им. Н. Э. Баумана  
E-mail: s\_marusya@mail.ru*

## Внимание!

**Срок предоставления статей для участия в Международной заочной конференции "Проблемы безопасности XXI века" продлевается до конца 2012 г.**

### Учредитель ООО "Издательство "Новые технологии""

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

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

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

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

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Т. В. Зверева*

Сдано в набор 11.11.11. Подписано в печать 22.12.11. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Заказ ВГ112.

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 "Авансд солшнз".

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