



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

6(102)  
2009

**Редакционный совет:**

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

**Главный редактор**

РУСАК О. Н.

**Зам. главного редактора**

ПОЧТАРЕВА А. В.

**Ответственный секретарь**

ПРОНИН И. С.

**Редакционная коллегия:**

ГЕНДЕЛЬ Г. Л.  
ГРУНИЧЕВ Н. С.  
ИВАНОВ Н. И.  
КАЛЕДИНА Н. О.  
КАРНАУХ Н. Н.  
КАРТАШОВ С. В.  
КАЧАНОВ С. А.  
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.  
КСЕНОФОНТОВ Б. С.  
КУКУШКИН Ю. А.  
МАСТРЮКОВ Б. С.  
МЕДВЕДЕВ В. Т.  
ПАНАРИН В. М.  
ПОЛАНДОВ Ю. Х.  
ПОПОВ В. М.  
СИДОРОВ А. И.  
ТОПОЛЬСКИЙ Н. Г.  
ФРИДЛАНД С. В.  
ХАБАРОВА Е. И.  
ЦХАДАЯ Н. Д.  
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОХРАНА ТРУДА

Яковлева Е. В., Польшакова Н. В. Анализ производственного травматизма и улучшение условий труда на основе использования оценочных показателей уровня безопасности . . . 2

### ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Афанасьева А. А., Назаренко Д. И., Швецова-Шиловская Т. Н., Полехина О. В., Викентьева М. А. Оценка риска для здоровья населения г. Камбарки Удмуртской республики при воздействии загрязняющих веществ . . . 6  
Ким И. Н., Ткаченко Т. И. Анализ современных методов мойки и дезинфекции рыбоперерабатывающих производств . . . 9

### ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Кичигин О. В., Басаргин Н. Н., Носова О. А., Егоров В. Г. Контроль содержания урана и тория в контурных водах и водоеме-охладителе атомных станций . . . 13  
Минаев Д. А. Повышение промышленной безопасности на компрессорных станциях магистральных газопроводов. . . 17

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Афанасьев О. М., Панин А. В. Снижение экологических рисков производственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта путем внедрения технологии переработки образующихся жидких нефтесодержащих отходов . . . 22  
Вавилов В. И. Эффективное сжигание низкосортных углей на двухъярусной топке . . . 29  
Красногорская Н. Н., Богатых К. Ф., Елизарьев А. Н., Ахтямов Р. Г., Сапожникова А. К. Оценка экологической опасности "больших дыханий" резервуаров автозаправочных станций крупного города . . . 34

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Алита С. Л. Способ определения скорости инфильтрации дождевой воды в почву . . . 39  
Долгова М. А., Галеев А. Д., Поникаров С. И. Моделирование процесса испарения жидкости с поверхности аварийного пролива . . . 45  
Пушкин Д. С. Энергетические потери в пожарных напорных рукавах. . . 48

### ОБРАЗОВАНИЕ

Кафидов В. В., Орлова О. Н. Повышение квалификации руководящего звена специалистов государственной противопожарной службы МЧС России. . . 51

### ИНФОРМАЦИЯ

О мерах по использованию попутных нефтяных газов (сообщение Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, представленное Управлением по связям с общественностью и взаимодействию со СМИ) . . 54  
Парламентские слушания в Государственной Думе РФ по проблемам отходов производства и потребления . . . 55

**Приложение.** Защита от опасных метеорологических явлений.

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 в базу данных Российского индекса научного цитирования.

УДК 331.46:65.012.12(470.390)

**Е. В. Яковлева**, канд. сельхоз. наук, **Н. В. Польшакова**, канд. экон. наук, доц.,  
Орел ГАУ,  
e-mail: PolshakovaNV@yandex.ru

## Анализ производственного травматизма и улучшение условий труда на основе использования оценочных показателей уровня безопасности

*Анализ положения в сфере охраны труда, уровень травматизма в РФ в период с 1992—2007 гг., системы управления профессиональными рисками, оценка состояния уровня охраны труда.*

**Ключевые слова:** коэффициент травматизма, коэффициент безопасности, коэффициент выполнения плановых работ по охране труда.

**Yakovleva E. V., Polshakova N. V. Analysis of industrial accidents and improvement of conditions of work on the basis of estimation indices of the level of security**

*Analysis of the labour protection conditions, the index of industrial accidents in the Russian Federation in 1992—2007, systems of industrial risks management, the estimate of the labour protection system.*

**Keywords:** injury factor, factor of fulfillment of planned work of providing safety at work.

В условиях становления рыночной экономики и социальной нестабильности обостряется проблема соблюдения прав работников на нормальные условия и охрану труда. Охрана жизни и здоровья работников — первостепенная задача и государства, и работодателя по отношению к результатам трудовой деятельности, что является общечеловеческим, отвечающим Всеобщей декларации прав и свобод человека, принципом повышения благосостояния населения на основе динамичного и устойчивого экономического роста и повышения конкурентоспособности страны. Решение этой задачи под силу только людям, профессиональный уровень которых отвечает современным квалификационным требованиям, а совокупность их физических, умственных и эмоциональных возможностей позволяет им выполнять работу определенного объема и качества в течение установленной продолжительности рабочего времени без ущерба своему здоровью, т. е. при осуществлении надежной охраны их труда. Возникла необходимость в новых подходах к формированию человеческого капитала, в том числе необходимость в совершенствовании правового механизма охраны здоровья работающего населения с учетом перспектив развития общества.

Сведения о нарушении обязательных требований в отношении продукции и связанных с требованиями к ней процессами, которые явились причиной возникновения несчастного случая, инцидента, аварии, — одна из составляющих информационных систем учета несчастных случаев. Иногда они служат основанием возмещения вреда. Поэтому организация и анализ случаев причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов может быть встроена в существующую систему учета как одно из его направлений. Данное обстоятельство позволит, не разрушая действующую систему, скорректировать ее и предусмотреть лишь дополнительное звено — отдельный раздел учета, касающийся случаев нарушения требований технических регламентов.

Учет и анализ случаев нарушения обязательных требований не является самоцелью. На основе учета и анализа должны разрабатываться предложения по корректировке требований технических регламентов; оперативно извещаться потребители о представляющей опасность продукции; выявляться объекты, в отношении которых не установлены обязательные требования, но факты причинения вреда такими объектами фиксировались уполномоченными органами. В связи с этим необходимо включать указанные полномочия в положения об органах исполнительной власти, осуществляющих учет и анализ случаев нарушения обязательных требований.

Негативное состояние безопасности в Российской Федерации делает проблему обеспечения безопасности человека чрезвычайно актуальной. Процесс перехода от планово-административной экономики к рыночной существенно влияет на состояние производственного травматизма, профзаболеваний, уровень которых, несмотря на наметившуюся тенденцию к снижению, остается высоким по сравнению с экономически развитыми странами. Невозможно исключить полностью воздействие неблагоприятных факторов на работающего даже там, где применяются передовые технологии, новейшее оборудование, строго соблюдаются нормы и требования по охране труда.

К сожалению, следует признать, что и руководители вновь создаваемых предприятий, как правило, не владеют соответствующими знаниями, опытом



### Уровень травматизма на производстве в РФ

| Категории пострадавших                                                                       | Годы |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                              | 1992 | 1995 | 2000 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
| Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве, тыс. чел.                   | 364  | 271  | 152  | 128  | 107  | 88   | 78   | 71   | 66   |
| Численность пострадавших при несчастных случаях на производстве со смертельным исходом, чел. | 7655 | 6789 | 4404 | 3920 | 3538 | 3292 | 3091 | 2900 | 2985 |

по вопросам обеспечения здоровых и безопасных условий для труда персонала. Поэтому так велика доля рабочих мест, не отвечающих гигиеническим нормативам по уровню шума, вибрации, микроклимату, освещенности.

Халатное отношение работодателей к требованиям охраны труда связано с декларативным характером большинства существующих норм трудового права.

Например, законодательство Российской Федерации устанавливает права работников на безопасные условия труда и обязанность работодателя их обеспечивать, а также предусматривает дисциплинарную, гражданско-правовую, административную и уголовную ответственность работодателя за нарушение требований охраны труда.

Вместе с тем, административный ресурс контроля и надзора за исполнением указанных норм трудового права фактически исчерпан: численность государственных инспекторов по охране труда позволяет обеспечить проведение плановых профилактических мероприятий по предупреждению страховых случаев в расчете на организацию не чаще, чем один раз в 32 года. При этом, даже несмотря на это, в результате проверок выявляется порядка 1,5 млн правонарушений в сфере охраны труда.

Проблема охраны труда в большинстве отраслей народного хозяйства остается по-прежнему актуальной и острой. По данным Федеральной службы статистики потери рабочего времени от несчастных случаев на производстве составили на конец 2007 г. 2 млн человеко-дней, коэффициент частоты производственного травматизма со смертельным исходом в расчете на 1000 работающих в 2—2,5 раза превышает соответствующие показатели в США и странах Евросоюза.

По экспертным оценкам ежегодно в стране около 190 тыс. человек умирают от последствий воздействия вредных и опасных производственных факторов, что в 6 раз больше числа погибающих за год при дорожно-транспортных происшествиях. Так, например, в прошлом году в Орловской области на производстве погибли 39 человек, тяжелые травмы и увечья получили 77 человек, легкие травмы по неполным данным — 1200 человек. Материальный ущерб от этих бед оценивается в 80 млн руб., а вот моральный ущерб вряд ли кто-то возьмется подсчитать: это и невосполнимая потеря близкого человека, и инвалидность, которая уже не позволяет

вести привычный образ жизни. Средний возраст пострадавших 43 года, стаж работы более 15 лет.

Статистика показала, что наибольший риск — у инженерно-технических работников и строителей. Среди основных причин травматизма — неудовлетворительная организация производства работ и пренебрежение мерами безопасности людей на опасных производствах. Чтобы заставить работодателей более внимательно относиться к проблеме безопасности труда, государственная инспекция труда решила не ограничиваться только штрафами, а ввести практику дисквалификации должностных лиц. По крайней мере, тот руководитель, который в течение года будет подвергнут за нарушение безопасности труда повторному штрафу, должен быть готов к дисквалификации от года до трех лет.

В Орловской области уже существует целевая программа улучшения условий труда. Так за 2006—2007 гг. на мероприятия по охране труда в соответствии с программой израсходовано свыше 130 млн руб. из средств предприятий и организаций, что в 1,8 раза больше запланированного. Но несмотря на принимаемые меры в области улучшения условий труда и повышения безопасности технологических процессов, на ряде предприятий они остаются неудовлетворительными, что является основной причиной высокого уровня производственного травматизма, в том числе с тяжелыми последствиями.

Так, например, в 2007 г. численность пострадавших со смертельным исходом составила 4,5 % (см. таблицу).

Традиционно наиболее высокий уровень производственного травматизма со смертельным исходом наблюдается в сельском хозяйстве, строительстве, пищевой промышленности (рис. 1).

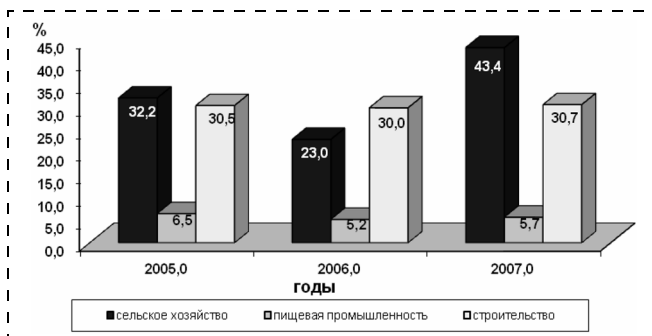


Рис. 1. Динамика производственного травматизма со смертельным исходом в Орловской области



Таким образом, на уровень травматизма работников той или иной профессии оказывают непосредственное влияние прежде всего такие составляющие факторы профессионального риска, как вид работ и источники травмирования, организация трудового процесса, профессиональная подготовка и обучение охране труда, а также их психофизиологическое состояние в момент травмирования.

Коэффициент тяжести травматизма  $K_T$  — это средняя тяжесть одного случая травматизма, выражающаяся в днях нетрудоспособности у пострадавших, за определенный (отчетный) период времени. Он рассчитывается как отношение общего количества дней временной нетрудоспособности у пострадавших от несчастных случаев с потерей трудоспособности на один и более дней за отчетный период времени  $D$  к общему количеству таких несчастных случаев за тот же период времени  $T$

$$K_T = D/T.$$

Среднее число травм (несчастных случаев), приходящееся на 1000 работающих, за определенный (отчетный) период времени (чаще всего — за год) определяется коэффициентом частоты травматизма —

$$K_q = T \times 1000/P,$$

где  $P$  — среднесписочная численность работающих за отчетный период.

Анализируя причины заболеваемости в отрасли сельского хозяйства Российской Федерации, можно сделать вывод, что до 40 % заболеваний, без учета производственно обусловленной заболеваемости так или иначе связаны с неудовлетворительными условиями труда (рис. 2).

Уклонение работодателей от выполнения своих обязанностей по созданию условий труда, соответствующих требованиям безопасности и гигиены, приводит к значительному росту профессиональных заболеваний на производстве.

По данным РАМН, в настоящее время только 1/5 часть всех производств отвечает санитарным нормам. В Российской Федерации в результате ненадлежащих условий труда происходит до 40 % трудопотерь по болезням. Размеры беды от таких

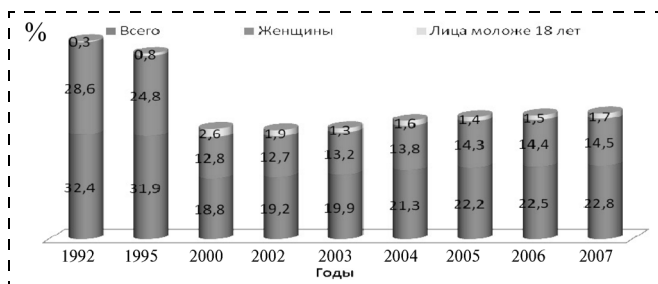


Рис. 2. Удельный вес работников отдельных категорий, занятых в условиях, не соответствующих санитарно-гигиеническим нормам (в процентах к списочной численности работников соответствующей категории в РФ)

условий труда уходят на задний план еще и потому, что работники все реже обращаются за медицинской помощью. Это значит, что они не меньше болеют, а боятся потерять работу. До сих пор нет настоящего спроса с работодателей за условия, в которых трудятся люди. За несвоевременную, некачественную поставку продукции спросить могут строго, а за то, что изготовитель этой самой продукции становится инвалидом в тридцать лет, за то, что женщины не могут родить здорового ребенка, должного государственного спроса пока нет.

С конца 1980-х годов наблюдается устойчивый рост смертности мужчин и женщин в трудоспособном возрасте. Самый высокий темп прироста смертности у мужчин в возрасте 25—50 лет, у женщин — 25—40 лет. Продолжительность жизни населения в России на 12 лет меньше, чем в США; на 8 лет меньше, чем в Польше, и на 5 лет меньше, чем в Китае.

Несмотря на это, опасные условия труда в ряде отраслей производства отрицательно сказываются на престиже ряда профессий и специальностей, что, несомненно, ведет к дефициту кадров. Такое положение дел ставит перед фактом применения практических мер, которые позволили бы снизить процесс влияния условий труда на возрастающий дефицит квалифицированных кадров.

Как отмечает в своих трудах проф. Н. П. Пашин, необходимо создание системы управления профессиональными рисками, в основе которой лежат механизмы комплексной оценки профессионального риска по состоянию факторов производственной среды, трудового процесса, медицинских показаний нарушения здоровья работников (включая ранние формы выявления) и утраты профессиональной трудоспособности.

Создание такой системы требует:

- проведения по специальной программе общероссийского мониторинга условий и охраны труда с целью объективной оценки их состояния в организациях по субъектам РФ;

- формирования на основе результатов мониторинга условий и охраны труда единого банка данных (реестра) их соответствия (несоответствия) государственным нормативным требованиям охраны труда;

- формирования единой базы данных о производственном травматизме и профессиональных заболеваниях в организациях по субъектам РФ и в целом по России;

- проведения всеобщей паспортизации здоровья работающего населения (паспорт здоровья);

- разработки и внедрения общероссийских классификаторов травмирующих факторов, видов (типов) и характерных причин несчастных случаев для соответствующих производств в целях проведения углубленного анализа этих причин, объективной оценки опасностей и выявления неприемлемых профессиональных рисков.

Комплексный план улучшения условий труда и санитарно-оздоровительных мероприятий (соглашение по социальным вопросам и охране труда) разрабатывают на основе номенклатуры мероприятий по охране труда. Она определяет организационно-технические и санитарно-оздоровительные мероприятия, осуществляемые в плановом порядке для улучшения условий труда, предупреждения травматизма и заболеваний, санитарно-бытового обеспечения работающих на производстве.

Финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда в стране осуществляется в рамках федеральных, отраслевых и территориальных целевых программ улучшения условий и охраны труда за счет средств федерального бюджета и бюджета субъектов РФ, а также местных бюджетов, внебюджетных источников в порядке, предусмотренном законодательством РФ, законодательством субъектов РФ и нормативными правовыми актами представительных органов местного самоуправления. Финансирование мероприятий по улучшению условий труда и его охраны осуществляется также за счет средств от штрафов, взыскиваемых за нарушение законодательства РФ о труде и охране труда, распределяемых в порядке, установленном Правительством РФ; добровольных взносов организаций и физических лиц.

Финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда в организациях независимо от их организационно-правовых форм (за исключением федеральных казенных предприятий и федеральных учреждений) осуществляется в размере не менее 0,1 % от суммы затрат на производство продукции, работ, услуг, а в организациях, занимающихся эксплуатацией, — в размере 0,7 % от суммы эксплуатационных расходов. В отраслях экономики, субъектах РФ, на территориях, а также в организациях могут создаваться фонды охраны труда в соответствии с законодательством РФ и субъектов РФ. Работник не несет расходов на финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда. В настоящее время исполнение Программы "Здоровье работающего населения России на 2004—2015 годы" даст возможность существенно снизить уровень профессиональных заболеваний, а также привести большинство рабочих мест в соответствие с требованиями охраны труда.

Оценку состояния охраны труда на производственных участках проводят по значению обобщенного коэффициента уровня охраны труда

$$K_{о.т} = \frac{K_{с.п} + K_6 + K_{в.п.р}}{3},$$

где  $K_{с.п}$  — коэффициент уровня соблюдения правил охраны труда работающими;  $K_6$  — коэффициент безопасности;  $K_{в.п.р}$  — коэффициент выполнения

плановых работ по охране труда. Коэффициент уровня соблюдения правил охраны труда работающими

$$K_{с.п} = P_c / P_o,$$

где  $P_c$  — число работающих с соблюдением правил;  $P_o$  — общее число работающих.

Например, для определения  $K_{с.п}$  сельскохозяйственных предприятий вводят карту уровня соблюдения требований охраны труда для участков, бригад, цехов на каждый месяц. К карте можно прикладывать расшифровку нарушений правил безопасности. Ее данные следует учитывать при подведении итогов хозяйственной деятельности как в целом по предприятию, так и по коллективам отдельных производственных подразделений.

Коэффициент безопасности  $K_6$  единицы оборудования определяется отношением числа показателей (требований) безопасности, соответствующих нормативно-технической документации по безопасности труда  $T_6$ , к общему числу показателей (требований) безопасности, относящихся к данному оборудованию  $T_o$

$$K_6 = T_6 / T_o.$$

Рекомендуется вводить также коэффициент безопасности оборудования на участках, в цехах и на фермах.

Что касается коэффициента выполнения плановых работ по охране труда  $K_{в.п.р}$ , то он определяется соотношением фактически выполненных  $B$  и предусмотренных  $П$  на данный период мероприятий:

$$K_{в.п.р} = B / П.$$

Для этого необходимо проанализировать планы работ, мероприятия, предусмотренные договором или соглашением, приказы и распоряжения по хозяйству, акты формы Н-1 по несчастным случаям на производстве, предписания органов госнадзора и госинспекции по охране труда, материалы обследования службы охраны труда и постоянной комиссии профкома (или комиссии, созданной на предприятии на паритетной основе, т. е. при равном числе членов комиссии от администрации и трудового коллектива, профсоюзной организации).

Таким образом, постоянная, планомерная работа по проведению государственной политики в области охраны труда и обеспечения безопасности работающих, реализация научно обоснованных направлений улучшения условий труда позволит осуществить принятие соответствующих решений и действий по защите здоровья и жизни работающих.

#### Список литературы

1. Пашин Н. П. Приоритетные направления реформирования системы государственного управления охраной труда в РФ // Аналитический вестник Совета Федерации ФС РФ. — 2007. — № 5 (322).
2. Володин Н. А., Анисимов В. М. Социальные приоритеты региона. — М.: Экономика, 2006. — 350 с.
3. Раздорожный А. А. Охрана труда и производственная безопасность. — М.: Экзамен, 2007. — 510 с.

УДК 658.382.3

А. А. Афанасьева, Д. И. Назаренко, Т. Н. Швецова-Шиловская, д-р техн. наук,  
О. В. Полехина, канд. техн. наук, М. А. Викентьева,  
ГосНИИОХТ, Москва,  
e-mail: th56@narod.ru

## Оценка риска для здоровья населения г. Камбарки Удмуртской республики при воздействии загрязняющих веществ

*В соответствии с нормативно-методическими документами по оценке риска для здоровья было проведено исследование состояния и оценка уровня воздействия на население загрязняющих веществ на территории г. Камбарки Удмуртской республики.*

**Ключевые слова:** оценка риска, канцерогенный риск, органы-мишени, причинно-следственные связи, оценка состояния здоровья человека, окружающая природная среда.

**Afanas'eva A. A., Nazarenko D. I., Shezova-Shilovskaya T. N., Polekhina O. V., Vikent'eva M. A. Estimation of risk for health of the population Kambarka of the Udmurtskaya republic at influence of polluting substances**

*According to regulation documents according to risk for health research of a condition and an estimation of a level of influence on the population of polluting substances in territory of Kambarka of the Udmurtskaya republic have been carried out.*

**Keywords:** an estimation of risk, cancerogenic risk, bodies-targets, relationships of cause and effect, an estimation of a state of health of the person, a surrounding environment.

В настоящее время одной из актуальных задач современной науки является выявление причинно-следственных связей между загрязнением окружающей среды химическими веществами и возможными изменениями состояния здоровья человека. В мировой практике в течение последних десятилетий для решения этой задачи активно используется ме-

тодология оценки риска воздействия вредных факторов окружающей среды на здоровье населения.

В соответствии с нормативно-методическими документами по оценке риска для здоровья [1—4] было проведено исследование состояния окружающей среды и оценка уровня воздействия на население загрязняющих веществ на территории Камбарского района Удмуртской республики.

Определены основные промышленные объекты, которые могут оказывать неблагоприятное воздействие на окружающую среду, в данном районе: Камбарский машиностроительный завод (КМЗ), завод газового оборудования (ЗГО), завод "Металлист", фабрика "Корд", автотранспортное предприятие, асфальтобетонные заводы № 1 и № 2, нефтебаза, войсковая часть 35776, котельные разных предприятий [5]. Для каждого промышленного предприятия оценивался качественный и количественный состав выбросов и был составлен полный перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых предприятиями.

После составления полного списка веществ были выбраны приоритетные вещества, изучение которых позволяет с достаточной надежностью охарактеризовать уровни риска нарушений состояния здоровья населения и источники его возникновения. В качестве приоритетных веществ были выбраны следующие канцерогенные вещества: бензол, бенз(а)пирен, бутанол, свинец, хромовый ангидрид, мышьяк.

В табл. 1 представлены данные по выбросам предприятий, являющихся источниками выбросов бензола, бенз(а)пирена, бутанола, свинца, хромового ангидрида и суммарные выбросы этих веществ в атмосферу [5].

На следующем этапе был выполнен сбор данных экологического мониторинга — концентраций при-

Таблица 1

Канцерогенные вещества, выбрасываемые в атмосферу предприятиями г. Камбарки и Камбарского района

| Канцерогенные вещества | Выброс газов, г/с/т/год, по источникам |                                           |                                          |                                         |            | Суммарный выброс веществ, г/с/т/год       |
|------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------|------------|-------------------------------------------|
|                        | ЗГО                                    | КМЗ                                       | Завод "Металлист"                        | В/ч 35776                               | Нефтебаза  |                                           |
| Бензол                 | 0,15/1,81                              | —                                         | —                                        | —                                       | 0,84/31,92 | 0,99/33,73                                |
| Бенз(а)пирен           | —                                      | $2,10 \cdot 10^{-7}/2,88 \cdot 10^{-6}$   | —                                        | —                                       | —          | $2,10 \cdot 10^{-7}/2,88 \cdot 10^{-6}$   |
| Бутанол                | —                                      | $9,30 \cdot 10^{-2}/6,00 \cdot 10^{-1}$   | —                                        | —                                       | —          | $9,30 \cdot 10^{-2}/6,00 \cdot 10^{-1}$   |
| Свинец                 | —                                      | $0,34 \cdot 10^{-5}/3,00 \cdot 10^{-5}$   | $2,50 \cdot 10^{-5}/19,00 \cdot 10^{-5}$ | —                                       | —          | $2,84 \cdot 10^{-5}/2,20 \cdot 10^{-4}$   |
| Хромовый ангидрид      | —                                      | $16,00 \cdot 10^{-4}/13,00 \cdot 10^{-3}$ | —                                        | $0,50 \cdot 10^{-4}/0,10 \cdot 10^{-3}$ | —          | $16,50 \cdot 10^{-4}/13,10 \cdot 10^{-3}$ |

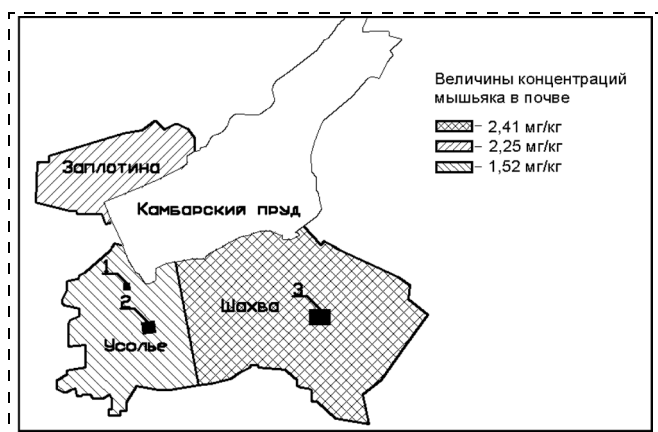


Рис. 1. Концентрации мышьяка в почве г. Камбарки: 1 — КМЗ; 2 — завод "Металлист"; 3 — ЗГО

оритетных веществ в атмосферном воздухе, питьевой воде и почве.

На основании анализа литературных данных [5, 6] была собрана информация о содержании мышьяка в окружающей природной среде г. Камбарки. Изучаемый район был разделен на следующие территориальные участки: Заплотина, Усолье, Шахва. На рис. 1 представлено поле концентраций мышьяка в почве селитебной территории г. Камбарки [5], а также расположение основных промышленных предприятий данного района. Как известно, предельно допустимая концентрация мышьяка в почве составляет 2,0 мг/кг [7]. Таким образом, в данном районе наблюдается повышенное загрязнение почвы мышьяком: практически в двух зонах из трех, показанных на рис. 1, содержание мышьяка в почве выше допустимого норматива.

Поскольку для некоторых приоритетных веществ: бензола, бенз(а)пирена, бутанола, свинца отсутствуют данные экологического мониторинга, значения их концентраций в природных средах были получены расчетным путем на основании валовых выбросов. Для описания трансформации и миграции этих загрязнителей была использована много-средовая модель Маккея II уровня, поскольку она не требует большого числа данных и дает, как показано в ряде работ [8—11], хорошие прогностиче-

ские оценки концентраций загрязнителя в компонентах окружающей среды. Однако данная модель непригодна для описания распространения в окружающей среде металлов. Поэтому для прогноза распространения хромового ангидрида использовалась модель TAME (The Terrestrial-Aquatic Model of the Environment) [12]. Данная модель позволяет рассчитывать концентрации химических веществ в природных средах, таких как почва, грунтовые и поверхностные воды.

Расчетные значения концентраций бензола, бенз(а)пирена, бутанола, хромового ангидрида представлены в табл. 2. Также в данной таблице показаны значения концентраций свинца и хромового ангидрида, полученные в результате лабораторных исследований [6]. В соответствии с работами [5, 6] содержания мышьяка и соединений тяжелых металлов в воздухе не обнаружено.

Основным источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения населения г. Камбарки является Камбарский пруд. Источники водоснабжения (как поверхностный, так и в большей части подземные) не имеют зон санитарной охраны. До 1991 г. вода из Камбарского пруда подавалась потребителям без очистки. Очистные сооружения в г. Камбарке построены и введены в действие недавно.

Результаты исследования воды Камбарского пруда на содержание канцерогенных веществ в точках водозабора представлены в табл. 2. Из таблицы видно, что концентрации мышьяка, хромового ангидрида и свинца в воде превышают значения ПДК.

Как известно, каждый канцероген воздействует на определенные органы/системы организма, которые являются наиболее чувствительными к действию наименьших из концентраций данного вещества [1]. Информация о воздействии выбранных канцерогенов на организм человека представлена в табл. 3, в которой показано на какие именно органы или системы влияет тот или иной канцероген [1, 15].

Таким образом, приоритетные канцерогены в основном могут вызывать заболевания легких и кровеносной системы, что подтверждается статистическими данными по заболеваемости в данном районе [16].

Таблица 2

Концентрации канцерогенных веществ в природных средах

| Канцерогенные вещества | Концентрация в воздухе, мг/м <sup>3</sup> | ПДК <sub>сс</sub> , мг/м <sup>3</sup> [13] | Концентрация в воде, мг/л | ПДК <sub>нх</sub> , мг/л [14] | Концентрация в почве, мг/кг | ПДК <sub>п</sub> , мг/кг [7] |
|------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Бензол                 | $1,27 \cdot 10^{-3*}$                     | $1,00 \cdot 10^{-1}$                       | $5,68 \cdot 10^{-6*}$     | $1,00 \cdot 10^{-2}$          | $5,64 \cdot 10^{-6*}$       | —                            |
| Бенз(а)пирен           | $8,76 \cdot 10^{-10*}$                    | $1,00 \cdot 10^{-6}$                       | $3,10 \cdot 10^{-10*}$    | $1,00 \cdot 10^{-6}$          | $1,03 \cdot 10^{-8*}$       | $3,00 \cdot 10^3$            |
| Бутанол                | $1,44 \cdot 10^{-5*}$                     | $1,00 \cdot 10^{-1}$                       | $3,95 \cdot 10^{-7*}$     | $1,00 \cdot 10^{-1}$          | $1,97 \cdot 10^{-7*}$       | —                            |
| Мышьяк                 | —                                         | $3,00 \cdot 10^{-3}$                       | $2,00 \cdot 10^{-2}$      | $1,00 \cdot 10^{-2}$          | 1,52—2,41                   | 2,00                         |
| Хромовый ангидрид      | —                                         | $1,50 \cdot 10^{-3}$                       | $4,50 \cdot 10^{-1}$      | $5,00 \cdot 10^{-2}$          | $3,30 \cdot 10^{-1*}$       | 6,00                         |
| Свинец                 | —                                         | $3,00 \cdot 10^{-2}$                       | $3,00 \cdot 10^{-2}$      | $1,00 \cdot 10^{-2}$          | 48,20                       | 32,00                        |

\* Расчетные значения концентраций.



Органы-мишени при воздействии канцерогенных веществ на организм человека

| Канцерогенные вещества                                       | Критические органы/системы                                                                      |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Мышьяк и его соединения<br>Бензол<br>Бенз(а)пирен<br>Бутанол | Легкие, кожа<br>Кровотворная система<br>Кожа, легкие<br>Нервная система, кровеносная система    |
| Хром шестивалентный и его соединения<br>Свинец               | Легкие, полость носа<br>Центральная нервная система (ЦНС), нервная система, кровеносная система |

Суммарные среднесуточные дозы канцерогенных веществ, мг/кг · день

| Вещество          | Путь поступления      |                       |                       |                       |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                   | Ингаляционный         | Пероральный           | Накожный              | Суммарно              |
| Мышьяк            | $1,9 \cdot 10^{-10}$  | $2,50 \cdot 10^{-4}$  | $2,20 \cdot 10^{-6}$  | $2,50 \cdot 10^{-4}$  |
| Бензол            | $1,67 \cdot 10^{-4}$  | $6,98 \cdot 10^{-8}$  | $2,11 \cdot 10^{-8}$  | $1,65 \cdot 10^{-4}$  |
| Бенз(а)пирен      | $1,15 \cdot 10^{-10}$ | $3,69 \cdot 10^{-12}$ | $8,46 \cdot 10^{-10}$ | $1,14 \cdot 10^{-10}$ |
| Бутанол           | $1,91 \cdot 10^{-6}$  | $4,85 \cdot 10^{-9}$  | $9,67 \cdot 10^{-11}$ | $1,91 \cdot 10^{-6}$  |
| Свинец            | $4,47 \cdot 10^{-9}$  | $3,68 \cdot 10^{-4}$  | $4,37 \cdot 10^{-6}$  | $3,68 \cdot 10^{-4}$  |
| Хромовый ангидрид | $2,90 \cdot 10^{-12}$ | $5,53 \cdot 10^{-3}$  | $6,12 \cdot 10^{-4}$  | $5,53 \cdot 10^{-3}$  |

Индивидуальные канцерогенные риски, связанные с воздействием химических веществ

| Вещество     | Индивидуальные канцерогенные риски |                       | Суммарный риск        | Вклад вещества в суммарный риск, % |
|--------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|
|              | Ингаляционный                      | Пероральный           |                       |                                    |
| Мышьяк       | $2,90 \cdot 10^{-10}$              | $3,80 \cdot 10^{-4}$  | $3,80 \cdot 10^{-4}$  | 14,14                              |
| Бензол       | $4,50 \cdot 10^{-6}$               | $3,80 \cdot 10^{-9}$  | $4,50 \cdot 10^{-6}$  | $1,70 \cdot 10^{-1}$               |
| Бенз(а)пирен | $3,50 \cdot 10^{-10}$              | $2,70 \cdot 10^{-11}$ | $3,50 \cdot 10^{-10}$ | $1,00 \cdot 10^{-5}$               |
| Бутанол      | —                                  | $1,50 \cdot 10^{-11}$ | $1,50 \cdot 10^{-11}$ | $5,00 \cdot 10^{-7}$               |
| Свинец       | $1,90 \cdot 10^{-10}$              | $3,10 \cdot 10^{-6}$  | $3,10 \cdot 10^{-6}$  | 0,3                                |
| Хром (IV)    | $1,20 \cdot 10^{-10}$              | $2,30 \cdot 10^{-3}$  | $2,30 \cdot 10^{-3}$  | 85,58                              |

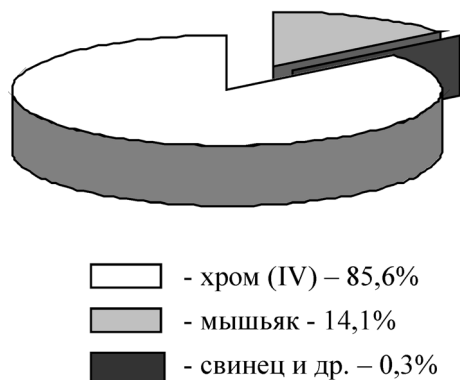


Рис. 2. Диаграмма, отражающая вклад каждого из канцерогенных веществ в суммарный канцерогенный риск

Таблица 3

Таблица 4

Таблица 5

Расчет среднесуточных доз канцерогенных веществ, присутствующих в окружающей среде г. Камбарки, осуществлялся с помощью разработанного программного обеспечения. Расчет проводился для случая многосредового воздействия веществ, поступающих в организм из различных сред и разными путями, в соответствии с методикой, разработанной в ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН [1—4].

В табл. 4 представлены суммарные среднесуточные дозы канцерогенных веществ, поступающие в организм человека ингаляционно, перорально и накожно из воздуха, воды и почвы. Из таблицы видно, что основное воздействие на население оказывает хромовый ангидрид, среднесуточная доза которого составляет  $5,53 \cdot 10^{-3}$  мг/кг · день.

Для выявления причинно-следственных связей между загрязнением окружающей среды химическими веществами и возможными изменениями состояния здоровья человека использовалась методология оценки риска, разработанная в ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН и рекомендованная к применению главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко [1—4].

Расчет общего риска (CR) для канцерогенных химических веществ в соответствии с методикой проводился путем умножения фактора канцерогенного потенциала (канцерогенного фактора наклона зависимости доза-эффект-SF (мг/кг · день<sup>-1</sup>) на среднесуточную дозу в течение жизни (LADD), мг/(кг · день):

$$CR = LADD \cdot SF.$$

Канцерогенные риски, рассчитанные по приведенной выше формуле, представлены в табл. 5.

Вклад каждого из канцерогенных веществ в суммарный канцерогенный риск показан на диаграмме, представленной на рис. 2.

Выполненные исследования показали, что канцерогенный риск на территории г. Камбарки Удмуртской республики обусловлен главным образом хромовым ангидридом, лимитирующий вклад которого в суммарный канцерогенный риск составляет 85,6 %.

#### Список литературы

- Онищенко Г. Г., Новиков С. М., Рахманин Ю. А., Авалиани С. Л., Буштуева К. А. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Под ред. Ю. А. Рахманина, Г. Г. Онищенко. — М.: НИИ ЭЧ и ГОС, 2002. — 408 с.
- Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. — 143 с.
- Методические рекомендации. Применение факторов канцерогенного потенциала при оценке риска воздействия химических веществ. — М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А. Н. Сысина РАМН, ММА имени И. М. Сеченова, Центр Госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. — 44 с.

4. **Методические** рекомендации. Критерии установления уровня минимального риска здоровью населения от загрязнения окружающей среды. — М.: Санэпидмедиа, ГУ НИИ ЭЧ и ГОС имени А. Н. Сысина РАМН, ММА им. И. М. Сеченова, Центр Госсанэпиднадзора в г. Москве, 2003. — 40 с.
5. **Шкодиц П. Е., Желтобрюхов В. Ф., Клаучек В. В.** Экологические аспекты проблемы уничтожения химического оружия. — Волгоград: Изд-во ВолГУ, 2004. — 236 с.
6. **Решетников С. М., Ионов Л. Б., Макарова Д. Л., Зубцовский Н. Е., Захаров В. Ю.** Результаты работ по комплексному обследованию состояния окружающей среды. Вторые Публичные Слушания по проблеме уничтожения ХО: Материалы, Ижевск, 13–17 мая, 1996 г. / Под ред. В. М. Колодкина. — Ижевск: Издательство Удмуртского государственного университета, 1996. — 51–58 с.
7. **Гигиеническая** оценка качества почвы населенных мест. Методические указания: МУ 2.1.7.730–99. — М.: Минздрав России, 1999.
8. **Mackay D., Paterson and Shiu W. Y.** Generic Models for Evaluating the Regional Fate of Chemicals // *Chemosphere*. — 1992. — 24. — № 6. — P. 695–717.
9. **Mackay D., Joy M., Paterson S.** A quantitative water, air, sediment interaction (QWASI) fugacity model for describing the fate of chemicals in lakes // *Chemosphere*. — 1983. — 12. — P. 981–997.
10. **Wania F., Mackay D.** A global distribution model for persistent organic chemicals // *Environmental Science and Technology*. — 1995. — 160/161. — P. 211–232.
11. **Mackay D., Roberts V., Cherry J.** Transport of Organic Contaminants in Groundwater // *Environmental Science and Technology*. — 1985. — 19. — № 5. — P. 384–392.
12. **Klos R. A., Muller-Lenans H.** TAME-The Terrestrial-Aquatic Model of the Environment // *PSI Berich*. — 1996. — N 96-18. — 121 p.
13. **Предельно** допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест. Гигиенические нормативы: ГН 2.1.6.1338–03. — М.: Минздрав России, 2003.
14. **Предельно** допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования: Гигиенические нормативы. ГН 2.1.5.1315–03. — М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2003.
15. **Худoley В. В.** Канцерогены: характеристики, закономерности, механизмы действия. — СПб.: НИИ Химии СПбГУ, 1999Ж9 с.
16. **Яковлев В. С., Буйновская Р. З., Ежова Н. Н.** Динамика показателей здоровья населения Камбарского района по данным Минздрава УР. Вторые Публичные Слушания по проблеме уничтожения ХО: Материалы, Ижевск, 13–17 мая, 1996 г. / Под ред. В. М. Колодкина. — Ижевск: Издательство Удмуртского государственного университета, 1996. — С. 86–89.

УДК 664. 951.013 + 614.48

**И. Н. Ким**, канд. техн. наук, проф., **Т. И. Ткаченко**, канд. техн. наук, доц.,  
Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
г. Владивосток,  
e-mail: tatkach\_2002@mail.ru

## Анализ современных методов мойки и дезинфекции рыбоперерабатывающих производств

*Изложены основные санитарно-гигиенические проблемы рыбоперерабатывающих производств, решение которых состоит не только в правильном подборе моющих и дезинфицирующих средств, но и в использовании современных методов дезобработки.*

**Ключевые слова:** санитарная обработка, рыбоперерабатывающие производства, высоконапорная мойка, пенная мойка, аэродезинфекция.

**Kim I. N., Tkachenko T. I.** The analysis of modern methods of sanitari-and-hygienic of fishing manufactures

*The basic sanitary-and-hygienic problems of dairy manufacture are resulted. The decision of these problems will consist in the coordination of several parameters: reliability and profitability of means and the equipment for sanitary processing, and also protection of an environment.*

**Keywords:** sanitary processing, fishing manufactures, hi pressure wash, foamy wash, aerodisinfection.

Для производства высококачественных продуктов из гидробионтов большое значение имеет правильная и своевременная санитарная обработка, которая является неотъемлемым элементом технологии производства. Это вызвано тем, что гидробионты и вспомогательные пищевые ингредиенты, применяемые в производстве, представляют собой питательные субстраты, содержащие все компоненты, которые необходимы для жизнедеятельности микроорганизмов [1, 4].

Состав микрофлоры, обнаруживаемой на поверхности технологического оборудования и инвентаря, разнообразный. Основными составляющими ее являются бактерии группы кишечной палочки, стафилококки, стрептококки и некоторые другие микроорганизмы [3, 7]. В зависимости от способа и условий переработки гидробионтов на поверхности технологического оборудования могут откладываться белки, жиры, углеводы, соли, механические примеси и прочие компоненты обрабатываемого полуфабриката. На характер загрязнений влияет температура обработки сырья. Так, загрязнения, остав-



шиеся после подогревания полуфабриката до 80 °С, представляют собой сравнительно мягкий осадок, а после тепловой обработки при температуре выше 80 °С — более твердый осадок, который прочно прилипает к поверхности оборудования [4, 9, 13].

В случае если на поверхности оборудования в течение нескольких суток остается определенное количество загрязнения, то возможно образование больших колоний микроорганизмов, которые сложно удалить при мойке. Способность микроорганизмов прикрепляться к поверхности перерабатывающего оборудования и образовывать биопленки хорошо известна [3, 7]. Биопленки представляют собой микроорганизмы, чрезвычайно устойчивые к действию дезинфицирующих средств, окруженные влагой и химическими соединениями. Их толщина может составлять от одного слоя микроорганизмов до 300 мкм, когда на 1 см<sup>2</sup> приходится более 10<sup>7</sup> микроорганизмов [4]. Основными микроорганизмами, способными формировать биопленки, являются листерии, сальмонеллы, стафилококки. В целом прикрепляться к поверхностям способно большинство микроорганизмов, но некоторые психрофильные бактерии и потенциальные болезнетворные микроорганизмы способны выживать в биопленке в течение длительного периода.

Сложность удаления подобных загрязнений обусловлено тем, что в каждом теле или веществе действуют силы межмолекулярного притяжения [8]. Если данные силы взаимно уравновешены, то в поверхностном слое часть межмолекулярных сил остается недоиспользованной. В результате действия этих сил, отдельные частицы загрязнения не только слипаются, но и прочно удерживаются на поверхности оборудования [3, 4]. Поэтому эффективность мойки и дезинфекции оборудования и помещений может быть достигнута не только правильным подбором моющих и дезинфицирующих средств, но и использованием современных методов дезобработки.

В последнее десятилетие одним из эффективных методов мойки и дезинфекции оборудования является метод высоконапорной мойки [4, 6, 7]. Санитарная обработка посредством высоконапорной мойки осуществляется в результате создания области развитой турбулентности под давлением моющего раствора. При турбулентном режиме частицы жидкости движутся с большими скоростями как в осевом, так и в радиальном направлениях, а само движение носит беспорядочный характер, поэтому в каждой точке потока происходят пульсации скорости, что значительно интенсифицирует процесс удаления загрязнений, в том числе и прочно удерживающихся на поверхности оборудования [8].

Агрегатов для высоконапорной мойки, выпускаемых различными фирмами-изготовителями, много, поскольку их производительность может достигать до 1000 л/мин, а создаваемое давление до 200 МПа [11]. Оборудование выпускается как передвижное, так и стационарное с трубной разводкой, а собственно санитарную обработку можно вести с применением детергентов и моющих средств. Один из видов выпускаемого оборудования — системы высоконапорной очистки и мойки железнодорожных цистерн после перевозки, например, рыбьего жира, растительного масла и других веществ, которые производятся с помощью вращающейся головки, перемещаемой внутри цистерны специальным устройством. Подобным образом можно осуществлять санитарную обработку автоклавов, котлов, бланширователей, копильных камер, оборудования для кулинарной обработки [1, 5, 10].

Известен метод "пескоструйной" санитарной обработки оборудования с помощью кристаллов сухого льда (двуокиси углерода) в потоке сжатого воздуха, который удачно сочетает в себе преимущества ударного действия твердых частиц и гигиеничность высоконапорной мойки [11]. В результате соударения кристаллов сухого льда с очищаемой поверхностью происходит механическая очистка от загрязнений, при этом загрязнения охлаждаются быстрее, чем очищаемая поверхность, и разница температур усиливает их эффективное отслоение. Кристаллы льда мгновенно испаряются, а загрязнения сдуваются потоком воздуха, в результате чего поверхность становится сухой и чистой. Применяемые в таких очистителях гранулы сухого льда имеют размеры частиц сахарного песка. Гранулы сухого льда получают при дроблении блоков сухой углекислоты до необходимых размеров в специальном устройстве, что более экономично, поскольку блочная сухая углекислота значительно дешевле, чем гранулированная [1, 4].

В качестве другого рабочего агента при "пескоструйной" обработке используют двууглекислый натрий (разрыхлитель теста) [11]. Преимущества применения данного вещества заключаются в отсутствии сильного воздействия на очищаемую поверхность, а высокий уровень pH способствует разложению жиров. Существуют два вида очистных систем с использованием двууглекислого натрия в потоке сжатого воздуха и водоструйные системы с давлением 40...200 Па. Высоконапорная санитарная обработка достаточно эффективна, однако ее применение на рыбоперерабатывающих предприятиях ограничено из-за слишком заметного воздействия смеси на очищаемую поверхность.

Одним из наиболее эффективных методов внешней мойки и дезинфекции оборудования и производственных площадей является пенная техноло-

гия с использованием специальных высокопенных моющих средств и соответствующих аппаратов — пеногенераторов [4, 6, 11].

Процесс очистки различных поверхностей с помощью пены является результатом ряда сложных физико-химических процессов, таких как смачивание обрабатываемой поверхности; адсорбция моющих компонентов на частицах-загрязнителях и очищаемом материале; суспензирование или эмульгирование (дробление) частиц и капель загрязнений; солюбилизация жидких загрязнителей в пене (всасывание частиц в пену); удержание оторванных частиц во взвешенном состоянии пузырьками пены [6, 12].

При нанесении пены происходит отрыв твердых частиц загрязнений от очищаемой поверхности. Выделяющаяся из пены жидкость при разрушении ближайшего слоя пузырьков смачивает поверхность, причем толщина слоя смачивающей жидкости составляет порядка 3 мкм. Частицы загрязнений в результате перетекания жидкости из плоских участков пленки пены в каналы отрываются от поверхности и концентрируются в утолщенных участках пленок. Грязеудерживающая способность пен снижает возможность повторного оседания оторванных от поверхности частиц загрязнения. Присутствие на обрабатываемой поверхности тонкого масляного слоя способствует увеличению эффективности удаления пыли и твердых частиц при данной обработке.

В процессе взаимодействия пены с вязкими полужидкими загрязнениями происходит их размягчение до жидкой фазы, а затем пена дробит капли и пленки загрязнения до отдельных глобул, которые втягиваются в пену. Таким образом, удаление различных загрязнений с помощью пены происходит за счет хорошего смачивания и размягчения загрязнений, а затем дробления на мелкие капли и всасывания их в пену.

Пеногенераторы вырабатывают пену давлением на рабочий раствор воздуха заданной концентрации, который подается в аппарат от пневмолинии или компрессора с давлением не выше 0,07 МПа. Эффективность работы зависит от качества используемых моющих составов [1]. Моющие средства и их концентрации подбираются в каждом конкретном случае в зависимости от степени и характера загрязнений, типа очищаемой поверхности и задач мойки. Нанесение пены возможно на высоту до 6 м. Пена благодаря специальным добавкам, входящим в состав моющих средств, хорошо прилипает к поверхностям и медленно стекает с них, обеспечивая длительный контакт моющего вещества с загрязнением. Время воздействия пены на загрязнения составляет 3...30 мин. После обработки поверхность достаточно промыть водой для удаления остатков

загрязнений. В случае необходимости при застарелых или сложных загрязнениях обрабатываемую поверхность дополнительно очищают щеткой, а затем промывают водой. При наличии жировых загрязнений температура воды должна быть в пределах 40 °С [3].

Использование пенной технологии для мойки и дезинфекции технологического оборудования и производственных помещений рыбоперерабатывающих производств во многих случаях позволяет эффективно удалять комплексные застарелые отложения с поверхностей, повышает производительность труда, снижает расход моющих средств по сравнению с традиционными способами очистки поверхностей, обеспечивает безопасность персонала при работе (отсутствует непосредственный контакт с моющим раствором, низкий уровень дисперсии жидкости), экономит водо- и энергоресурсы предприятия [4, 12].

Одним из наиболее эффективных и прогрессивных способов санобработки также является аэродезинфекция (объемная дезинфекция), которая основана на принципе преобразования жидких дезинфектантов в мелкодисперсные аэрозоли с размером частиц 2...50 мкм [2, 14]. При использовании аэрозольного метода высокая эффективность обеспечивается благодаря большой проникающей способности аэрозоля, который дополнительно обеззараживает воздушную среду в помещении, как правило, являющуюся контаминированной на предприятиях с неблагоприятным санитарно-гигиеническим состоянием. При этом расход дезинфицирующих средств снижается по сравнению с влажным методом обработки, поскольку при распылении вещества на мельчайшие частицы резко возрастает активная поверхность препарата.

Известно, что на очищаемых поверхностях существует большое количество дефектов поверхностей в виде карманов, щелей, капилляров и так называемых крипт (маленьких кратеров) [3, 11]. Даже идеально гладкая на первый взгляд поверхность под сильным увеличением абсолютно криптообразна, и обычная капля, создаваемая перечисленным выше инвентарем, в силу осмотических законов, не способна проникнуть в мелкие дефекты поверхностей, а лишь на время закупоривает их. Для эффективной очистки таких поверхностей необходимо создание сверхмелкой частицы жидкого раствора химического вещества, т. е. аэрозоля с диаметром частиц в пределах 5...35 мкм [4]. Частицы аэрозоля с данными размерами проникают повсеместно и могут удерживаться в воздушном потоке помещений в течение 3...4 ч. Это позволяет каплям жидкости под воздействием адгезии и тепловой преципитации проникнуть во все мелкие дефекты поверхности и тем самым обеспечить ее равномерное полное



покрытие, а также обработать воздушное пространство, в котором, за счет конвекционных потоков, осуществляется миграция микроорганизмов.

Массированное воздействие мелкодисперсного аэрозоля заданной концентрации во всем объеме помещения практически исключает возникновение и развитие дезинфектоустойчивой микрофлоры, обеспечивая обеззараживание воздуха в труднодоступных местах [2]. Такой аэрозоль в считанные минуты насыщает воздушную среду производственных помещений, емкостей, проникает во все труднодоступные уголки и конденсируется в виде мельчайших капель, заполняя все микроскопические неровности поверхностей оборудования, стен, пола, потолка, систем вентиляции [8]. Важным условием эффективного воздействия на очищаемые поверхности являются параметры воздуха, т. е. чем выше влажность воздуха и больше разность температур дезинфектанта и обрабатываемых поверхностей, тем быстрее происходит конденсация аэрозольного тумана на поверхностях [3, 14].

Применение дисковых и турбоциклонных аэрозольных генераторов позволяет создавать аэрозоли любых, даже нестойких дезинфектантов, например, таких, как препараты на основе перекиси водорода. Данные пероксидные дезинфектанты характеризуются полной экологической безопасностью, поскольку отработанные в течение 3...4 ч препараты разлагаются на безвредные компоненты, главным образом, на кислород и воду [1, 4]. Применение пероксидных препаратов с повышенной биоцидной активностью, обладающих коротким временем экспозиции и способностью разлагаться до воды и кислорода, позволяет быстро возвращать помещения и оборудование в производственный цикл без дополнительной нейтрализации и мойки, что дает существенный экономический эффект.

Проведенный анализ современного состояния санитарной обработки оборудования и помещений рыбоперерабатывающих производств показал, что для наибольшей эффективности очистки и дезинфекции следует использовать современные очистительные установки, эксплуатация которых значительно облегчает производственную деятельность персонала и позволяет с максимальной эффектив-

ностью очищать самые сложные и труднодоступные участки оборудования и помещений. Метод пенной очистки и аэрозольная дезинфекция являются наиболее эффективными и в то же время чрезвычайно экономичными методами дезобработки как с точки зрения расхода препаратов, так и по уровню трудозатрат.

#### Список литературы

1. **Борисочкина Л. И.** Санитария и гигиена современного производства рыбной продукции // ВНИЭРХ. Серия "Обработка рыбы и морепродуктов", 2000. — Вып. 1 (1). — 44 с.
2. **Буреев И. А., Стрижаков А. А., Коломыцев А. А., Лукьянов С. Б., Зубаиров М. М., Суслов Н. В.** Технические средства и препараты для аэрозольной дезинфекции // Мясная индустрия. — 2003. — № 7. — С. 22—24.
3. **Ким И. Н., Кращенко В. В., Прокопец Ж. Г., Юрченко Н. С.** Санитария и гигиена рыбоперерабатывающих производств. — Владивосток: Дальрыбвтуз, 2004. — 126 с.
4. **Ким И. Н., Ткаченко Т. И., Кращенко В. В., Федосеева Е. В.** Санитарная обработка рыбоперерабатывающих предприятий // ВНИТИ. Серия "Экологическая экспертиза", 2008. — Вып. 2. — С. 8—67.
5. **Климин С. В.** Передовые методы очистки технологического оборудования и машин // Мясная технология. — 2003. — № 9. — С. 11.
6. **Мельникова Л. А., Дудчик Н. В., Коломиец Н. Д.** Изучение эффективности различных методов дезобработки // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2003. — № 8. — С. 98—99.
7. **Перетрухина А. Т., Перетрухина И. В.** Микробиология сырья и продуктов водного происхождения. — СПб.: ГИОРД, 2005. — 320 с.
8. **Процессы и аппараты химической технологии:** Уч. пос. для вузов / Под ред. А. А. Захаровой. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 528 с.
9. **Технология** продуктов из гидробионтов / Под общей ред. Т. М. Сафроновой и В. И. Шендерюка. — М.: Колос, 2001. — 496 с.
10. **Устройства** для мойки и дезинфекции поверхностей машин и оборудования в пищевой промышленности // Технология и оборудование для села. — 2003. — № 2. — С. 34—35.
11. **Федько А. С.** Оборудование для санитарной обработки // ВНИЭРХ. Серия "Технологическое оборудование для рыбной промышленности", 1999. — Вып. 1. — С. 27—46.
12. **Becker B., Fechner J.** Holzapfel Hygiene — und Reinigungskontrolle in der Lebensmittelkette mittels ATP — Biolumineszenz // Fleischwirtschaft. — 2004. — № 1. — P. 121—124.
13. **Davidson M. P., Harrison M. A.** Resistance and adaptation to food antimicrobials, sanitizers, and other process controls // Food Technol, 2002. — 56. — № 11. — P. 69—78.
14. **Ohlmann R.** Bedrohung aus der Raumluft reduziert // Ernährungsindustrie. — 2004. — № 5. — P. 30.

## АНОНС!

В следующем номере журнала в разделе "Общие вопросы" будет опубликована статья авторов

**А. Г. Абдуллина, Н. А. Антиповой, Д. Г. Абдуллиной**

**"ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА  
В ЭКОЛОГИЧЕСКИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ СУЩЕСТВОВАНИЯ"**

УДК 621.039:543.5:546.791.6

**О. В. Кичигин**, канд. хим. наук, **Н. Н. Басаргин**<sup>2</sup>, д-р хим. наук, проф.,  
**О. А. Носова**<sup>3</sup>, канд. хим. наук, **В. Г. Егоров**<sup>3</sup>, канд. с.-х. наук,

<sup>1</sup> Институт экологической безопасности, г. Курск

<sup>2</sup> Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии РАН, г. Москва

<sup>3</sup> Курский институт социального образования (филиал) РГСУ  
e-mail: kichiginov@yandex.ru

## Контроль содержания урана и тория в контурных водах и водоеме-охладителе атомных станций

*Приведены и апробированы разработанные методики сорбционно-спектрофотометрического определения урана (VI) и тория (IV) в водных объектах, которые могут использоваться для контроля и являться элементом предупреждения аварий, связанных с превышением содержания этих элементов в водоеме-охладителе и контурных водах АЭС.*

**Ключевые слова:** полимерные комплексообразующие сорбенты (ПКС), уран, торий, концентрирование, контурные воды, водоем-охладитель АЭС.

**Kichigin O. V., Basargin N. N., Nosova O. A., Egorov V. G. The control of the content of uranium and thorium in edge waters and a reservoir a cooler of nuclear stations**

*The developed techniques sorption-spectrophotometric determination of uranium (VI) and thorium (IV) in water objects which can be used for the control are resulted and approved and be an element of the prevention of the accidents connected with excess of the content of these elements in a reservoir-cooler and edge waters of nuclear stations.*

**Keywords:** polymeric complexing sorbents (PCS), uranium, thorium, preconcentration, edge waters, an nuclear power station reservoir-cooler.

В соответствии со ст. 3 и 4 Федерального Закона № 68 "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера" одним из приоритетных направлений в развитии теоретических и прикладных наук должно являться совершенствование имеющихся и развитие новых экспрессных методик контроля содержания токсичных веществ в окружающей среде, а также систем предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, вызванных их бесконтрольным выбросом.

Опасность процессов, происходящих в техносфере, для населения и окружающей среды обуславливается наличием в промышленности и энергетике большого числа предприятий, в технологических циклах которых присутствуют тяжелые и радиоак-

тивные металлы. Возможность возникновения техногенных аварий на этих производствах усугубляется тем, что на многих предприятиях имеет место высокая степень износа основных производственных фондов, несвоевременно осуществляются ремонт и профилактические работы, часто отсутствуют или имеются морально и физически устаревшие очистные сооружения. Отсюда высока вероятность выброса тяжелых металлов в окружающую среду.

Уран и торий, находящиеся в природных и сточных водах преимущественно в шести- и четырехвалентном состоянии, относятся к группе токсичных радиоактивных элементов. Это вызывает необходимость строгого контроля за их поступлением в окружающую среду, особенно в случае техногенных аварий. Последнее обстоятельство требует использования сравнительно недорогих, доступных, экспрессных и высокочувствительных методов определения элементов. Для снижения предела обнаружения микроколичеств элементов любым методом требуется предварительное концентрирование ионов металлов из больших объемов воды и других объектов окружающей среды. С этой целью часто используют выпаривание больших объемов проб, осаждение, соосаждение и т. д. При этом происходит концентрирование не только определяемых микрокомпонентов, но и матричных элементов, что снижает точность и воспроизводимость результатов.

Прямое определение элементов физическими и физико-химическими методами также не всегда возможно из-за значительного влияния состава пробы. Например, определение радиоактивных металлов в контурных водах и водоеме-охладителе Курской АЭС проводят радиометрическим методом с предварительным концентрированием методом выпаривания из больших объемов воды. Длительность всей процедуры достигает двух недель. В связи с изложенным, применяемые методы анализа в ряде случаев не удовлетворяют требованиям по экспрессности, точности и чувствительности обнаружения следовых количеств элементов-токсикантов. Поэтому необходимы поиск и разработка новых способов их выделения и концентрирования.



Особо актуальна данная проблема при определении тяжелых и радиоактивных элементов в природных и техногенных объектах, так или иначе связанных с атомными станциями. Водоем-охладитель Курской АЭС (г. Курчатова) является закрытым. Его воды, циркулируя, используются для охлаждения атомных реакторов АЭС (так называемые контурные воды). Высокая способность тяжелых и радиоактивных элементов к накоплению в живых организмах при постоянном поступлении вызывает необходимость новых простых, чувствительных и эффективных методик их определения на уровне значительно ниже ПДК. Необходимо также учитывать, что подразделение экологической безопасности Курской АЭС постоянно отслеживает только содержание радиоактивных изотопов элементов в окружающей среде, не уделяя должного внимания их стабильным изотопам.

В последние годы с целью предварительного концентрирования ионов металлов из больших объемов воды или других объектов окружающей среды нашли широкое применение сорбционные методы особенно с использованием полимерных комплексообразующих сорбентов (ПКС). Перспективность их применения определяется высокой избирательностью и эффективностью при количественном концентрировании из растворов сложного состава, простотой и удобством при подготовке проб для последующего определения элементов различными физико-химическими методами [1].

Целесообразность, надежность и эффективность применения ПКС для предварительного концентрирования и выделения токсичных элементов из объектов окружающей среды подтверждены в ряде работ [2, 3]. Исследование серии хелатных сорбентов с орто-амино-азо-орто'-гидрокси- функциональной группой показало перспективность их использования на практике в большинстве случаев с целью группового извлечения следовых количеств  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Co(II)}$  и  $\text{Ni(II)}$  и индивидуального извлечения  $\text{U(VI)}$ ,  $\text{Th(IV)}$  и  $\text{Sr(II)}$  [4–7]. Сорбенты представляют собой порошки коричневого цвета, нерастворимые в воде, кислотах, щелочах и органических растворителях. Методика изучения сорбционных свойств ПКС описана в работах [1, 2]. Определены оптимальные pH, время, температура сорбции, сорбционная емкость сорбентов, изучено мешающее влияние посторонних ионов при конечном определении. Сорбенты позволяют проводить количественное индивидуальное концентрирование урана и тория при их совместном присутствии в течение небольшого промежутка времени (20 мин) при комнатной температуре.

Исследование орто-амино-азо-орто'-гидрокси-комплексообразующих сорбентов показало перспективность использования на практике с целью индивидуального извлечения  $\text{U(VI)}$  и  $\text{Th(IV)}$  в качестве

Таблица 1

Характеристика процесса сорбции  $\text{U(VI)}$  и  $\text{Th(IV)}$  сорбентом полистирол-2-амино-азо-2'-гидрокси, 5'-нитро, 3'-бензолсульфокислота

| Ион элемента | pH <sub>опт</sub> | pH <sub>50</sub> | Время, мин | t °C | СЕС, мг/г | K × 10 <sup>4</sup> | R, % |
|--------------|-------------------|------------------|------------|------|-----------|---------------------|------|
| U(VI)        | 5,6...7,0         | 3,30             | 20         | 20   | 18,2      | 1,3                 | 98   |
| Th(IV)       | 3,3...4,1         | 1,60             | 20         | 20   | 20,1      | 1,1                 | 98   |

сорбента полистирол-2-амино-азо-2'-гидрокси, 5'-нитро, 3'-бензолсульфокислоты. Для него отмечены наиболее низкие pH 50 %-ной и оптимальной сорбции (pH<sub>50</sub> и pH<sub>опт</sub> соответственно), время, температура сорбции и высокие сорбционная емкость (СЕС), коэффициент концентрирования K и степень сорбции R (табл. 1).

Избирательность концентрирования ионов элементов ПКС является одной из важнейших характеристик последних и, в значительной степени, обусловлена наличием и природой функциональных групп. Комплексообразующие сорбенты способны взаимодействовать с рядом элементов, однако в определенных условиях они проявляют селективность к отдельным ионам металлов. В рассматриваемом случае оценку избирательности действия ПКС проводили по экспериментальным данным о допустимых кратных массовых количествах сопутствующих элементов, не мешающих количественной сорбции изучаемого элемента. Параллельно изучали степень захвата сорбентом сопутствующих ионов, обычно находящихся в избытке по отношению к определяемому микрокомпоненту.

При изучении избирательности действия сорбентов оценивали в первую очередь влияние элементов, характерных для природных, питьевых, сточных вод, контурных вод АЭС и распространенных маскирующих веществ.

Элементы вводили в виде аликвот стандартных растворов или соответствующих навесок сухих солей. Опыты проводили с минимальными количествами изучаемых элементов, обеспечивающих удовлетворительную статистическую погрешность конечного определения. При этом учитывали известную избирательность используемых методов анализа. Для этого готовили серию растворов с постоянной концентрацией определяемого элемента (50 мкг в 25 мл раствора) и массой сорбента (250 мг) и с переменным кратным массовым избытком мешающих элементов — 1:0,1, 1:1, 1:10, 1:100, 1:500, 1:1000, 1:5000, 1:10000. Исследования проводили в выбранных ранее оптимальных условиях. На основании полученных данных, задаваясь практической величиной степени извлечения (95 %), находили допустимые отношения концентраций исследуемых и мешающих ионов в растворе.

Количественная сорбция U (VI) достигается в присутствии 0,2 г комплексона III, 10 мг аскорбиновой кислоты, 2 мл 4 %-ного раствора щавелевой кислоты. Определено, что полнота сорбции  $\text{UO}_2^{2+}$  при добавлении указанной маскирующей смеси наблюдается в присутствии  $n \cdot 10^4$ -кратных количеств  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ;  $5 \cdot 10^3$ -кратных —  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Hf}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ;  $1 \cdot 10^3$ -кратных —  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ;  $5 \cdot 10^2$ -кратных —  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ;  $1 \cdot 10^2$ -кратных —  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ , 50-кратных —  $\text{Th}^{4+}$ .

Аналогично, в оптимальных условиях количественная сорбция тория достигается в присутствии  $1 \cdot 10^4$ -кратного избытка LiCl, 10 мг аскорбиновой кислоты и NaF. При добавлении данной маскирующей смеси сорбции и последующему определению тория не мешают:  $1 \cdot 10^4$ -кратный избыток  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ;  $5 \cdot 10^3$ -кратный —  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ;  $1 \cdot 10^3$ -кратный —  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ;  $5 \cdot 10^2$ -кратный —  $\text{Sr}^{2+}$ ;  $1 \cdot 10^2$ -кратный —  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ ; 50-кратный —  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{UO}_2^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Hf}^{4+}$ ,  $\text{Zr}^{4+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ .

В работах [4—7] описаны разработанные методики предварительного концентрирования и определения тяжелых и радиоактивных элементов в объектах окружающей среды со сложным химическим составом (питьевые, природные, технологические, сточные воды, почва, ил с различной степенью загрязнения).

Концентрацию урана и тория в анализируемых растворах определяли на спектрофотометре СФ—46 в кюветах с толщиной светопоглощающего слоя 1 см по известным аналитическим прописям с реагентом арсеназо III [8] по предварительно построенным градуировочным графикам. Условия определения для U (VI):  $\lambda = 656$  нм, 6-молярный раствор (6 М)  $\text{HNO}_3$ , толщина кювета  $l = 1$  см; для Th(IV):  $\lambda = 665$  нм, 6 М  $\text{HNO}_3$ ,  $l = 1$  см.

Разработанные методики индивидуального предварительного концентрирования изучаемых элементов на ПКС, с последующим определением их в элюате спектрофотометрическим методом включают следующие этапы:

- перевод определяемых элементов в лабильные формы;

- индивидуальное концентрирование и выделение элементов в виде устойчивых комплексов с функциональными группами сорбента в оптимальных условиях сорбции (рН, время сорбции, температура раствора, масса сорбента, наличие веществ, маскирующих мешающие элементы);

- десорбцию элементов путем промывки сорбента на фильтре растворами минеральных кислот, что позволяет многократно (не менее 5 раз) использовать сорбент;

- конечное определение элементов в элюатах выбранным методом.

При построении градуировочных графиков отдельные порции элементов пропускали через все стадии процесса сорбции, включающие добавление маскирующих веществ, концентрирование, десорбцию.

Для количественного извлечения изучаемых ионов металлов перед концентрированием необходимо перевести их в формы, которые могут сорбироваться в выбранных условиях. Поэтому при анализе образцов, не содержащих большого количества органики, использованы имеющиеся [9] и разработаны собственные рекомендации.

К 200...1000 мл воды, предварительно подкисленной разбавленной 1:1 соляной кислотой до рН 1...2, добавляют 2—3 мл разбавленной 1:1  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и 0,5 г персульфата аммония для разрушения комплексов определяемых элементов с органикой. Пробу оставляют на 1 ч. В случае анализа сточных вод дополнительно воду доводят до кипения, затем охлаждают и отфильтровывают крупные взвеси (если в этом есть необходимость).

После проведения предварительной пробоподготовки, избыток кислоты нейтрализуют добавлением NaOH или  $\text{NH}_4\text{OH}$ , после чего маскируют мешающие элементы и приступают непосредственно к концентрированию микроэлементов.

При определении элементов в образцах с высокой минерализацией концентрирование необходимо проводить с использованием приемов, позволяющих повысить избирательность. Этого можно добиться введением в анализируемый раствор маскирующих веществ.

При определении U (VI) в раствор добавляют 0,2...0,5 г комплексона III, 10...20 мг аскорбиновой кислоты и 2...5 мл 4 %-ного раствора щавелевой кислоты. Затем в раствор вносят 100 мг сорбента и доводят применением аммиака до рН = 6,0. Анализируемую воду перемешивают магнитной мешалкой в течение 20 мин при комнатной температуре, после чего сорбент отфильтровывают через фильтр "синяя лента". Концентрат на фильтре промывают 2—3 раза дистиллированной водой и десорбируют одномолярным раствором  $\text{HNO}_3$ . Элюат собирают в мерную пробирку емкостью 10 мл. Параллельно проводят контрольный опыт, в котором применяют все используемые реактивы и сорбент.

В принципе, разработанная схема предусматривает использование различных методов конечного определения указанных элементов. Авторами был применен спектрофотометрический метод, отличающийся простотой и доступностью.

Предварительное концентрирование и определение Th (IV) проводят при других условиях. В качестве маскирующих агентов вносят 1 г LiCl, по 10...20 мг аскорбиновой кислоты и NaF. В раствор помещают 100 мг сорбента, доводят применением



аммиака до  $pH = 3,4$ , перемешивают 20 мин при комнатной температуре и далее поступают также как по методике, рекомендованной для урана. Для десорбции Th (IV) применяют 2-молярный раствор  $HNO_3$ . Конечное определение тория (IV) также проводят реагентом арсеназо III по предварительно построенному градуировочному графику.

Правильность и воспроизводимость предложенных способов предварительного концентрирования ионов металлов хелатными сорбентами оценивали, анализируя стандартные образцы водных растворов солей металлов (табл. 2).

В качестве объектов анализа были выбраны контурные воды, а также воды пруда-охладителя Курской АЭС и некоторые образцы питьевых и природных вод (табл. 3). Как уже указано, водоем-охладитель Курской АЭС является закрытым водоемом с большой удельной площадью испарения, подпитка которого периодически происходит из реки Сейм. Его воды (контурные), циркулируя, используются для охлаждения атомных реакторов АЭС.

В нормативных документах в области питьевого водоснабжения (ГН 2.1.5.1315—03 "Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ

в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования", СанПиН 2.1.4.1074—01 "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества", а также СанПиН 2.1.5.980—00 "Гигиенические требования к охране поверхностных вод" указано предельно допустимое содержание далеко не всех исследуемых токсичных веществ, включая и многие тяжелые металлы. При этом среди рекомендуемых методик анализа воды многие из них являются недостаточно чувствительными и избирательными.

ПДК содержания урана в объектах хозяйственно-питьевого водопользования 100 мкг/л. Указанными выше действующими в настоящее время санитарно-гигиеническими нормативами ПДК тория в водных объектах не регламентировано и может носить лишь рекомендательный характер — 32 мкг/л [10].

Отбор проб воды проводился в 2006—2008 гг. Все образцы характеризуются сложным химическим составом.

Результаты определения приведены в табл. 3. Правильность определения контролировали методом добавок. Методики показали хорошую воспроизводимость при анализе образцов со сложным составом (по методике  $s_r = 0,03...0,10$ ).

Из полученных данных следует, что в анализируемых объектах содержание исследуемых элементов не превышает действующих ПДК (100 мкг/л) для урана и рекомендаций (32 мкг/л для тория). Мониторинг исследуемых вод Курской АЭС, проведенный во времени, показал хоть незначительный, но все-таки рост содержания урана и тория как в водоеме-охладителе, так и в контурных водах АЭС.

Таким образом, разработаны новые методики сорбционно-спектрофотометрического определения урана и тория в природных, промышленных, технологических и питьевых водах. Методики апробированы при определении исследуемых ионов металлов в контурных водах и водоеме-охладителе АЭС, питьевых и природных водах. Новые методики позволяют определять микроколичества изучаемых элементов в воде на уровне  $n \cdot 10^{-6} - n \cdot 10^{-7} \%$ . Предложенные методики экспрессны, просты, доступны, избирательны и высокочувствительны, могут использоваться для контроля и являться элементом предупреждения аварий, связанных с превышением содержания урана и тория в водоеме-охладителе и контурных водах АЭС.

#### Список литературы

1. Корреляция и прогнозирование аналитических свойств органических реагентов и хелатных сорбентов / Н. Н. Басаргин [и др.]. — М.: Наука, 1986. — 200 с.
2. Басаргин Н. Н., Кичигин О. В., Салихов В. Д. Концентрирование урана, тория и церия полимерными хелатными сорбентами. — Курск: Изд-во КГПУ, 2000. — 114 с.
3. Полимерные хелатные сорбенты в анализе природных и технических вод на элементы токсиканты / Н. Н. Басар-

Таблица 2

Результаты определения ионов в стандартных образцах водных растворов солей металлов (объем  $V = 100$  мл; содержание по паспорту —  $1,00 \pm 0,01$  мг/л; число определений  $n = 10$ ;  $P = 0,95$ )

| Определяемый элемент | Государственный стандартный образец (ГСО) | Найдено предлагаемым методом, мг/л | Среднее квадратичное отклонение $s_r$ |
|----------------------|-------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| U(VI)                | 8392—2003                                 | $1,00 \pm 0,02$                    | 0,03                                  |
| Th(IV)               | 8387—2003                                 | $1,00 \pm 0,02$                    | 0,02                                  |

Таблица 3

Результаты сорбционно-спектрофотометрического определения U(VI) и Th(IV) в природных, промышленных, технологических и питьевых водах ( $V = 500...1000$  мл;  $n = 7$ ;  $P = 0,95$ )

| Дата отбора проб                              | Место отбора проб               | Найдено U(VI), мкг/л                                      | $s_r$                | Найдено Th(IV), мкг/л                                 | $s_r$                |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------|----------------------|
| Май 2006 г.<br>Июнь 2007 г.<br>Апрель 2008 г. | Водоем-охладитель Курской АЭС   | $13,00 \pm 0,09$<br>$13,97 \pm 0,019$<br>$14,33 \pm 0,11$ | 0,08<br>0,10<br>0,08 | $2,46 \pm 0,05$<br>$2,99 \pm 0,04$<br>$3,70 \pm 0,06$ | 0,05<br>0,04<br>0,05 |
| Май 2006 г.<br>Июнь 2007 г.<br>Апрель 2008 г. | Контурные воды Курской АЭС      | $46,36 \pm 0,98$<br>$57,44 \pm 1,09$<br>$59,70 \pm 1,58$  | 0,03<br>0,03<br>0,05 | $6,66 \pm 0,08$<br>$7,78 \pm 0,09$<br>$8,50 \pm 0,08$ | 0,04<br>0,04<br>0,05 |
| Май 2006 г.                                   | р. Сейм, 5 км выше г. Курчатова | $11,72 \pm 0,09$                                          | 0,04                 | $1,25 \pm 0,06$                                       | 0,07                 |
| Май 2006 г.                                   | р. Сейм, 2 км ниже г. Курчатова | $12,41 \pm 0,06$                                          | 0,05                 | $1,26 \pm 0,06$                                       | 0,07                 |
| Июнь 2007 г.                                  | Питьевая вода, г. Курчатова     | $3,71 \pm 0,04$                                           | 0,04                 | $0,74 \pm 0,05$                                       | 0,04                 |

- гин [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 1998. — Т. 64. — № 2. — С. 1—6.
4. **Кичигин О. В.** Исследование полимерных хелатных сорбентов с о-амино-азо-о'-окси-хелатообразующей группой и их использование для концентрирования и выделения стронция из природных, питьевых и технологических вод // Журнал аналитической химии. — 2006. — Т. 61. — № 2. — С. 124—128.
  5. **Определение** меди (II), кобальта (II) и никеля (II) в природных и сточных водах после предварительного концентрирования полимерными хелатными сорбентами / Н. Н. Басаргин [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2001. — Т. 67. — № 11. — С. 16—18.
  6. **Кичигин О. В., Басаргин Н. Н., Розовский Ю. Г.** Определение урана (VI) и тория (IV) в природных, питьевых и технологических водах после предварительного концен-

- трирования сорбентом поли[3-амино-4-(1-азо-2-окси-3-сульфо-5-нитрофенил)стирол] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. — 2008. — Т. 74. — № 8. — С. 18—21.
7. **Кичигин О. В.** Методики экспрессного определения тяжелых металлов в природных, промышленных, питьевых и технологических водах // Безопасность жизнедеятельности. — 2004. — № 12. — С. 39—43.
  8. **Саввин С. Б.** Органические реагенты группы арсеназо III. — М.: Атомиздат, 1971. — 352 с.
  9. **Упор Э., Мохан М., Новак Д.** Фотометрические методы определения следов неорганических соединений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1985. — 359 с.
  10. **Гороновский И. Т., Назаренко Ю. П., Некряч Е. Ф.** Краткий справочник по химии. — Киев: Наукова думка, 1987. — 769 с.

УДК 629.4.063.2.001.25

**Д. А. Минаев,**  
ООО "ВНИИГАЗ",  
e-mail: minaev\_56@mail.ru

## Повышение промышленной безопасности на компрессорных станциях магистральных газопроводов

*Статья посвящена актуальному вопросу повышения промышленной безопасности на компрессорных станциях магистральных газопроводов путем снижения шума газотранспортного оборудования. Рассмотрены физиологические аспекты влияния шума газотранспортного оборудования на работников опасных производственных объектов. Проанализированы статистические данные о режимах работы центробежных нагнетателей компрессорных станций магистральных газопроводов в процессе эксплуатации. Приведены данные акустических испытаний о влиянии режимов работы центробежных нагнетателей различных типов на процесс шумообразования.*

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, компрессорные станции, центробежные нагнетатели, снижение шума, варьирование режимов работы.

**Minaev D. A.** Improving safety on compressor stations of gas-main pipelines

*This paper focuses on a topical issue of improving safety on compressor stations of gas-main pipelines by reducing the noise of gas-transport equipment. The paper provides data of physiologic influence of noise of gas-transport equipments on staff of dangerous industrial objects. The paper investigates statistical data on operating modes of rotary pumps on compressor stations of gas-main pipeline during exploitation. Acoustic tests determined influence of operating mode for various types of rotary pumps to their noise emanation.*

**Keywords:** industrial safety, compressor stations, rotary pumps, noise reduction, variation of operating mode.

ОАО "Газпром" принадлежит крупнейшая в мире система транспортировки газа — Единая система газоснабжения России. Ее протяженность составляет 156,9 тыс. км. Предприятия группы ОАО "Газпром" обслуживают также 514,2 тыс. км (80 %) распределительных газопроводов страны [1].

В настоящее время на газотранспортных предприятиях ОАО "Газпром" не уделяется достаточно внимания проведению постоянного производственного контроля шума, вибрации и других негативных физических факторов. Высокие уровни шума в сочетании с другими вредными производственными факторами, такими как повышенная температура, вибрация, инфразвук, приводят к повреждению слуха у работников газотранспортных предприятий, к нарушению регулирующей функции нервной и сердечнососудистой систем и к прочим негативным последствиям [2].

Длительное воздействие интенсивного шума (выше 80 дБА) на слух человека приводит к его частичной или полной потере. В зависимости от длительности и интенсивности воздействия шума происходит большее или меньшее снижение чувствительности органов слуха, выражающееся временным смещением порога слышимости, которое исчезает после окончания воздействия шума, а при большой длительности и (или) интенсивности шума происходят необратимые потери слуха (тугоухость), характеризующиеся постоянным изменением порога слышимости.

Действие шума на организм человека не ограничивается воздействием на орган слуха. Через во-



локна слуховых нервов шумовое раздражение передается в центральную и вегетативную нервную систему, а через них воздействует на внутренние органы, приводя к значительным изменениям в функциональном состоянии организма, влияет на психическое состояние человека, вызывая чувство беспокойства и раздражения.

Человек, подвергающийся воздействию интенсивного (более 80 дБА) шума, затрачивает в среднем на 10...20 % больше физических и нервно-психических усилий, чтобы сохранить выработку, достигнутую им при уровне звука ниже 70 дБА. Воздействие на вегетативную нервную систему проявляется даже при небольших уровнях звука (40...70 дБА). Из вегетативных реакций наиболее

выраженным является нарушение периферического кровообращения за счет сужения капилляров кожного покрова и слизистых оболочек, а также повышения артериального давления (при уровнях звука выше 85 дБА).

Воздействие шума на центральную нервную систему вызывает увеличение латентного (скрытого) периода зрительной моторной реакции, приводит к нарушению подвижности нервных процессов, изменению электроэнцефалографических показателей, нарушает биоэлектрическую активность головного мозга с проявлением общих функциональных изменений в организме (уже при уровне звука 50...60 дБА), существенно изменяет биопотенциалы мозга, их динамику, вызывает биохимические

изменения в структуре головного мозга [3].

Работающие в условиях длительного шумового воздействия испытывают раздражительность, головные боли, головокружение, снижение памяти, повышенную утомляемость, понижение аппетита, боли в ушах и т. д. Воздействие шума может вызывать негативные изменения эмоционального состояния человека, вплоть до стрессовых. Все это снижает работоспособность человека и его производительность, качество и безопасность труда. Установлено, что при работах, требующих повышенного внимания, при увеличении уровня звука до 70...90 дБА производительность труда снижается на 20 %.

Повышенные уровни шума приводят к снижению внимания работников, повышая вероятность возникновения ошибок в процессе выполнения ими трудовой функции и, как следствие, приводят к возникновению несчастных случаев и аварийных ситуаций на производстве. Особого внимания заслуживает проблема воздействия интенсивного шума на работников опасных производственных объектов, например, компрессорных станций

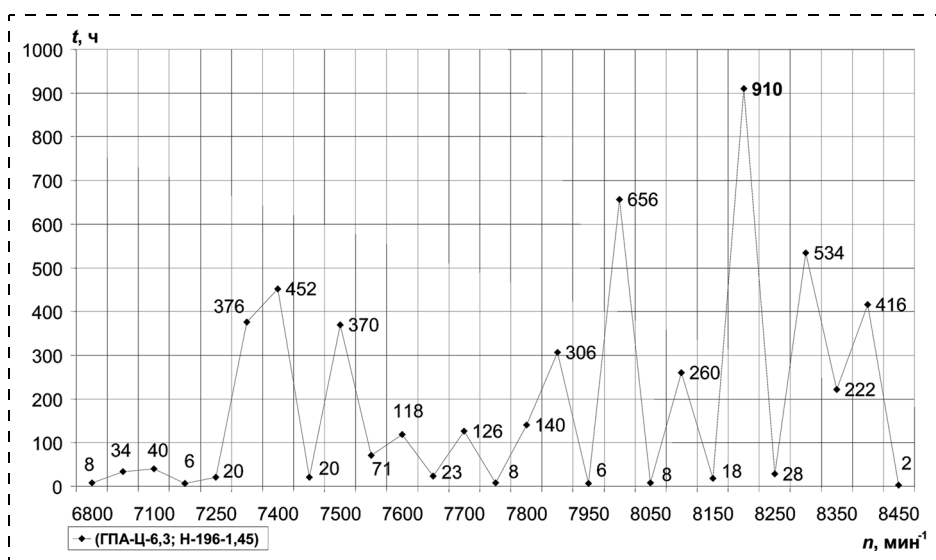


Рис. 1. Характеристика режимов работы ЦБН Н-196-1,45 на КС "Волхов" (цех № 1) за 2007 г.

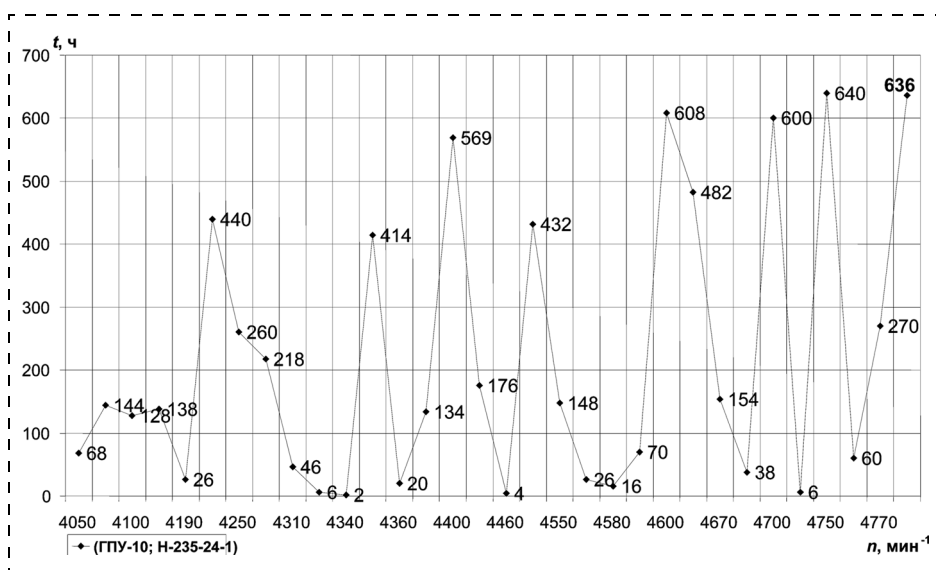


Рис. 2. Характеристика режимов работы ЦБН Н-235-24-1 на КС "Волхов" (цех № 2) за 2007 г.



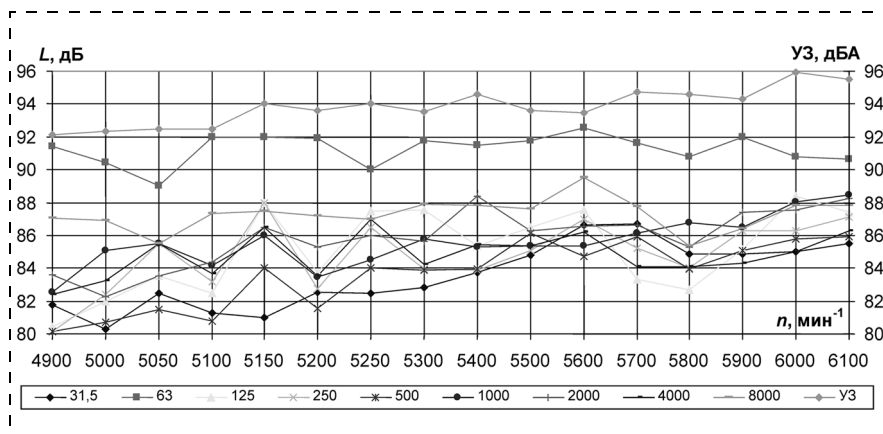


Рис. 5. Влияние режимов работы ЦБН 7V-3/100-1,7 на уровни шума в октавных полосах частот: КС "Краснодарская", усредненные данные по акустическим испытаниям пяти нагнетателей на 16 режимах

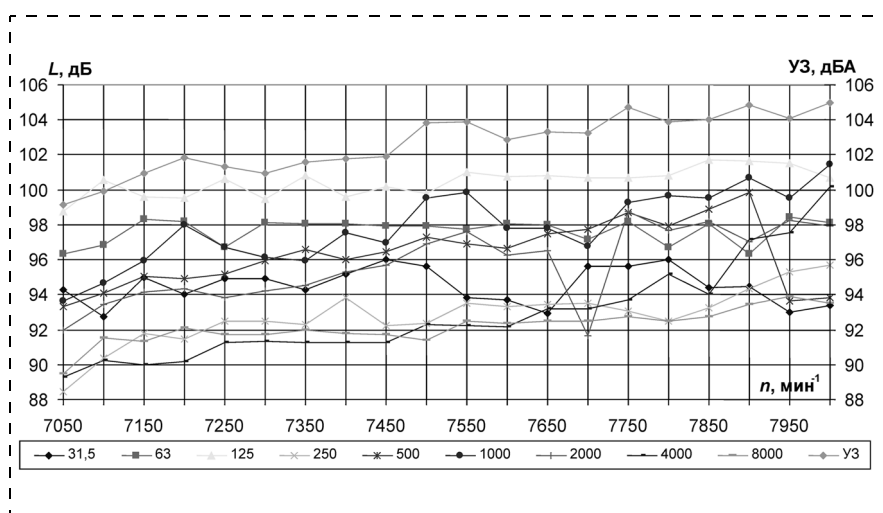


Рис. 6. Влияние режимов работы ЦБН HЦ-6,3-56-1,45 на уровни шума в октавных полосах частот: КС "Егорлык", усредненные данные по акустическим испытаниям семи нагнетателей на 20 режимах

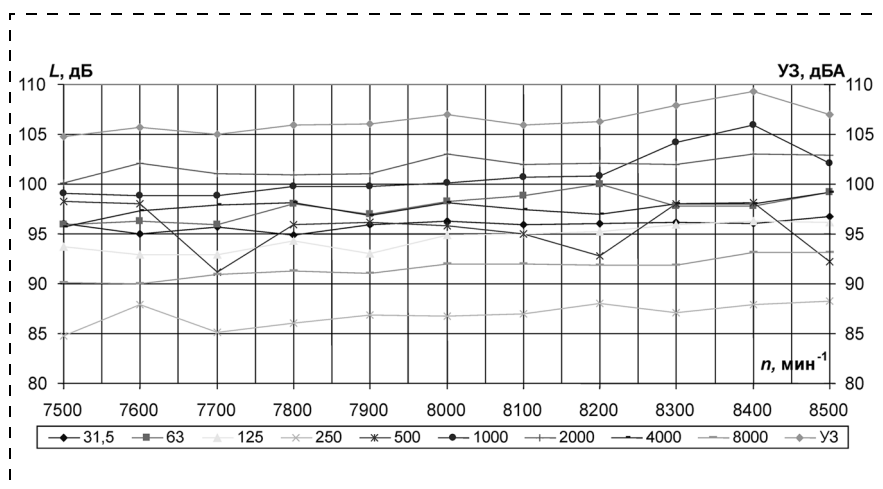


Рис. 7. Влияние режимов работы ЦБН H-196-1,45 на уровни шума в октавных полосах частот: КС "Октябрьская", усредненные данные по акустическим испытаниям 11 нагнетателей на 11 режимах

димо определить возможные пределы изменений уровней звукового давления в процессе эксплуатации того или иного вида газотранспортного оборудования. В рамках настоящей работы было исследовано влияние режимов работы центробежных нагнетателей на уровень излучаемого шума.

Данные об эксплуатационных вариациях режимов работы центробежных нагнетателей (ЦБН) газоперекачивающих агрегатов (ГПА) различных типов были получены путем сбора сведений о технических параметрах их эксплуатации на компрессорных станциях (КС) "Волхов" "Смоленская" и "Краснодарская":

- ЦБН H-196-1,45; ГПА-Ц-6,3 ("Волхов", цех 1);
- ЦБН H-235-24-1; ГПУ-10 ("Волхов", цех 2);
- ЦБН 7V-3/85-1,54; ГПА 16 ("Смоленская");
- ЦБН 7V-3/100-1/7; ГТУ-16П ("Краснодарская").

Полученные результаты представлены на рис. 1–4.

Анализируя данные, представленные на рис. 1, можно сделать вывод, что режимы работы ЦБН H-196-1,45 на КС "Волхов" (цех № 1) в течение 2007 г. варьировались в пределах от 6800 до 8450 мин<sup>-1</sup> при номинальном значении, равном 8200 мин<sup>-1</sup>. При этом наработка на номинальном режиме составила 910 ч.

Анализируя данные, представленные на рис. 2, можно сделать вывод, что режимы работы ЦБН H-235-24-1 на КС "Волхов" (цех № 2) в течение 2007 г. варьировались в пределах от 4050 до 4800 мин<sup>-1</sup> при номинальном значении, равном 4800 мин<sup>-1</sup>. При этом наработка на номинальном режиме составила 636 ч.

Анализируя данные, представленные на рис. 3, можно сделать вывод, что режимы работы ЦБН 7V-3/85-1,54 на КС "Смоленская" в течение 2007 г. варьировались в пределах от 4450 до 5310 мин<sup>-1</sup>



Основные технические характеристики ГПА и ЦБН на КС "Краснодарская", "Егорлык", "Октябрьская"

| Компрессорная станция | Тип ГПА   | Номинальная мощность ГПА, кВт | Тип ЦБН        | Частота вращения силовых турбин, мин <sup>-1</sup> (на номинальном режиме) |
|-----------------------|-----------|-------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| "Егорлык"             | ГПА Ц-6,3 | 6300                          | НЦ-6,3-56-1,45 | 8200                                                                       |
| "Октябрьская"         | ГПА Ц-6,3 | 6300                          | Н-196-1,45     | 8200                                                                       |
| "Краснодарская"       | ГТУ 12П   | 12 000                        | 7V-3/100-1,7   | 6500                                                                       |

при номинальном значении, равном 5300 мин<sup>-1</sup>. При этом наработка на номинальном режиме составила 122 ч.

Анализируя данные, представленные на рис. 4, можно сделать вывод, что режимы работы ЦБН 7V-3/100-1,7 на КС "Краснодарская" в период с 01.11.2007 г. по 17.09.2008 г. варьировались в пределах от 4560 до 6510 мин<sup>-1</sup> при номинальном значении, равном 6500 мин<sup>-1</sup>. При этом наработка на номинальном режиме составила 50 ч.

Для изучения влияния режимов работы центробежных нагнетателей на уровни генерируемого ими шума в рамках настоящей работы в 2008 г. были проведены акустические испытания на КС "Краснодарская", "Егорлык" и "Октябрьская".

Основные технические характеристики ГПА, а также исследуемых в процессе проведения акустических испытаний центробежных нагнетателей приведены в таблице.

Результаты изучения влияния режима работы на процесс шумообразования центробежных нагнетателей на КС "Краснодарская", "Егорлык", "Октябрьская" приведены на рис. 5–7.

Анализируя данные, представленные на рис. 5, можно сделать вывод, что в результате изменения режимов работы ЦБН 7V-3/100-1,7 при проведении акустических испытаний на КС "Краснодарская" разница между максимальным и минимальными эквивалентными уровнями шума составила 4 дБА, тогда как в октавных полосах частот уровень шума варьируется от 4 до 8 дБ.

Анализируя данные, представленные на рис. 6, можно сделать вывод, что в результате изменения режимов работы ЦБН НЦ-6,3-56-1,45 при проведении акустических испытаний на КС "Егорлык" разница между максимальным и минимальными

эквивалентными уровнями шума составила 6 дБА, тогда как в октавных полосах частот уровень шума варьируется от 2 до 11 дБ.

Анализируя данные, представленные на рис. 7, можно сделать вывод, что в результате изменения режимов работы ЦБН Н-196-1,45 при проведении акустических испытаний на КС "Октябрьская" разница между максимальным и минимальными эквивалентными уровнями шума составила 5 дБА, тогда как в октавных полосах частот уровень шума варьируется от 2 до 7 дБ.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе эксплуатации режимы работы центробежных нагнетателей на КС магистральных газопроводов варьируются в достаточно широких пределах. Соответственно в широких пределах варьируются эквивалентные уровни шума ЦБН, а еще более — уровни шума в октавных полосах частот. Поэтому на стадии проектирования КС магистральных газопроводов и разработки мероприятий по шумозащите необходимо учитывать влияние режимов работы агрегатов на процесс шумообразования.

#### Список литературы

1. Данные официальные сайта ОАО "Газпром".
2. ВРД 39-1.10-006—2000 "Правила технической эксплуатации магистральных газопроводов". М.: ООО "ВНИИГАЗ", 2000.
3. Учебно-методический комплекс "Безопасность жизнедеятельности" Кафедра инженерной экологии и охраны труда Московский энергетический институт (ТУ).
4. Информационное письмо ООО "Газобезопасность" № 04-24/841 02.06.2008 г. "О состоянии производственного травматизма за 1-й квартал 2008 г.".
5. Терехов А. Л. Шум газоперекачивающих агрегатов на компрессорных станциях магистральных газопроводов и способы его снижения. — М.: ООО "ВНИИГАЗ". 2003. — 494 с.

## АНОНС!

В следующем номере журнала в этом разделе будет опубликована статья авторов  
А. П. Зиновьева, С. А. Зиновьева, Г. И. Рыжова, И. Г. Рыжова

**"ПРОМЫШЛЕННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ  
НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИЕЙ"**

УДК 574:368.371

**О. М. Афанасьев,**

Управление ОЖД — филиала ОАО "РЖД",

**А. В. Панин,** д-р техн. наук, проф.,

Петербургский государственный университет путей сообщения,

e-mail: 1945alex1974@mail.ru

## Снижение экологических рисков производственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта путем внедрения технологии переработки образующихся жидких нефтесодержащих отходов

*Рассмотрен наиболее перспективный способ снижения экологических рисков накопления жидких нефтесодержащих отходов (ЖНО) на территории предприятий железнодорожного транспорта и тем самым уменьшения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с проливами ЖНО. Этот способ заключается в оптимизации общей схемы утилизации ЖНО и внедрении ресурсосберегающих технологий переработки.*

**Ключевые слова:** жидкие нефтесодержащие отходы, переработка, топливный экологический композит.

*Afanasiev O. M., Panin A. V. Reduction of ecological risks caused by industrial activity of the railway transport enterprises at introduction of liquid oil-containing waste processing technology*

*The most effective way of considerable decrease in ecological risks at oil-containing waste formation and accumulation on enterprises territories is optimization of the general harvesting scheme with introduction of resources saving processing technologies.*

**Keywords:** liquid oil-containing waste, recycling, fuel ecological composite.

### Введение

Наибольшую опасность по сумме техногенных факторов и экологических рисков по отношению к окружающей природной среде представляют возникающие в процессе добычи, транспортировки, хранения и использования нефтепродуктов аварийные ситуации. Общее количество чрезвычайных ситуаций, связанных с проливами нефтепродуктов на железнодорожном транспорте, по данным Межведомственной комиссии по экологической безопасности России [1], достигает 30 %.

Потенциальная экологическая опасность и риск возникновения аварийной ситуации при хранении нефтесодержащих продуктов и отходов на территории предприятия увеличиваются пропорционально их общему объему накопления. Поэтому в целях снижения экологических рисков и соответствия требованиям государственных контролирующих органов при неизменности общей схемы утилизации ЖНО необходимо внедрение комплекса специальных мер по предотвращению и ликвидации последствий аварийных разливов нефтеотходов (ЛАРН). Альтернативой внедрению дорогостоящих технологий и оборудования ЛАРН служит разработка специализированных схем утилизации ЖНО, направленных в соответствии с Экологической Доктриной РФ [2] и Экологической стратегией развития ОАО "РЖД" на ресурсосбережение и применение в технологических процессах производства вторичных продуктов.

### 1. Действующая на железнодорожном транспорте схема утилизации жидких нефтесодержащих отходов

Первым шагом построения такой схемы на Октябрьской железной дороге (ОЖД) с ежегодным объемом образования свыше 2 тыс. т ЖНО стало введение в действие с 5 июня 2006 г. указания начальника Дороги № 239/У "Об организации сбора, контроля качества и учета отгрузки отработанных нефтепродуктов", определившее порядок осуществления централизованного сбора и утилизации ЖНО специализированным предприятием ООО "Роса-1". Указанием было закреплено отнесение собственного производственного отхода железной дороги — ЖНО к ценному ресурсосберегающему источнику производства вторичных нефтепродуктов, стоимость которого напрямую зависит от качества сырья. Это позволило частично решить вопрос оптимизации затрат на утилизацию отходов производства.

Однако существующая схема управления ЖНО по-прежнему остается малоэффективной как в экологическом, так и в экономическом планах:

- продажа отработанных масел в качестве вторсырья для последующей переработки экономически нецелесообразна, так как стоимость готового продукта, прошедшего регенерацию или первичную переработку, многократно возрастает;
- нефтешламы и всплывающие пленки нефтеуловителей ввиду трудоемкости процессов сбора и переработки по-прежнему утилизируются сторонними специализированными предприятиями за отдельную плату;
- несоблюдение специализированным предприятием установленной периодичности вывоза образующихся ЖНО влечет за собой возникновение аварийных и чрезвычайных ситуаций и, как следствие, наложение государственными контролирующими органами штрафных санкций;
- выполнение установленного на предприятии графика вывоза ЖНО сопряжено с трудностью нахождения соответствующего лицензированного предприятия;
- накопление и хранение всего объема образующихся на железной дороге отработанных масел на территории нескольких локомотивных депо отрицательным образом влияет на экологическую безопасность производственных процессов.

## **2. Принципы построения максимально эффективной схемы утилизации ЖНО**

Решением означенных проблем является построение логистико-организационной схемы обращения с жидкими нефтесодержащими отходами предприятий железнодорожного транспорта, предусматривающей организацию единой системы сбора, учета, накопления и утилизации всего спектра образующихся ЖНО, что при внедрении экономически эффективных природоохранных технологий приведет к значительному сокращению ресурсопотребления и сможет гарантировать получение дополнительных доходов за счет реализации коммерческой продукции сторонними организациями. Разработка такой схемы должна основываться на данных отечественного и зарубежного опыта внедрения комплексов финансово-правовых мер, направленных на построение экологически безопасных путей утилизации ЖНО, и данных о фактическом положении с товарно-транспортной нагрузкой инфраструктуры железной дороги. Учет реальных значений грузопассажирской нагрузки, сезонной динамики перевозок, пропускной способности железнодорожных участков, возможностей формирования подвижного состава и т. д. позволит в значительной мере повысить шансы на скорейшую и успешную реализацию проектируемой схемы.

Основными эколого-экономическими критериями разработки такой схемы утилизации ЖНО предприятий железнодорожного транспорта являются:

— снижение затрат на закупку нефтепродуктов за счет оптимизации производственно-технологических процессов (необходимо определить условия и возможность использования переработанных нефтепродуктов при обеспечении собственных производственных потребностей);

— обеспечение максимальной результативности процессов утилизации ЖНО (обеспечение строжайшего учета образующихся отходов, оптимизация процессов сбора и накопления, что приведет к росту объемов переработки и, как следствие, к увеличению объемов поступившего для продажи продукта);

— сочетание экологических и экономических интересов (обеспечение требований природоохранного Законодательства и внутренней нормативно-методической документации организации должно выполняться наиболее целесообразным с экономической точки зрения способом).

Условием экологической эффективности и инвестиционной результативности данной схемы является применение на этапе утилизации нефтесодержащих отходов комплексной технологии переработки ЖНО в экономически востребованный продукт — топливный экологический композит (ТЭК). Исходными данными для разработки такой технологии является информация о фактических объемах образования ЖНО на предприятиях ОЖД по следующим признакам:

- административно-территориальная принадлежность предприятия-загрязнителя, так как географическое расположение и административная принадлежность предприятий-загрязнителей в привязке к железнодорожной инфраструктуре определяют их территориальное распределение, формируя при этом общую нелинейность объемов образования ЖНО от фактических границ и размеров железной дороги в регионе;
- функционально-технологическая характеристика предприятия-загрязнителя, определяемая спецификой производственных процессов предприятий различных функциональных служб ОЖД, определяющей не только тип и суммарное количество образующихся ЖНО, но и их качественно-количественный состав, сезонную динамику объемов образования, условия накопления и утилизации;
- физико-химические параметры образующихся отходов и их опасные свойства.

Выбор оптимального набора методов и наиболее эффективного технологического процесса утилизации образующихся отходов, будь то регенерация, переработка, повторное использование или захо-



Таблица 1

Вид и объемы образования жидких нефтесодержащих отходов на предприятиях ОЖД за 2006 год, т/год

| Вид ЖНО                                                          | Службы* ОЖД |       |       |       |      |       |        | Всего   |       |
|------------------------------------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|-------|--------|---------|-------|
|                                                                  | Т           | П     | НГС   | Э     | Ш    | НАТ   | Прочие | т/год   | %     |
| Синтетические и минеральные маслонефтеотходы                     | 769,45      | 93,46 | 5,01  | 37,60 | 4,06 | 19,01 | 31,10  | 959,69  | 47,24 |
| Всплывающие пленки нефтеуловителей, шламы нефти и нефтепродуктов | 938,85      | 0,75  | 92,69 | 0,00  | 0,83 | 0,00  | 16,53  | 1049,65 | 51,66 |
| Прочие ЖНО                                                       | 11,80       | 1,90  | 0,00  | 0,02  | 1,91 | 2,04  | 4,64   | 22,31   | 1,10  |
| Итого                                                            | 1720,1      | 96,11 | 97,70 | 37,62 | 6,80 | 21,05 | 52,27  | 2031,65 | —     |
|                                                                  | 84,67       | 4,73  | 4,81  | 1,85  | 0,33 | 1,04  | 2,57   | —       | 100   |

\* Т — локомотивная служба; П — служба пути; НГС — служба гражданских сооружений, водопотребления и водоотведения; Э — служба электрификации; Ш — служба автоматики и телемеханики; НАТ — автомобильное хозяйство.

ронение, во многом определяется физико-химическими параметрами исходной смеси ЖНО и потенциальной опасностью отходов для окружающей среды.

Собранные таким образом данные о виде и объемах образующихся на ОЖД нефтесодержащих отходов представлены в табл. 1.

Данные за 2006—2008 гг. характеризуют устойчивость объемов образования ЖНО и неизменности их функциональной принадлежности по службам ОЖД. Так, за 2007 г. зафиксировано незначительное увеличение по сравнению с 2006 г. общего объема накопления ЖНО (3,72 %) до уровня 2107,30 т.

В силу специфики производственной деятельности и особенности технологических режимов работы основными предприятиями-загрязнителями жидкими нефтесодержащими отходами на ОЖД являются локомотивные депо, на долю которых приходится до 80...85 % от годового объема образующихся на железной дороге ЖНО. При этом примерно половина общего объема образования ЖНО составляют отработанные синтетические и минеральные маслонефтеотходы. Оставшаяся часть приходится на ЖНО, образующиеся на очистных сооружениях предприятий: эмульсии, всплывающие пленки нефтеуловителей, шламы нефтепродуктов от мойки оборудования и зачистки емкостей хранения и перевозки нефтепродуктов.

Предпринятые в 2006 г. меры по внедрению на предприятиях системы централизованного сбора и утилизации отработанных масел обусловили невысокое содержание в них механических примесей (0,1...0,4 %) и воды (0,3...0,4 %). Однако анализ отобранных с соблюдением всех требований отраслевых стандартов проб нефтесодержащих отходов очистных сооружений выявил значительно более высокие концентрации механических примесей и воды — до 5,3...6,2 % и 24,2...26,2 %, соответственно, что определяет значительные трудности в процессе их утилизации. Однако, используя образующиеся на железнодорожных предприятиях отработанные масла в качестве концентрированной углеводород-

ной добавки к таким отходам, можно добиться значительного снижения затрат на переработку ЖНО нефтеуловителей очистных сооружений.

### 3. Разработка технологии утилизации ЖНО железнодорожного транспорта

Специфика образования нефтесодержащих отходов делает целесообразным разработку полностью ориентированной на потребности предприятий железнодорожного транспорта и всей отрасли в целом технологии переработки ЖНО, удовлетворяющей следующим требованиям:

- ориентация на утилизацию всего спектра железнодорожных ЖНО;
- учет специфики объемов образования отходов: сезонность, общая динамика, административно-территориальное расположение источников загрязнения, функциональная принадлежность и т. д.;
- направленность на извлечение максимального количества ценного нефтепродукта из общего объема отходов и сокращение уровня образующихся отходов переработки;
- достижение максимальной экономической эффективности за счет производства и последующей реализации сторонним организациям востребованного на топливно-энергетическом рынке продукта, снижения объемов капитальных и эксплуатационных затрат при соблюдении требований нормативной документации и Законодательства РФ;
- комплексный подход к извлечению углеводородной составляющей из ЖНО, предусматривающий минимизацию объемов образующихся отходов и утилизацию побочных продуктов переработки.

Для определения способа переработки всего комплекса жидких нефтесодержащих отходов железнодорожных предприятий в полном объеме накопления необходимо знать физико-химические свойства композиционной смеси ЖНО, приготовленной в описанном выше процентном соотноше-

Таблица 2

**Физико-химические свойства композиционных смесей  
выборочных локомотивных депо**

| Показатель                                             | Выборочные типовые предприятия |        |        |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------|--------|--------|
|                                                        | ТЧ-9                           | ТЧ-15  | ТЧ-31  |
| Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup> , при температуре:  |                                |        |        |
| 20 °С                                                  | 928                            | 934    | 937    |
| 60 °С                                                  | 917                            | 920    | 927    |
| 80 °С                                                  | 898                            | 905    | 909    |
| Фракционный состав по Богданову, °С н. к.:             | 266                            | 271    | 275    |
| 5 %                                                    | 300                            | 305    | 309    |
| 10 %                                                   | 331                            | 336    | 342    |
| 20 %                                                   | 374                            | 380    | 387    |
| 30 %                                                   | 405                            | 411    | 417    |
| Содержание:                                            |                                |        |        |
| воды, % масс.                                          | 12,5                           | 13,8   | 13,2   |
| механических примесей, %, при температуре:             |                                |        |        |
| 20 °С                                                  | 2,7                            | 3,0    | 3,3    |
| 60 °С                                                  | 2,4                            | 2,7    | 2,9    |
| 80 °С                                                  | 2,2                            | 2,3    | 2,5    |
| Фракционный состав механических примесей, %:           |                                |        |        |
| свыше 500 мкм                                          | 61,7                           | 59,5   | 57,4   |
| от 50 до 500 мкм                                       | 38,0                           | 40,0   | 42,0   |
| менее 50 мкм                                           | 0,3                            | 0,5    | 0,6    |
| Вязкость кинематическая, сСт, при температуре:         |                                |        |        |
| 20 °С                                                  | 736                            | 730    | 741    |
| 40 °С                                                  | 245                            | 232    | 279    |
| 60 °С                                                  | 78                             | 74     | 80     |
| 80 °С                                                  | 56                             | 52     | 57     |
| 100 °С                                                 | 17                             | 17     | 20     |
| Групповой состав, % масс., углеводороды:               |                                |        |        |
| парафино-нафтеновые                                    | 23,1                           | 27,5   | 25,3   |
| ароматические, в т. ч.:                                | 60,1                           | 58,1   | 59,2   |
| легкие                                                 | 14,9                           | 14,0   | 14,3   |
| средние                                                | 19,6                           | 19,2   | 19,4   |
| тяжелые                                                | 25,6                           | 25,2   | 25,5   |
| смолы суммарные в т. ч.:                               | 15,4                           | 13,2   | 14,3   |
| смолы I                                                | 6,4                            | 4,5    | 5,2    |
| смолы II                                               | 9,0                            | 8,7    | 9,1    |
| асфальтены                                             | 1,4                            | 0,9    | 1,2    |
| Содержание:                                            |                                |        |        |
| серы, % масс.                                          | 0,6                            | 0,7    | 1,0    |
| водорастворимых кислот и щелочей                       | отсут.                         | отсут. | отсут. |
| зольность, % масс.                                     | 0,3                            | 0,2    | 0,4    |
| Температура, °С:                                       |                                |        |        |
| застывания                                             | -12                            | -10    | -11    |
| вспышки                                                | 180                            | 175    | 195    |
| Теплота сгорания в пересчете на сухое топливо, ккал/кг | 8580                           | 8410   | 8470   |

нии по массе (в соответствии с табл. 1). Для этой цели были исследованы предприятия, осуществляющие наибольший качественно-количественный вклад в общий объем образования нефтесодержащих отходов на предприятиях ОЖД. Физико-химические свойства полученных таким образом композиционных смесей ЖНО для выборочных локомотивных депо (ТЧ-9, ТЧ-15, ТЧ-31) приведены в табл. 2.

Различия в групповом составе таких композиционных смесей минимальны, при этом доля механи-

ческих примесей и воды не превышает 3,5 и 14,0 % соответственно. Схожесть физико-химических свойств смесей ЖНО различных локомотивных депо определяет возможность единого подхода к процессу дальнейшей переработки данного отхода.

Для вторичного использования ЖНО как исходного сырья для дальнейшей переработки или сжигания в топливных печах необходимо получить очищенный нефтепродукт с содержанием воды и механических примесей не более 1 %. [3].

В процессе исследований была изучена динамика изменения состава проб, деэмульгированных нефтерастворимым реагентом "Пента-494", после центрифугирования их в термостатирующей центрифуге фирмы "ALFA LAVAL". Исследование заключалось в нахождении оптимального сочетания скорости и времени вращения центрифуги при заданной температуре и концентрации деэмульгатора, введенного в разогретую до 60...65 °С смесь.

Остаточное содержание воды в композиционной смеси с концентрацией деэмульгатора 600 мг/л достигает заданного уровня в 1 % уже после 20 мин центрифугирования при температуре 60 °С и скорости вращения 2500 мин<sup>-1</sup>, количество механических примесей при этом составляет 0,6...0,9 %.

Влияние параметров работы тарельчатой центрифуги на содержание воды в исследуемых композиционных смесях графически представлено на рис. 1.

Исследования показали, что достижение заданных показателей переработки наиболее оптимальным путем с точки зрения экономии времени центрифугирования и количества применяемого деэмульгатора выполняется при соблюдении следующих условий:

- концентрация нефтерастворимого деэмульгатора "Пента-494" в композиционной смеси 550...600 мг/л;
- температура композиционной смеси в течении всего процесса переработки 60...65 °С;
- скорость вращения тарельчатой центрифуги 2500 мин<sup>-1</sup>;
- время центрифугирования смеси ЖНО до 20 мин.

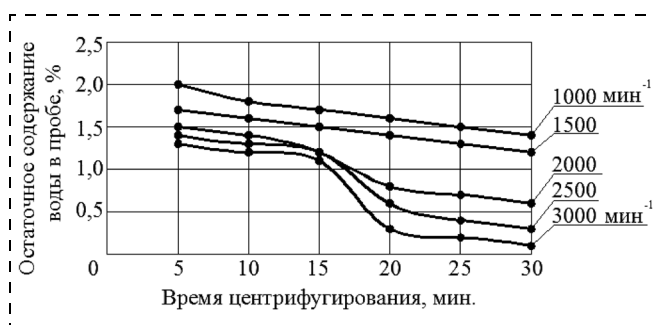


Рис. 1. Характер зависимости обезвоживания композиционной смеси от частоты вращения центрифуги



Физико-химические свойства коммерческого продукта после переработки ЖНО железнодорожного транспорта

Таблица 3

| Показатель                                                 | Продукт переработки композиционной смеси ЖНО |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| Плотность смеси, кг/м <sup>3</sup> , при температуре 20 °С | 908                                          |
| Фракционный состав по Богданову, °С н. к.:                 | 261                                          |
| 5 %                                                        | 297                                          |
| 10 %                                                       | 328                                          |
| 20 %                                                       | 370                                          |
| 30 %                                                       | 399                                          |
| Содержание, % масс.:                                       |                                              |
| воды                                                       | 0,6...0,8                                    |
| механических примесей                                      | 0,7                                          |
| Вязкость кинематическая, сСт, при температуре:             |                                              |
| 20 °С                                                      | 726                                          |
| 40 °С                                                      | 224                                          |
| 60 °С                                                      | 71                                           |
| 80 °С                                                      | 49                                           |
| 100 °С                                                     | 16                                           |
| Групповой состав, % масс., углеводороды:                   |                                              |
| парафино-нафthenовые                                       | 22,9                                         |
| ароматические, в т. ч.:                                    | 63,6                                         |
| легкие                                                     | 16,2                                         |
| средние                                                    | 21,2                                         |
| тяжелые                                                    | 26,2                                         |
| смолы суммарные в т. ч.:                                   | 12,6                                         |
| смолы I                                                    | 3,9                                          |
| смолы II                                                   | 8,7                                          |
| асфальтены                                                 | 0,9                                          |
| Содержание:                                                |                                              |
| серы, % масс.                                              | 0,6                                          |
| водорастворимых кислот и щелочей                           | отсут.                                       |
| зольность, % масс.                                         | 0,2                                          |
| Температура, °С:                                           |                                              |
| застывания                                                 | -8                                           |
| вспышки                                                    | 150                                          |
| Теплота сгорания в пересчете на сухое топливо, ккал/г      | 8650                                         |

Результатом применения данной технологии является получение топливного экологического композита, свойства которого соответствуют ГОСТ 10585—99 на топливные энергоносители котельных установок, работающих на жидком топливе, и представлены в табл. 3.

#### 4. Аппаратурная реализация технологии переработки ЖНО в топливный экологический композит

##### 4.1. Техничко-технологическая реализация установки по переработке ЖНО предприятий ОЖД в топливный экологический композит

В процессе переработки образуются побочные продукты в виде нефтезагрязненной воды и нефтесодержащего осадка механических примесей, которые, в соответствии с предъявляемыми к технологии требованиями, подлежат дальнейшей очистке и утилизации.

Так как аппаратурная реализация данной технологии предполагает наличие не только узлов прямой переработки ЖНО, но и накопительных емкостей, перекачивающих насосов, запорной арматуры, установок переработки образующихся отходов и т. д., то в процессе утилизации ЖНО рассмотренным выше способом необходимо выполнить следующие технологические операции:

- термогравитационное отстаивание ЖНО в приемной емкости;
- грубая первичная фильтрация смеси на механическом сетчатом фильтре;
- приготовление суспензии нефтесодержащих отходов и деэмульгатора;
- деэмульгирование ЖНО в центробежном поле;
- очистка образующихся в процессе переработки нефтезагрязненных вод;
- сбор и термическое обезвреживание нефтесодержащего осадка;
- сбор и накопление ТЭК и образующейся в результате сжигания нефтесодержащего осадка золы.

Структурная схема установки по переработке ЖНО предприятий Октябрьской железной дороги в топливный экологический композит, реализующая единым комплексом означенные технологические процессы, представлена на рис. 2.

Отстаивание и разогрев ЖНО выполняется в приемной емкости 1 объемом 50 м<sup>3</sup>, представляющий собой железнодорожную цистерну, герметично разделенную пополам продольной перегородкой, что позволяет без особых затруднений очищать днище емкости от образующегося осадка без остановки производственного цикла. Кроме того, в емкости предусмотрена возможность слива образующейся нефтезагрязненной воды через патрубок в нижней части цистерны на электрохимический комплекс очистки сточных вод ЭХО-К-0,5 (5).

Для удаления из утилизируемой смеси основной массы механических частиц (60...65 %) в соответствии с физико-химическими свойствами отходов достаточно будет механического фильтра 2 типа ФМС диаметром 500 мм с размером ячейки 0,5 мм. Предусмотренный механизм автоматической замены фильтра обеспечивает постоянное качество очистки без приостановки процесса переработки. Нефтесодержащий осадок с фильтра счищается вручную и отправляется на сжигание в установку утилизации отходов "Форсаж-1" 6.

Добавление реагента к профильтрованной смеси ЖНО осуществляется с помощью автоматического дозирующего устройства, смонтированного в составе реакционной емкости 3 с паровым обогревом объемом 10 м<sup>3</sup>. В емкости 3 осуществляется приготовление суспензии путем добавления к смеси

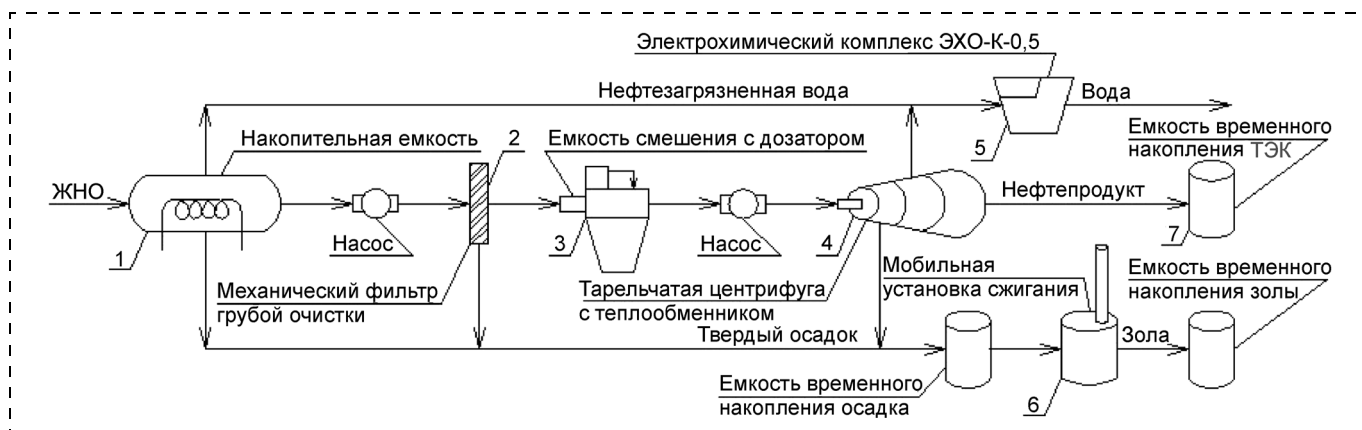


Рис. 2. Структурная схема установки по переработке ЖНО предприятий ОЖД в топливный экологический композит

деэмульгатора и их перемешивание механическим способом.

Итоговое разделение ЖНО на составляющие происходит в центробежном поле тарельчатой центрифуги "ALFA LAVAL" со встроенным теплообменником 4. Под действием центробежных сил эмульсия движется одновременно вдоль барабана и радиально по направлению к боковой стенке. В то время как механические частицы образуют на стенках центрифуги слой твердого осадка, получаемый нефтепродукт формирует внутреннее кольцо обрабатываемой смеси. При этом разделяющая нефтепродукт и осадок вода непрерывно отводится из барабана сепаратора на комплекс 5.

Выделенный нефтепродукт с центрифуги поступает в емкость временного хранения 7 объемом  $10 \text{ м}^3$ , откуда по мере необходимости направляется потребителям. При загрузке установки на уровне 2 тыс. т в год ориентировочный объем получаемого ТЭК составит 1,6...1,7 тыс. т.

#### 4.2. Очистка образующихся в результате переработки нефтезагрязненных вод

Нефтезагрязненная вода с центрифуги 4 и приемной цистерны 1 отводится в емкость приема стоков электрохимического комплекса 5 (см. рис. 2), где происходит усреднение состава производственных стоков.

Количество образующейся нефтезагрязненной воды при переработке всего объема ЖНО предприятий ОЖД составляет ориентировочно от 200 до 300  $\text{м}^3/\text{год}$ , т. е. 0,6...1,0  $\text{м}^3/\text{сутки}$  (около 12,5 % от общего объема ЖНО).

Электрохимический комплекс "ЭХО-К-0,5" предназначен для комплексной очистки сточных вод от взвешенных веществ, ПАВ, нефтепродуктов, жиров и масел, растворенных органических веществ, фторидов, фенолов, тяжелых металлов и комплексонатов до степени, позволяющей использовать их для создания циклов оборотного водоснабжения

либо для сброса в городской коллектор и водоемы рыбохозяйственного назначения. Реализованная в комплексе на начальном этапе очистки комбинация процессов электрокоагуляции и флотации избавляет от необходимости применения механических фильтров и существенно снижает концентрации основных загрязнителей. Для удаления органических соединений применяется процесс анодного окисления. Окисленные таким образом органические соединения практически полностью сорбируются модифицированными азотсодержащими углями сорбционных фильтров финальной стадии очистки. Последующее удаление тяжелых металлов с помощью ионного обмена обеспечивает окончательную очистку исходной нефтезагрязненной воды.

Содержание загрязняющих веществ исходных нефтесодержащих стоков существенно ниже уста-

Таблица 4

Параметры эффективности очистки производственных стоков комплексом электрохимической очистки "ЭХО-К-0,5"

| Контролируемый показатель | Максимальная концентрация загрязняющих веществ, $\text{мг}/\text{дм}^3$ |                 |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|                           | до комплекса                                                            | после комплекса |
| Азот аммонийный           | 50                                                                      | 1,5             |
| Алюминий                  | 70                                                                      | 0,1             |
| БПК <sub>5</sub>          | 1500                                                                    | 3,0             |
| pH                        | 4...11                                                                  | 6,5             |
| Взвешенные вещества       | 2500                                                                    | 1,0             |
| Железо общее              | 70                                                                      | 0,1             |
| Марганец                  | 70                                                                      | 0,07            |
| Медь                      | 70                                                                      | 0,02            |
| Нефтепродукты             | 1500                                                                    | 0,05            |
| Никель                    | 70                                                                      | 0,05            |
| Ртуть                     | 0,1                                                                     | 0,00005         |
| СПАВ (анионные)           | 1000                                                                    | 0,1             |
| Фенолы                    | 50                                                                      | 0,001           |
| Цинк                      | 70                                                                      | 0,05            |



новленных значений максимальных концентраций загрязнителей на входе комплекса электрохимической очистки. Эффективность очистки нефтезагрязненной воды комплексом электрохимической очистки "ЭХО-К-0,5" может быть оценена по данным табл. 4.

Очищенная таким образом вода поступает в оборот на технические нужды предприятия, в том числе и на подготовку пара, используемого в производственных процессах установки по переработке ЖНО.

#### 4.3. Утилизация комплекса нефтесодержащих осадков методом термического обезвреживания

Необходимо подчеркнуть, что рассматриваемой технологией предусмотрено образование нефтесодержащего осадка механических частиц на следующих стадиях процесса переработки:

- накопления в приемной емкости, где под действием гравитационных сил и подводимой теплоты происходит первичное разделение фаз;
- фильтрации комплексной смеси ЖНО на механическом фильтре грубой очистки, где удаляются наиболее крупные частицы;
- термореагентной очистки нефтепродукта в центробежном поле тарельчатой центрифуги, где происходит выделение нефтесодержащего обводненного мелкодисперсного осадка;
- очистки нефтезагрязненных вод в компании "ЭХО-К-0,5", приводящей к образованию вспученного осадка взвешенных веществ.

Выделенный в результате центрифугирования ЖНО осадок представляет собой влажную вязкую массу темно-коричневого цвета с характерным запахом нефтепродуктов. Шлам не обладает достаточной для удержания фиксированной формы механической прочностью. Высокое содержание воды и мелкодисперсный характер частиц механических примесей определяют высокую вязкую пластичность осадка. Осадок, снимаемый с металлической сетки фильтра грубой очистки, как и осевший при отстаивании ЖНО в приемных емкостях, состоит из крупнодисперсных частиц неорганического состава, поверхность которых покрыта слоем нефте-

продуктов. Данные по составу осадков механических частиц, образующихся на различных этапах переработки ЖНО, сведены в табл. 5.

Содержание нефтепродуктов в шламе, образующемся после центрифугирования, не превышает 5 % при общей обводненности до 38,3 %, что характеризует данный осадок, на долю которого приходится до 60 % от общего объема образующихся механических примесей как малоопасный или практически не опасный для окружающей среды производственный отход. Максимальное же содержание нефтепродуктов было обнаружено в осадке фильтра грубой очистки (до 28,1 %). При ежегодном объеме перерабатываемых ЖНО в пределах 2 тыс. т, суммарное количество образующегося осадка ориентировочно составит 120...140 т. Предусмотренные технологией этапность технологических процессов, их длительность и прочие параметры определяют ориентировочный состав объединенного осадка: нефтепродукты — 9...10 %, вода — 40...45 %, механические примеси — 45...50 %.

Учитывая образующееся при переработке ЖНО количество нефтезагрязненного осадка, его утилизация может быть реализована при помощи сертифицированной мобильной установки сжигания "Форсаж-1" (ТУ 3116-003-40443658—2002). Используемые в установке простые конструктивные решения позволяют достичь высокой температуры горения (около 1000 °С) в камере дожигания, которая обеспечивается интенсивной подачей воздуха и периодической подачей дизельного топлива через форсунку в камеру сгорания, в результате чего сводится к минимуму содержание загрязняющих веществ в отходящих из установки газах. При этом в установке происходит практически полное сгорание отходов, остаток в виде золы составляет не более 3...5 % от объема загруженных отходов. Образующаяся при сжигании зола может быть использована для подсыпки территории предприятия и в качестве добавки при производстве асфальтоукладочных работ. Использование данной установки разрешено Ростехнадзором (№ РРС 00-23007 от 06.12.06 г.) и СЭС г. Москвы (№ 77.01.30.311.Т.06204.03.3 от 20.03.03 г.).

Состав нефтесодержащих осадков (%)  
установки переработки ЖНО

| Контролируемый показатель | Этапы переработки ЖНО |           |                         |                           |
|---------------------------|-----------------------|-----------|-------------------------|---------------------------|
|                           | После отстаивания     | С фильтра | После центрифугирования | С водоочистного комплекса |
| Нефтепродукты             | 18,1                  | 27,4      | 3,8                     | 4,5                       |
| Вода                      | 51,9                  | 48,5      | 37,4                    | 84,5                      |
| Взвешенные вещества       | 30,0                  | 24,1      | 58,8                    | 11,0                      |

#### Выводы

Использование разработанной технологии позволит не только максимально эффективно избавиться от жидких нефтесодержащих отходов производства 3 и 4 классов опасности, получив при этом востребованный на топливно-энергетическом рынке продукт, но и, переработав образующиеся отходы, вернуть в оборот на технические нужды очищенную воду, использовать на собственные нужды предприятия образующуюся золу.

Кроме того, в схеме утилизации ЖНО предприятий ОЖД исключен этап их длительного накопления всего объема отходов, так как поступившие на установку отходы сразу вовлекаются в процесс переработки. Это позволит значительно снизить экологические риски хранения пожароопасных отходов с опасными для окружающей природной среды физико-химическими свойствами на территории действующих производственных предприятий железнодорожного транспорта.

При этом, ценность полученного продукта, постоянство объемов образования отходов, развитая инфраструктура железнодорожного транспорта позволяют достичь не только сугубо экологических эффектов, но и высокой финансово-экономической результативности внедрения данной технологии.

#### Список литературы

1. **Чрезвычайные** ситуации: статистические данные, оценка потенциальных опасностей, прогноз на предстоящий год / Извлечения из Государственного доклада "О состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2006 году" // Экологический вестник России. — 2007. — № 6. — С. 46.
2. **Экологическая** Доктрина РФ (одобрена распоряжением Правительства РФ от 31 августа 2002 г. № 1225-р).
3. **ГОСТ 10585—99** "Топливо нефтяное. Мазут".
4. **Охрана** окружающей среды и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте / Под ред. Н. И. Зубрева, Н. А. Шарповой. М., 1999. — С. 380—388.
5. **Комплексные** технологии утилизации отходов: Учебное пособие для вузов ж. д. транспорта / Л. Б. Сватовская, Н. И. Якимов // УМЦ ЖДТ, 2007. — С. 172—185.
6. **Экологические** аспекты перевозки грузов и пассажиров: Сборник работ / С. К. Петров, Ф. В. Сухов. — М.: Ладога, 2006. — С. 48—65.

УДК 621.182

**В. И. Вавилов**, асп.,

Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск,  
e-mail: pkd\_tynda@amurpost.com

## Эффективное сжигание низкосортных углей на двухъярусной топке

*Рассматривается проблема сжигания низкосортных твердых топлив в котлах малой и средней тепловой мощности в условиях БАМа. Предложены новые технические решения по модернизации конструкции топочных устройств котлов, работающих со слоевыми топками, повышающие полноту сжигания топлива и уменьшающие загрязнение атмосферы.*

**Ключевые слова:** двухъярусная топка, низкосортный уголь, паровой котел, эффективное сжигание угля, реконструкция.

**Vavilov V. I. Effective burning of coal double-deck furnace**

*The problem of burning low-grade firm fuel in boilers of small and medium thermal capacity in conditions BAM is considered. New technical decisions on modernization of a design of the boilers raising completeness of burning of fuel and an atmosphere reducing pollution are offered.*

**Keywords:** double-deck furnace, low-grade coal, steam boiler, effective burning of coal, reconstruction.

Ускорение развития топливно-энергетического комплекса страны базируется, в основном, на органическом топливе, прежде всего на угле, нефте-

продуктах и природном газе. В последнее время ставится задача последовательного вытеснения больших объемов весьма ценных нефтепродуктов из сферы котельно-печного топлива путем его замены другими видами, в частности, путем вовлечения в топливный баланс страны в крупных масштабах дешевых низкосортных углей восточных месторождений.

К низкосортным энергетическим топливам относятся угли с высоким содержанием влаги и золы, а также с большим количеством мелких фракций. Котельный парк теплоснабжающих предприятий территорий БАМа использует для своей работы низкосортный уголь Нерюнгринского месторождения (Саха Якутия), сжигание которого в слоевых топках сопряжено со сверхнормативными тепловыми потерями и, в первую очередь, с механическим недожогом, уровень которого достигает 45 % и более. Использование углей Нерюнгринского месторождения в зоне БАМа и прилегающих территориях осуществляется с начала 70-х годов прошлого столетия. Именно строительство БАМа дало толчок интенсивной эксплуатации Нерюнгринского месторождения и выходу его углей на внутренний рынок РФ. Приход транспортной сети в регион и начало строительства жилых поселков с развитой инфраструктурой повлекли за собой интенсивное развитие объектов теплоснабжения.



Роль низкосортных топлив в топливно-энергетическом балансе страны становится все более существенной, и в перспективе низкосортное топливо станет основным среди твердых органических топлив, сжигаемых на электростанциях и в котельных малой и средней мощности. К этому есть достаточно оснований. Во-первых, наша страна обладает весьма большими запасами низкосортного топлива, в первую очередь бурого угля. Во-вторых, разработка и внедрение новых топочных решений, а также реконструкция и модернизация эксплуатирующихся топок, которые обеспечат максимальную эффективность сжигания высокозольных и высоковлажных углей, что открывают реальные перспективы высокоэффективного использования низкосортного топлива в больших масштабах [1, 2].

Переход к использованию в энергетике низкосортных топлив на основе традиционных способов подготовки и сжигания связан с определенными и весьма серьезными трудностями. Применяемое в котельных оборудование недостаточно приспособлено для эффективного сжигания низкосортных топлив с высокой влажностью и большим содержанием мелких фракций. К сожалению, на Северных дальневосточных территориях России эксплуатируются сотни котельных малой и средней тепловой мощности, техническое состояние которых не соответствует современным требованиям к уровню развития теплоэнергетики. Большинство таких котельных укомплектовано котлоагрегатами, работающими с факельно-слоевыми топочными устройствами типа ТЛЗМ-2 и ТЧЗМ-2 Кусинского машиностроительного завода, на которых регламентировано сжигать сортированные угли с большим выходом летучих газов. Теплоснабжающие предприятия фактически сжигают низкосортные угли в факельно-слоевых топках, установленных на котлах малой и средней мощности. Эти топки не обеспечивают в полной мере эффективный процесс горения (резко падает не только КПД (40...55 %), но и производительность котлов в целом). При этом возникают сопутствующие проблемы, вызванные увеличением выбросов загрязняющих веществ в воздушный бассейн. В топочных устройствах типа ТЧЗМ-2 и ТЛЗМ-2 не предусматривается сжигание низкосортного (сильно пылящего) угля по следующим конструктивно-компоновочным признакам:

- подавляющее большинство топочных пространств, слоевых топок максимально экранировано вследствие отсутствия зажигающего пояса, что не позволяет эффективно сжигать частицы топлива, находящиеся во взвешенном состоянии в газовой потоке;

- живое сечение колосникового полотна механических слоевых топок, составляющее 13...15 % от общей площади зеркала горения для низкосорт-

ных углей Нерюнгринского бассейна, является завышенным (на основании экспериментальных исследований автором статьи установлено, что оптимальная площадь живого сечения колосникового полотна должна составлять менее 7 %);

- в слоевых топках не предусмотрено выполнение механической операции шурования слоя, что приводит к увеличению механического недожога и потере теплоты со шлаком.

При указанных условиях сжигание низкосортного твердого топлива в слоевых топках котлоагрегатов приводит к его перерасходу и, как следствие, повышению затрат теплоснабжающих предприятий на производство тепловой энергии.

Эффективность работы теплоснабжающих предприятий в суровых климатических условиях БАМа и Дальнего Востока зависит не только от технического состояния эксплуатируемого оборудования, но и от качества используемого твердого топлива, уровня эксплуатации и административно-географического расположения Дальневосточного региона. Необходимо отметить, что эксплуатация объектов теплоснабжения в особых условиях БАМа, приравненных к территориям Крайнего Севера, определяется следующими факторами:

- сокращением потребления тепловой энергии в современных условиях существования различных отраслей производства в районах Дальнего Востока, при которых коэффициент использования котельного оборудования предприятиями БАМа снизился до значения 0,28 и менее;

- неразвитостью транспортной инфраструктуры территорий Дальнего Востока;

- суровыми климатическими условиями (отопительный период длится более 240 дней в году);

- предельным снижением ресурса теплотехнического оборудования (обновление основных фондов оборудования не производилось в течение 20 последних лет);

- отсутствием профильных специалистов по обслуживанию котельного оборудования (из-за оттока людских ресурсов с территорий БАМа и Дальнего Востока);

- поставкой некачественных углей, сжигание которых приводит к увеличению затрат на производство тепловой энергии;

- процесс горения в топочной камере неэффективен в период низких наружных температур (ноябрь, декабрь, январь, февраль), так как содержание атмосферного кислорода в это время значительно снижается.

Согласно результатам исследований, анализирующих работу теплоснабжающих предприятий Дальневосточной железной дороги и ГУП "Коммунальные системы БАМа" при сжигании низкосортных углей, средний уровень КПД паровых котло-



агрегатов за 2006—2008 гг. составил 56 %, а КПД водогрейных котлов 48 %.

В связи с этим представляют практический интерес принципиально новые технические решения по улучшению сжигания низкосортных углей в котельных ГУП "Коммунальные системы БАМа" Амурской области.

Автором разработана новая конструкция топочного устройства — **двухъярусная топка**, защищенная патентом [4].

Целью разработки двухъярусной топки явилось повышение эффективности и полноты сжигания низкосортного (сильно пылящего) твердого топлива, за счет самосортировки в процессе формирования слоя топлива на колосниковой двухъярусной решетке. Принципиальным отличием конструкции нового топочного устройства от известных является наличие двухъярусной колосниковой решетки. Конструкция двухъярусной решетки состоит из элементов подвижных и неподвижных колосников, расположенных в шахматном порядке и в двух уровнях с шурующей планкой и зажигающим поясом. Благодаря нестандартной конструкции топочного устройства значительно увеличивается коэффициент полезного действия котла за счет повышения полноты сгорания низкосортного твердого топлива, обеспечиваемого:

1) равномерным гидродинамическим сопротивлением слоя топлива на двухъярусной колосниковой решетке, в связи с этим отсутствуют предпосылки к кратерному горению;

2) эффективной самосортировкой топлива по фракционному составу на нормируемые классы (с размером частиц 6—13; 13—25; 25—40 мм) и ненормируемый класс (с размером менее 6 мм) в процессе формирования слоя топлива на решетке с положительным результатом 30...40 %), что обеспечивает эффективный процесс горения в нишах (подвижный колосник в нижнем положении) с последующим вовлечением в процесс горения мелких фракций, сгруппированных на неподвижных колосниках;

3) оснащением шурующей планкой, которая выполняет циклические операции, перемешивая и равномерно распределяя топливо по всей площади горения (эта операция не предусмотрена конструкцией слоевой топки);

4) наличием зажигающего пояса в двухъярусной топке, что максимально способствует интенсификации топочного процесса;

5) увеличением объема топочного пространства двухъярусной топки при устройстве зажигающего пояса, что способствует более полному сгоранию в газоздушном потоке летучих газов и пылевидных фракций угля;

Таблица 1

Итоговые результаты распределения фракций угля (%) в момент формирования слоя на подвижном колоснике

| Класс крупности, мм | Проба 4 | Проба 3 | Проба 2 | Проба 1 | Итого по классу 0—6 мм | Итого по классам 6—40 мм |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|------------------------|--------------------------|
| 0—6                 | 19,00   | 17,00   | 35,00   | 37,00   | 27,25                  | —                        |
| 6—13                | 21,50   | 26,00   | 18,00   | 11,50   | —                      | 19,25                    |
| 13—25               | 32,50   | 29,50   | 23,00   | 23,00   | —                      | 27,00                    |
| 25—40               | 27,00   | 26,50   | 24,00   | 28,50   | —                      | 26,50                    |
| Итого топлива       | —       | —       | —       | —       | 27,25                  | 72,75                    |

Таблица 2

Итоговые результаты распределения фракций угля (%) в момент формирования слоя на неподвижном колоснике

| Класс крупности, мм | Проба 4 | Проба 3 | Проба 2 | Проба 1 | Итого по классу 0—6 мм | Итого по классам 6—40 мм |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|------------------------|--------------------------|
| 0—6                 | 70,10   | 65,25   | 62,25   | 63,50   | 65,27                  | —                        |
| 6—13                | 19,75   | 22,25   | 24,00   | 24,00   | —                      | 22,50                    |
| 13—25               | 5,40    | 7,40    | 8,00    | 7,50    | —                      | 7,07                     |
| 25—40               | 1,75    | 5,10    | 5,75    | 5,00    | —                      | 5,15                     |
| Итого топлива       | —       | —       | —       | —       | 65,27                  | 34,75                    |

6) переходом процесса сжигания твердого топлива в топке по мере увеличения нагрузки от минимальной до номинальной и максимальной в состоянии кипящего слоя, чем достигается максимальная эффективность работы топочного устройства и котла в целом. Результаты экспериментальных исследований распределения фракций топлива по каждому элементу колосниковой решетки (подвижном и неподвижном колоснике) представлены в табл. 1 и 2.

Результаты сравнения распределения фракций угля в момент формирования кипящего слоя на колосниках (подвижном и неподвижном) приведены на рис. 1.

Низкосортный уголь самосортируется по фракциям за счет размера и удельного веса частиц топлива, что обеспечивается нестандартной конструкцией топки. Колосники с размерами 250 × 150 мм расположены в двух уровнях и в шахматном порядке (разность отметок уровня колосников 200 мм). Более крупные частицы угля группируются в нишах (подвижный колосник в нижнем положении), подавляющая масса мелких фракций — на неподвижных колосниках (верхний уровень решетки). Механическая подача угля осуществляется устройством ПМЗ-600 по продольной схеме высоты более 1 м в противоток восходящим топочным газам. Подвижные колосники перемещаются в вертикаль-

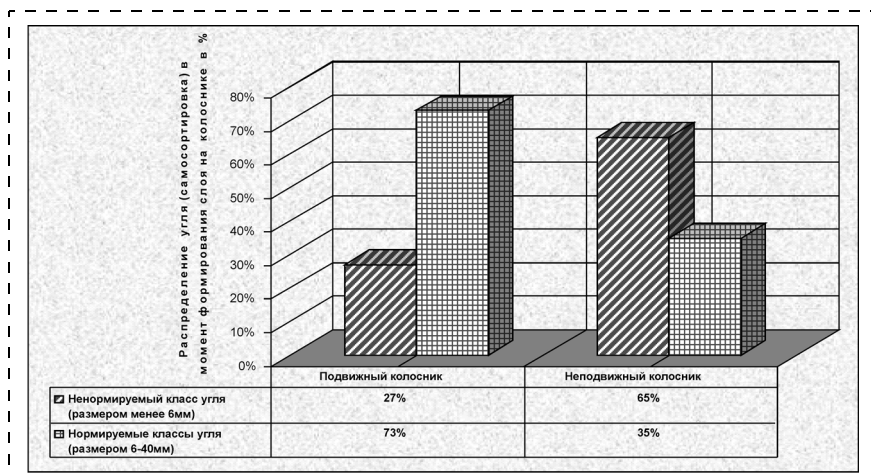


Рис. 1. Результаты распределения фракций угля по колосникам (подвижном и неподвижном) на двухъярусной решетке в процессе формирования кипящего слоя

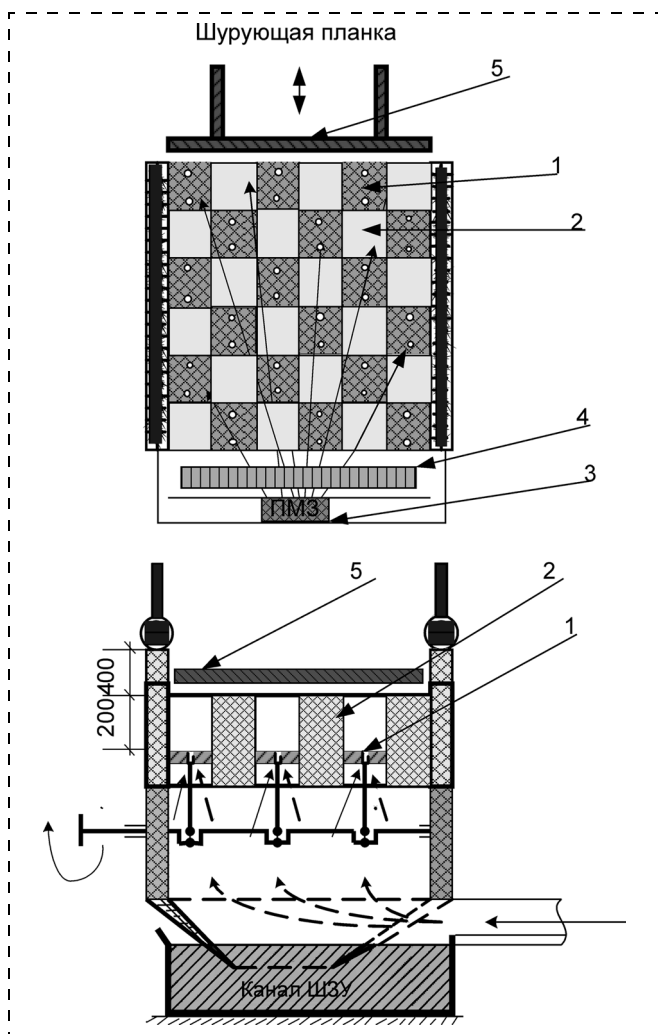


Рис. 2. Принципиальная схема двухъярусной топки (ШЗУ – шлакозолоудаление):

1 – подвижный колосник; 2 – неподвижный колосник; 3 – механический забрасыватель угля ПМЗ-600; 4 – шлаковый бункер; 5 – шурующая планка

ной плоскости вверх и вниз при прохождении шурующей планки и в соответствии с режимной картой.

Принципиальная схема двухъярусной топки представлена на рис. 2.

Как показали опыты по разделению фракций топлива в кипящем слое, сопротивление активной площади горения распределяется равномерно по колосниковой решетке двухъярусной топки, что исключает предпосылки для появления кратерного горения. Давление под решеткой 45...50 мм вод. ст. способствует переходу процесса горения топлива в состояние кипящего слоя с последующей устойчивой стабилизацией давления под решеткой в диапазоне 35...40 мм вод. ст. Такие значения параметров давления воздуха обеспечивают интенсивность дутья, превышающую предел устойчивости плотного слоя, и переход процесса горения в активную фазу, т. е. состояние горения в кипящем слое (рис. 3).

Тепловой баланс работы котла КВТС-10 со слоевой топкой типа ТЧЗМ-2 представлено на рис. 4. Аналогичные испытания реконструированного котла КВТС-10 с двухъярусной топкой были проведены с использованием технологии сжигания Нерюнгринского угля в кипящем слое. Тепловой баланс котлоагрегата КВТС-10 с двухъярусной топкой при сжигании угля в кипящем слое приведен на рис. 5.

Следует отметить, что в процессе исследования полученные данные по экологическому воздействию объектов теплоснабжения на окружающую среду носят в основном оценочный характер и в недостаточной мере систематизированы. Тем не менее

Следует отметить, что в процессе исследования полученные данные по экологическому воздействию объектов теплоснабжения на окружающую среду носят в основном оценочный характер и в недостаточной мере систематизированы. Тем не менее

Следует отметить, что в процессе исследования полученные данные по экологическому воздействию объектов теплоснабжения на окружающую среду носят в основном оценочный характер и в недостаточной мере систематизированы. Тем не менее

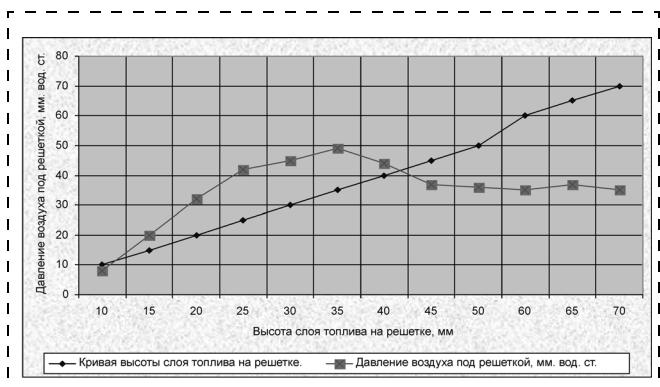


Рис. 3. Зависимость давления под решеткой и высоты слоя топлива на двухъярусной решетке при горении угля в кипящем слое

Величина удельных вредных выбросов, кг/Гкал, при работе котла с различными топками

| Топочное устройство  | Твердые частицы (1,0 кг/Гкал) | СО (50,6 кг/Гкал) | SO <sub>x</sub> (1,9 кг/Гкал) | NO <sub>x</sub> (0,31 кг/Гкал) |
|----------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Двухъярусная топка   | 1,85                          | 85,8              | 1,1                           | 0,45                           |
| Слоевая топка (ТЧЗМ) | 2,40                          | 127,0             | 1,2                           | 0,61                           |

Примечание. В заголовке в скобках указаны нормативные значения величины удельных вредных выбросов.

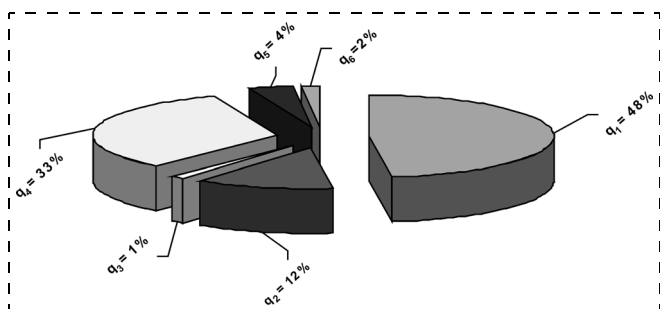


Рис. 4. Тепловой баланс работы котла КВТС-10 со слоевой топкой ТЧЗМ-2 при тепловой нагрузке  $Q = 5,8$  Гкал/ч:

$q_1$  — полезно использованная теплота (48 %);  $q_2$  — потери теплоты с уходящими газами (12 %);  $q_3$  — потери теплоты от химического недожога (1 %);  $q_4$  — потери теплоты от механического недожога (33 %);  $q_5$  — потери теплоты в окружающую среду (4 %);  $q_6$  — потери теплоты со шлаком (2 %)

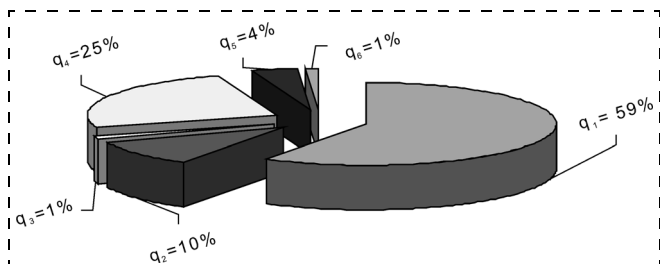


Рис. 5. Тепловой баланс работы котла КВТС-10 с двухъярусной топкой при тепловой нагрузке  $Q = 5,8$  Гкал/ч:

$q_1$  — полезно использованная теплота (59 %);  $q_2$  — потери теплоты с уходящими газами (10 %);  $q_3$  — потери теплоты от химического недожога (1 %);  $q_4$  — потери теплоты от механического недожога (25 %);  $q_5$  — потери теплоты в окружающую среду (4 %);  $q_6$  — потери теплоты со шлаком (1 %)

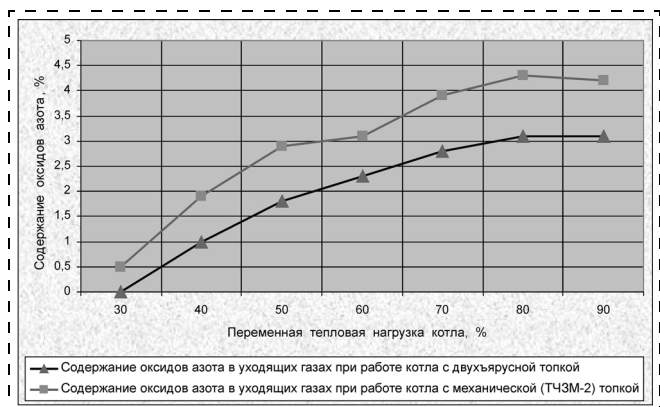


Рис. 6. Зависимости содержания оксидов азота в уходящих газах от тепловой нагрузки котлов

эти данные говорят о том, что влияние объектов теплоснабжения на окружающую среду значительно и требует обоснованных ограничений, которые могут быть реализованы только на базе надежного анализа вредных выбросов от источников загрязнения — котельных. Наибольшее затруднения у эксплуатационников вызывает решение проблемы сокращения выбросов в атмосферу оксидов азота (NO<sub>x</sub>), поскольку оксиды азота в дымовых газах содержатся в любом интервале нагрузок котла от минимальных до максимальных значений. Фактическая масса выбросов вредных веществ на единицу тепловой энергии при сжигании низкосортного угля Нерюнгринского месторождения ( $S = 0,4$  %,  $N = 0,8$  %) в котлах с различными топочными устройствами при номинальной тепловой нагрузке приведена в табл. 3. Из таблицы видно, что токсичные составляющие уходящих газов в котле, работающем с двухъярусной топкой, при сжигании низкосортного угля уменьшаются на 20...25 %.

На рис. 6 приведены зависимости содержания оксида азота в уходящих газах от тепловой нагрузки котла при сжигании угля в неподвижном и кипящем слое. Результаты сравнения показывают, что сжигание угля в кипящем слое двухъярусной топкой обеспечивают содержание оксидов азота в уходящих газах на уровне максимальных значений (2,8...3,1 %), что значительно ниже (на 20...25 %) массовых значений выбросов оксидов азота при сжигании твердого топлива в неподвижном слое на колосниковой решетке типа ТЧЗМ-2, парового и водогрейного котла.

#### Список литературы

- Катин В. Д. Экологические проблемы сжигания топлива в котельных установках предприятий железнодорожного транспорта и перспективы их решения // Наука и техника транспорта. — 2004. — № 2. — С. 6—11.
- Вавилов В. И., Катин В. Д. Модернизация действующих котлоагрегатов с целью оптимизации горения и сокращения вредных выбросов в атмосферный воздух // Тр. Региональной научно-техн. конф. ДВГУПС. — Хабаровск: ДВГУПС, 2006. — Т. 2. — С. 163—166.
- Сборник законодательных нормативных и методических документов для экспертизы воздухоохраных мероприятий. — Л.: Гидрометиздат, 1996. — 319 с.
- Патент № 68660 Россия, МПК, F-24H, 1/30, 2006. Водогрейный котел с двухъярусной топкой / В. Д. Катин, В. И. Вавилов (Россия). — Опубл. 27.11.2007 // Бюл. № 33.



УДК 504.3.054

**Н. Н. Красногорская**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
**К. Ф. Богатых**<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф., **А. Н. Елизарьев**<sup>1</sup>, канд. геогр. наук,  
**Р. Г. Ахтямов**<sup>1</sup>, **А. К. Сапожникова**<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет

<sup>2</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет,

e-mail: krasnogorskaia\_n@mail.ru

## Оценка экологической опасности "больших дыханий" резервуаров автозаправочных станций крупного города

*Выявлены основные проблемы обеспечения экологической безопасности автозаправочных станций. Проведена оценка экологической опасности "больших дыханий", определен количественный и качественный состав выбросов. Даны рекомендации по обоснованию размеров санитарно-защитных зон и определению экологической опасности автозаправочных станций в крупных городах.*

**Ключевые слова:** автозаправочная станция, нефтепродукт, экологическая опасность, санитарно-защитная зона, пары бензина, выброс, атмосферный воздух.

**Krasnogorskaya N. N., Bogatich K. F., Elizariyev A. N., Ahtyamov R. G., Sapozhnikova A. K.** Estimation of ecological danger from the large city's gasoline stations "big breath's"

*The main problems of gas stations ecological safety providing were identified. The ecological danger of "big breath" from the gas station tank was estimated, numerical and qualitative composition was defined. The recommendations for sanitary-hygienic zone validation and definition of ecological danger for large city's gas stations were given.*

**Keywords:** gas station, oil product, ecological danger, sanitary-hygienic zone, gasoline vapor, emission, atmospheric air.

В связи с расширением сети автозаправочных станций (АЗС) все чаще как в средствах массовой информации, так и в специализированных изданиях [1, 2], рассматривается вопрос экологической опасности функционирования АЗС в жилой зоне крупных городов. Эксплуатация АЗС сопровождается выбросом в атмосферу паров нефтепродуктов ("большое дыхание") при заполнении ими резервуаров АЗС. Проблемы экотоксичности выбрасываемой паровоздушной смеси (ПВС), обусловленной наличием в ней углеводородов, рассмотрены в изданиях [3, 4].

Анализ работ в области экологической безопасности АЗС, проводимых российскими и зарубеж-

ными исследователями [5–7], показал, что на современном этапе существуют следующие проблемы:

- отсутствие единого подхода при определении величины "большого дыхания" резервуаров АЗС;
- неоднозначность определения состава выбросов вредных веществ при эксплуатации АЗС;
- неопределенность критериев при выборе защитных зон, обеспечивающих экологическую безопасность функционирования АЗС.

Для обеспечения экологической безопасности функционирования автозаправочных станций необходим анализ методик определения величины выбросов при "больших дыханиях" резервуаров АЗС, определение качественного состава выбрасываемых ПВС, а также определение критериев выбора размера санитарно-защитных зон (СЗЗ), обеспечивающих экологическую безопасность функционирования АЗС.

Для борьбы с выбросами паров нефтепродуктов и снижения нагрузки на экосистему крупного города ведется разработка и внедрение средств улавливания паров нефтепродуктов на АЗС, позволяющих снизить выбросы моторного топлива, обусловленные "большим дыханием" резервуаров и предотвратить загрязнение атмосферы города как в пределах, так и вне (СЗЗ) АЗС.

В качестве примера крупного города рассмотрим автозаправочную станцию со следующими исходными характеристиками:

- резервуары АЗС — подземные;
- объем одного резервуара — 50 м<sup>3</sup>;
- объем автоцистерны (объем слива нефтепродукта) — 10 м<sup>3</sup>;
- время слива автоцистерны — 20 мин;
- марка сливаемого топлива — Супер-98.

Для оценки величины "большого дыхания" резервуара АЗС существует ряд методик [8–11], в которых основными параметрами являются:

- объем газового пространства резервуара;
- давление, температура и концентрация углеводородов в газовом пространстве резервуара в начале и конце слива нефтепродуктов;
- плотность паров нефтепродуктов.



Выбросы паров нефтепродуктов ( $G$ , кг) согласно методике [8] зависят от концентрации паров нефтепродуктов в выбросах при заполнении резервуаров ( $C_p^{\max}$ , кг/м<sup>3</sup>) и объема слитого нефтепродукта ( $V_{\text{сл}}$ , м<sup>3</sup>):

$$G = C_p^{\max} V_{\text{сл}} \quad (1)$$

Методика [8] не учитывает ряд основных параметров, необходимых для расчета величины "большого дыхания" резервуаров, такие как изменение выбросов паров нефтепродуктов в зависимости от плотности паров, изменения температуры, объема газового пространства резервуара и интенсивности испарения, что ограничивает ее применение.

Выбросы паров нефтепродуктов согласно методике [9] зависят от объемов нефтепродуктов и газового пространства в резервуаре, атмосферного, парциального давления и плотности ПВС:

$$G_{\text{б.д}} = \left[ V_{\text{н}} - V_{\text{г}} \left( \frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_{\text{у.зак}}} \right) \right] \frac{P_{\text{у.зак}}}{P_2} \rho_{\text{н}}, \quad (2)$$

где  $G_{\text{б.д}}$  — выбросы паров нефтепродуктов при "большом дыхании" резервуаров АЗС, кг;  $V_{\text{н}}$  — объем слитого нефтепродукта АЗС, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{г}}$  — объем газового пространства резервуара, м<sup>3</sup>;  $P_1$  — атмосферное давление, мм рт. ст.;  $P_2$  — давление в газовом пространстве резервуара, мм рт. ст.;  $P_{\text{у.зак}}$  — давление насыщенных паров нефтепродуктов, мм рт. ст.;  $\rho_{\text{н}}$  — плотность нефтепродукта, кг/м<sup>3</sup>.

Методика [9] учитывает изменение выбросов паров нефтепродуктов в зависимости от изменения температуры только на стадии расчета плотности паров.

Количество выбросов паров нефтепродуктов — бензина ( $G_{\text{б.д}}$ , кг) согласно методике [10] зависит от объема слитого нефтепродукта, средней объемной концентрации паров нефтепродукта, средней температуры поверхности нефтепродукта, а также от молекулярной массы паров нефтепродукта:

$$G_{\text{б.д}} = V_6 C \frac{P_a M_6}{T R}, \quad (3)$$

где  $V_6$  — объем слитого нефтепродукта, м<sup>3</sup>;  $C$  — средняя объемная концентрация паров нефтепродукта в газовом пространстве резервуара, кг/м<sup>3</sup>;  $P_a$  — атмосферное давление, Па;  $M_6$  — молекулярная масса паров нефтепродукта, кг/кмоль;  $T$  — средняя температура поверхности нефтепродукта, К;  $R$  — универсальная газовая постоянная, Дж/кмоль · К.

Методика [10] оперирует средними значениями объемной концентрации и температуры нефтепродукта и не учитывает динамику процесса слива нефтепродуктов в резервуар АЗС.

Выбросы паров нефтепродуктов согласно методике [11] зависят от концентрации паров нефтепродуктов в выбросах при заполнении резервуаров ( $C_p^{\max}$ , г/м<sup>3</sup>), объема слитого нефтепродукта ( $V_{\text{сл}}$ , м<sup>3</sup>), плотности ПВС ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) и изменения объема газового пространства резервуара.

Выбросы углеводородов за одно наполнение резервуара рассчитываются по формуле:

$$G = \frac{T_0}{P_0} \left[ V_{\text{н}} (1 - C_{\text{н}}) \frac{P_{\text{н}}}{T_{\text{н}}} - V_{\text{к}} (1 - C_{\text{к}}) \frac{P_{\text{н}}}{T_{\text{н}}} \right] \frac{C_{\text{ср}}}{1 - C_{\text{ср}}} \rho_0, \quad (4)$$

где  $C_{\text{ср}}$  — средняя объемная концентрация углеводородов в выходящей паровоздушной смеси за весь период заполнения, доли единицы;  $C_{\text{н}}$ ,  $C_{\text{к}}$ ,  $T_{\text{н}}$ ,  $T_{\text{к}}$  — объемная концентрация углеводородов, г/м<sup>3</sup>, и температура в газовом пространстве резервуара, доли единиц, К, в начале и конце заполнения;  $V_{\text{н}}$ ,  $V_{\text{к}}$ ,  $P_{\text{н}}$ ,  $P_{\text{к}}$  — объем, м<sup>3</sup>, и давление газового пространства резервуара, МПа, в начале и конце заполнения;  $\rho_0$  — средняя плотность паров углеводородов в выходящей паровоздушной смеси за весь период заполнения, кг/м<sup>3</sup>;  $T_0$ ,  $P_0$  — температура и давление в газовом пространстве резервуара при нормальных условиях.

Методика [11] учитывает изменение температуры, давления, концентрации при изменении объема газового пространства резервуара и представляется наиболее точной для расчетов выбросов ПВС при "большом дыхании" резервуаров АЗС.

Результаты расчетов величины и доли выбросов паров бензина при "большом дыхании" резервуара АЗС при сливе 10 м<sup>3</sup> бензина марки "Супер-98" по методикам [8...11] представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, величины выбросов паров бензина, рассчитанные по методикам [8—11], различаются между собой до 5,5 раз, при этом не превышают десятых долей процента от массы слитого нефтепродукта. На результаты вычислений величины "большого дыхания" повлияло то, что методики [8—10], по-видимому, предназначены для оперативного (приближенного) расчета и не учитывают весь комплекс основных параметров рассматриваемого процесса.

Таблица 1

Величины и доли выбросов паров бензина при "большом дыхании" резервуара АЗС при сливе 10 м<sup>3</sup> бензина марки "Супер-98" согласно методикам [8—11]

| Методика расчета выбросов паров бензина         | [8]  | [9]   | [10]  | [11]  |
|-------------------------------------------------|------|-------|-------|-------|
| Выбросы паров бензина, кг                       | 4,80 | 26,46 | 13,35 | 15,43 |
| Масса слитого нефтепродукта, кг                 | 7600 | 7600  | 7600  | 7600  |
| Доля выбросов от массы слитого нефтепродукта, % | 0,06 | 0,35  | 0,18  | 0,20  |



Таблица 2  
Углеводородный состав ПВС согласно работам [12–14]

| Индивидуальные углеводороды | Состав ПВС, % |      |      | $T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$ |
|-----------------------------|---------------|------|------|----------------------------------|
|                             | [12]          | [13] | [14] |                                  |
| Метан                       | 0,11          | 1    | —    | –161,6                           |
| Этан                        | —             | 3    | —    | –88,6                            |
| Пропан                      | —             | 8    | 0,5  | –42,1                            |
| Бутан                       | 45,69         | 16   | 54   | –0,5                             |
| Изобутан                    | 22,9          | 19   | —    | –11,7                            |
| Пентан                      | 12,08         | 10   | 44   | 36                               |
| Изопентан                   | 19,22         | 13   | —    | 27,8                             |
| Гексан                      | —             | 30   | 1,5  | 68,9                             |

Примечание: прочерк "—" означает нет информации.

Согласно методике [11], наиболее полно отражающей процессы, происходящие при "большом дыхании" резервуара АЗС, при сливе  $10 \text{ м}^3$  бензина "Супер-98" выбрасывается 15,43 кг ПВС.

Обеспечение экологической безопасности функционирования АЗС помимо количественной оценки выбросов ПВС требует и оценки качественного состава "большого дыхания" резервуаров АЗС. Как показал обзор литературных источников (табл. 2), состав ПВС, как правило, определяется по литературным данным, а не экспериментально.

Как видно из табл. 2, согласно [12] в состав выделяемый бензином ПВС входит метан в количестве 0,11 % (температура кипения  $T_{\text{кип}} = -161,6 ^\circ\text{C}$ ). Так как температура производства, хранения, транспортировки бензина значительно выше  $T_{\text{кип}}$  метана, его содержание в ПВС маловероятно.

Согласно [13] выделяемая бензином ПВС состоит не только из метана, этана и пропана в количестве 1, 3 и 8 % соответственно, но и гексана в количестве 30 % ( $T_{\text{кип}} = 68,9 ^\circ\text{C}$ ). Содержание в выделяе-

мых бензином ПВС углеводородов с разницей температур кипения  $230 ^\circ\text{C}$ , вызывает сомнения.

Согласно [14] выделяемая бензином ПВС в основном представлена двумя углеводородами: бутаном и пентаном — 54 и 44 % соответственно.

Разброс информации в литературных источниках говорит о не вполне однозначно определенной структуре ПВС. Для подтверждения литературных данных по уравнению Антуана (5) проведен расчет давления насыщенных паров индивидуальных углеводородов в зависимости от температуры.

$$\lg P = A - B/(C + T), \quad (5)$$

где  $P$  — давление насыщенных паров, мм рт. ст.;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — эмпирические коэффициенты;  $T$  — температура,  $^\circ\text{C}$ .

В отличие от литературных источников анализ проведен также для бензола и толуола с целью определения их присутствия в выделяемой бензином ПВС. Результаты расчета приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3 давление насыщенных паров гексана с изомерами, а также бензола и толуола намного меньше давления насыщенных паров бутана и пентана с изомерами, что говорит о низкой вероятности содержания углеводородов  $\text{C}_6$ – $\text{C}_7$  в выделяемой бензином ПВС. Наибольшие значения давлений насыщенных паров соответствуют бутану и пентану с изомерами. Таким образом, литературные данные источников [12, 14] об основной доле бутана и пентана с изомерами в выделяемой бензином ПВС подтверждены расчетами согласно формуле (5).

Результаты графической интерпретации данных для углеводородов, составляющих основную (бутан 54 %, пентан 44 % [14] — см. табл. 2) часть выделяемой бензином ПВС приведены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, давление насыщенных паров изомеров (изобутана, 2-метилбутана, 2,2-ди-

Таблица 3  
Давление насыщенных паров индивидуальных углеводородов в зависимости от температуры

| Углеводороды                                       | Давление насыщенных паров, мм рт. ст., при температуре, $^\circ\text{C}$ |        |        |        |        |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                                                    | –20                                                                      | –10    | 0      | 10     | 20     |
| Бутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$                    | 339,43                                                                   | 522,01 | 774,53 | 1113,5 | 1556,7 |
| Изобутан $\text{C}_4\text{H}_{10}$                 | 543,59                                                                   | 812,34 | 1174   | 1647,4 | 2252,2 |
| Пентан $\text{C}_5\text{H}_{12}$                   | 67,83                                                                    | 114,08 | 183,48 | 283,81 | 424,14 |
| Изопентан (2-метилбутан) $\text{C}_5\text{H}_{12}$ | 100,74                                                                   | 165,09 | 259,34 | 392,52 | 574,97 |
| Изопентан (2,2-диметилпропан)                      | 227,18                                                                   | 354,32 | 532,28 | 773,69 | 1092,3 |
| Циклопентан $\text{C}_5\text{H}_{10}$              | 37,08                                                                    | 64,52  | 107,02 | 170,19 | 260,83 |
| Гексан $\text{C}_6\text{H}_{14}$                   | 1,86                                                                     | 3,44   | 6,04   | 10,09  | 16,17  |
| Циклогексан $\text{C}_6\text{H}_{12}$              | 8,17                                                                     | 15,52  | 27,84  | 47,48  | 77,5   |
| Метилциклопентан                                   | 12,78                                                                    | 23,6   | 41,28  | 68,87  | 110,21 |
| Бензол $\text{C}_6\text{H}_6$                      | 6,05                                                                     | 13,23  | 26,48  | 49,22  | 85,96  |
| Толуол $\text{C}_7\text{H}_8$                      | 0,22                                                                     | 0,45   | 0,89   | 1,65   | 2,91   |

метилпропана) выше, чем у нормальных углеводородов (бутан, пентан) и циклопентана, что может свидетельствовать о преобладании в выбросах паров нефтепродуктов при "большом дыхании" резервуаров АЗС изомеров, а не нормальных углеводородов или циклосоединений.

Применение в качестве максимально разовой предельно допустимой концентрации ПВС, образующейся при "большом дыхании" резервуара АЗС, ПДК<sub>м.р</sub> бензина является не в полной мере обоснованным, так как основными компонентами ПВС, как показано выше, являются бутан и пентан. При этом целесообразно применять ПДК<sub>м.р</sub> пентана, поскольку его величина в 2 раза ниже чем у бутана.

Для сопоставления нормативно-установленных СЗЗ с зонами, в пределах которых достигается ПДК<sub>м.р</sub>, проведен расчет размеров зон при помощи методики [15]. Графическая интерпретация результатов расчета для г. Уфы, приведена на рис. 2 (см. 3-ю стр. обложки). Из рисунка видно, что СЗЗ, установленная согласно [16], не обеспечивает концентрацию выделяемой бензином ПВС ниже ПДК<sub>м.р</sub> бензина. В зону R2 попадают остановки транспорта, офисные здания, учебные заведения, рекреационные зоны, имеющие большое значение при оценке экологической опасности АЗС для крупного города. Однако при рассмотрении пентана, как одного из основных компонентов выделяемой бензином ПВС, радиус с концентрацией 1 ПДК<sub>м.р</sub> пентана составляет примерно 50 м, что согласуется с нормативами СЗЗ для АЗС согласно [16]. Из рис. 2 также видно, что при высокой концентрации АЗС, которая наблюдается в крупных городах, СЗЗ, определенные по ПДК<sub>м.р</sub> бензина, перекрываются, образуя зоны повышенной экологической опасности.

Следует отметить, что основным критерием экологической безопасности АЗС является СЗЗ. До 2003 г. согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.984—2000 [17] санитарно-защитная зона для АЗС составляла 100 м, но с принятием СанПиНа [16] СЗЗ для АЗС установлена 50 м, согласно СНиП 2.07.01—89 [18] СЗЗ может быть снижена даже до 25 м. В то же время согласно Распоряжению Комитета по градостроительству и архитектуре Санкт-Петербурга "Об утверждении проекта Временного регламента застройки территории в целях размещения автозаправочных станций в Санкт-Петербурге" с 2007 г.

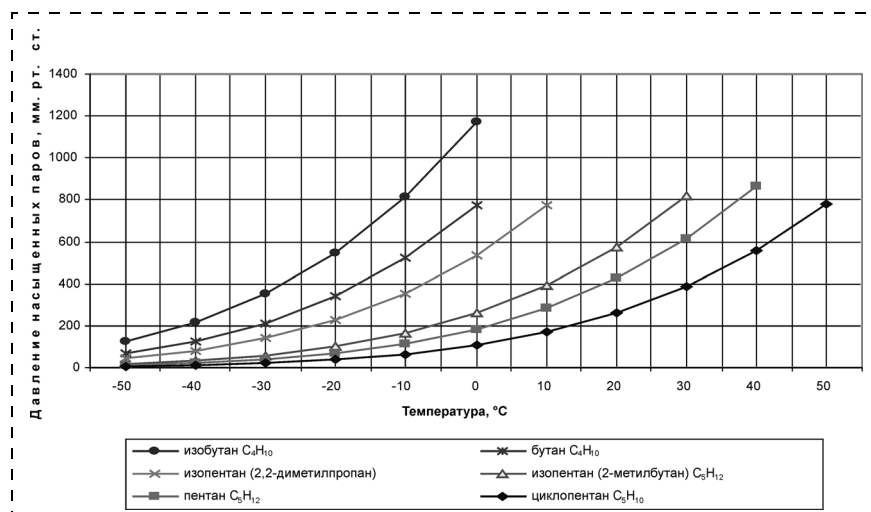


Рис. 1. Давление насыщенных паров бутана и пентана с изомерами в зависимости от изменения температуры

разрешается строительство АЗС в пределах рекреационных зон Санкт-Петербурга, что аргументируется недостаточностью места для размещения АЗС.

Выбросы паров нефтепродуктов при функционировании АЗС наносят как экологический, так и экономический ущерб, которые зависят от объемов выбросов ПВС при "большом дыхании" резервуаров. Проведенный по методике [11] расчет (см. табл. 1) показал, что масса выбрасываемых паров равна 15,43 кг. Тогда, при плотности бензина 760 кг/м<sup>3</sup> происходит выброс 20,3 л бензина. Потери при одном сливе бензина (25 руб/л) в резервуар АЗС составляют более 500 руб. При проведении сливных операций на АЗС один раз в 2...5 дней потери 500 руб. являются незначительными, и внедрение дорогостоящих установок улавливания паров бензина экономически не целесообразно. Однако в крупных городах с высокой концентрацией АЗС "большие дыхания" резервуаров приводят к значительному загрязнению атмосферного воздуха. Например, в течение года на 77 АЗС г. Уфы, как показывают расчеты, суммарный выброс составляет от 86,7 до 216,8 т/год паров бензина.

За рубежом для сокращения выбросов ПВС при "больших дыханиях" применяют дорогостоящие системы улавливания паров бензина. В России для решения проблемы загрязнения воздуха АЗС применяют меры административного характера. Так, например, Постановление Правительства г. Москвы № 663-ПП "О мерах по предотвращению выбросов паров моторного топлива в окружающую среду на объектах топливного рынка г. Москвы на период до 2010 года" включает план и сроки оснащения АЗС системами улавливания паров бензина.



Таким образом, результаты проведенного исследования позволяют сформировать подход, включающий следующие рекомендации:

— оценку величины выбросов при "большом дыхании" резервуаров АЗС целесообразно проводить по методике [11], так как она наиболее полно отражает процессы, происходящие при наливке топлива в резервуар;

— обоснование размеров санитарно-защитных зон необходимо проводить, основываясь на видах реализуемого топлива, учитывая преобладание в паровоздушной смеси бутана и пентана в виде изомеров, а не нормальных углеводородов или цикло соединений;

— оценку экологической опасности необходимо проводить не для отдельно взятой АЗС, а для всей совокупности близлежащих АЗС, находящихся на одной территории.

Только такой подход позволит объективно определить экологическую опасность АЗС и обосновать необходимость разработки мероприятий по предотвращению выбросов паров моторного топлива в окружающую среду крупного города.

#### Список литературы

1. **Александров А. А.** Оценка экологической опасности "большого дыхания" резервуара автозаправочных станций и нефтебаз // Вестник ОГУ. — 2005. — № 4. — С. 104—107.
2. **Материалы** III конкурса молодых работников и специалистов ООО "ЛУКОЙЛ — Нижневолжскнефтепродукт". Астрахань, 2006.
3. **Материалы** Всероссийской научной конференции "Влияние загрязнения окружающей среды на здоровье человека" / Под ред. Гичева Ю. П. — Новосибирск, 2002.
4. **Давыдова С. Л., Тарасов В. И.** Загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами. — М.: Изд-во РУДН, 2006.

5. **Zierdt M.** Umweltmonitoring mit natürlichen Indikatoren: Pflanzen—Boden—Wasser—Luft, Springer, 1997. — 215 p.
6. **Трофименко Ю. В.** Экология: Транспортное сооружение и окружающая среда: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Ю. В. Трофименко, Г. И. Евгеньев; Под ред. Ю. В. Трофименко. — М.: Издательский дом "Академия", 2006. — 400 с.
7. **Беляев А. Ю.** Геоэкологическая роль поверхностного стока при строительстве АЗС в городских условиях // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по направлению 25.00.36 "Геоэкология". М., 2003.
8. **Методика** по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров / Госкомэкология России, 1997.
9. **Тугунов П. И., Новоселов В. Ф., Коршак А. А., Шамазов А. М.** Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: Учебное пособие для ВУЗов. — Уфа: ООО "Дизайн-ПолиграфСервис", 2006. — 685 с.
10. **Бунчук В. А.** Технология химии нефти и газа. — М.: Недра, 1977. — 220 с.
11. **РД 153-39-019—97.** Методические указания по определению технологических потерь нефти на предприятиях нефтяных компаний РФ.
12. **РД 39-142—2000.** Методика расчета выбросов вредных веществ в окружающую среду от неорганизованных источников нефтегазового оборудования.
13. **Абросимов А. А.** Экология переработки углеводородных систем. — М.: Химия, 2002. — 608 с.
14. **2316384 RU C2.** Способ улавливания и рекуперации паров углеводородов и других легкокипящих веществ из парогазовых смесей и устройство для его реализации / Бердников В. И. — № 2004125472/15; Заявл. 20.08.2004.
15. **Методика** расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86. — М.: Госкомгидромет, 1986.
16. **СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200—2003.** Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. — М., 2003.
17. **СанПиН 2.2.1/2.1.1.984—2000.** Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. — М., 2001.
18. **СНиП 2.07.01—89.** Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. — М., 2001.

## ИНФОРМАЦИЯ

### VIII Международный выставочный форум "ТЕХНОЛОГИИ ЗАЩИТЫ—2009"

30 сентября—2 октября 2009 года

Украина, г. Киев, Международный выставочный центр,  
Броварский пр., 15, ст. м. "Левобережная"

#### ТЕМАТИКА:

- противопожарная техника и автоматика;
- противопожарная продукция для строительства;
- аварийно-спасательное оборудование;
- средства защиты;
- ядерная и радиационная безопасность.

#### Контакты:

Тел.: (044) 201-1164, e-mail: protech@iec-expo.com.ua

УДК 556.51.512

Алита С. Л.,

Высокогорный Геофизический институт, г. Нальчик,

e-mail: baisiev@rambler.ru

## Способ определения скорости инфильтрации дождевой воды в почву

*В статье описывается способ определения скорости инфильтрации воды в почву, основанный на зависимости электрического сопротивления почвы от ее объемной влажности. Данный способ может быть полезен для изучения и прогнозирования паводков и оползневых явлений. Применение этого способа позволяет непосредственно измерять скорость впитывания в данной точке.*

**Ключевые слова:** скорость инфильтрации, объемная влажность, электрическое сопротивление, сток, почва, осадки.

**Alita S. L. Determining method for rainfall infiltration rate**

*This paper describes a method for determining the rate of rainfall infiltration into soil based on the relation between soil electric resistance and its volume humidity. The application of this method allows to measure directly the infiltration rate in the given point.*

**Keywords:** infiltration rate, volume humidity, electrical resistance, rain water floor, soil, precipitation.

В последнее время в связи с глобальными климатическими изменениями усилились и участились такие опасные природные явления, как паводки, оползни и сели. Особую опасность представляют паводки ливневого происхождения, происходящие на горных реках, в силу своей внезапности и высокой кинетики сопровождающих их потоков. Для обеспечения безопасности людей, живущих вдоль берегов горных рек, необходимо уметь оперативно прогнозировать эти опасные явления, для чего следует осуществлять постоянный мониторинг состояния водосбора горных рек. Особенно это относится к текущему водосодержанию почв и грунтов, покрывающих склоны.

Эта информация позволяет определить потенциальную способность почв и грунтов впитывать дождевую воду. Впитывание (инфильтрация) воды в почву является основным фактором суммарных потерь стока дождевой воды. Поэтому в большинстве исследований паводковых явлений ему придается главное значение [1, 4, 5], а потери на задержание воды на поверхности бассейна учитываются косвенно параметрами эмпирических формул. Будем

рассматривать впитывание при настолько глубоком залегании грунтовых вод, что они не оказывают влияния на этот процесс даже при выпадении самого большого количества осадков.

Для построения математической модели впитывания рассмотрим грунт, покрывающий склон как сосуд, обладающий тем свойством, что скорость его заполнения зависит от того, насколько этот сосуд заполнен водой в данный момент времени. Чем больше воды находится в нем, тем меньше будет текущая скорость заполнения. Дном сосуда будем считать водоупорный слой (в горной местности это, скорее всего, скалистое основание), а горловиной — поверхность склона. Высоту сосуда примем равной средней глубине залегания водоупорного слоя. Площадь горловины и дна равны между собой и совпадают с площадью поверхности рассматриваемого склона.

В отличие от сосуда в классическом понимании, заполняемого водой снизу вверх, наш сосуд заполняется наоборот сверху вниз, причем более глубокие слои начинают заполняться уже тогда, когда менее глубокие еще полностью не заполнены. Этой особенностью и объясняется тот факт, что скорость заполнения снижается по мере наполнения сосуда.

Емкость сосуда равна суммарной емкости всех пор, находящихся в рассматриваемом объеме. Скорость заполнения будет максимальной, когда все поры свободны от воды. После заполнения всех пор скорость заполнения не обратится в ноль, а примет некоторое минимальное значение. Сосуд из режима заполнения перейдет в режим пропускания (фильтрации) через себя воды. В режиме фильтрации будем считать, что количество втекающей в сосуд воды равно количеству вытекающей воды через боковую поверхность при допущении абсолютной непроницаемости водоупорного слоя, т. е. дна.

На рис. 1 рассматриваемый сосуд изображен в виде параллелепипеда  $ABCDEFGH$ . Линия водораздела является его ребром  $AB$ , поверхность водоупорного слоя является его гранью  $EFGH$ . Стрелками показано направление движения воды внутри грунта. В виду того, что рассматривается водосбор горной реки, склоны на нем имеют ярко выраженный уклон к руслу (обозначенный на рисунке углом  $\gamma$ ), поэтому движением воды внутри грунта через грань  $ABEF$  можно пренебречь и считать эту грань

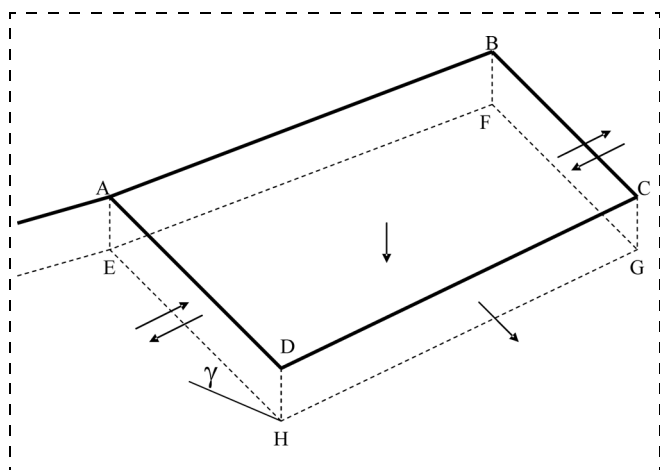


Рис. 1. Схематизация впитывающего слоя почвы и внутрипочвенного стока

непроницаемой для воды, как и поверхность водонепроницаемого слоя. Расход воды через грани  $ADEH$  и  $BCFG$  тоже рассматривать не будем, так как он компенсируется встречным движением из смежных склонов.

Таким образом, будем полагать, что вся вода в режиме фильтрации будет проходить через грань  $DCGH$  и также попадать в русло реки, но с весьма значительной задержкой.

До настоящего времени еще не сформировалось достаточно ясных представлений о внутригрунтовом стоке в ненасыщенной зоне вдоль склона. Можно лишь предположить, что при этом процессе наблюдается как перемещение влаги под воздействием градиента гидростатического напора (подобно тому, как это происходит при движении грунтовых вод), так и перемещение волн в условиях равновесия сил тяжести и сил трения. Ввиду этого целесообразно сделать допущение о том, что дождевая вода сначала впитывается в грунт до полного его насыщения (до заполнения сосуда), а затем начинает фильтрацию сквозь него. Другими словами, расход внутри грунтового стока через грань  $DCGH$  будем считать равным нулю, пока объемная влажность грунта не станет равной единице.

Следуя вышеперечисленным соображениям, можно представить структуру зависимости для определения скорости инфильтрации в виде

$$I = A(t) + k, \quad (1)$$

где  $I$  — скорость инфильтрации, мм/ч;  $t$  — время, отсчитываемое с момента начала дождя;  $A(t)$  — некоторая убывающая функция времени, имеющая максимальное значение при отсутствии воды в порах грунта и стремящаяся к нулю, при заполнении всех грунтовых пор водой;  $k$  — коэффициент фильтрации — постоянная для данного типа грунта ве-

личина, равная скорости фильтрации, т. е. пропускания воды грунтом при условии заполнения всех его пор водой, мм/с.

Строго говоря, функция  $A$  является функцией времени не напрямую, а опосредовано через величину  $\theta(t)$ , называемую объемной влажностью грунта и численно равную отношению объема пор, занятых водой, к общему объему пор. Следовательно, можно записать выражение для функции  $A$  в виде  $A(\theta(t))$ .

Закон изменения объемной влажности по времени в толще грунта будет интересоваться нас не сам по себе, а только с точки зрения определения через него текущей скорости инфильтрации. Знание скорости инфильтрации в любой момент времени позволяет судить о том, в каком состоянии в данный момент находится грунт на склоне, способен ли он еще впитывать воду или же может только пропускать (фильтровать) ее. С другой стороны, знание скорости инфильтрации позволяет определить величину эффективных осадков:

$$R_{\text{эф}} = R - I,$$

где  $R_{\text{эф}}$  — текущее значение эффективных осадков;  $R$  — текущее значение интенсивности осадков, выпадающих на склон.

Известны различные методы определения скорости инфильтрации дождевой воды в грунт, все они основаны на применении эмпирических формул, построенных согласно структуре формулы (1) [2, 3, 6, 7]:

— Костикова—Бефани:

$$I = k + \frac{\alpha}{t^n}, \quad A(t) = \frac{\alpha}{t^n};$$

— Хортон:

$$I = (I_0 - k)e^{-\beta t} + k, \quad A(t) = (I_0 - k)e^{-\beta t};$$

— Попова:

$$I = Re^{-\frac{Rt}{D}} + k, \quad A(t) = Re^{-\frac{Rt}{D}}.$$

В приведенных формулах  $D$  — дефицит влаги в верхнем полуметровом слое грунта;  $I_0$  — начальная скорость инфильтрации;  $\alpha, \beta$  — коэффициенты, зависящие от свойств грунта.

К недостаткам этих методов можно отнести высокую степень неопределенности коэффициентов, входящих в формулы, неучет уклона площадки, а также сложность выбора метода для определения скорости инфильтрации в конкретном месте.

Влияние влажности или дефицита влажности в верхнем полуметровом слое было проверено экспериментально С. Ф. Федоровым для слабоподзо-

листых почв при помощи дождевальной установки. Аналитическое выражение этого влияния имеет вид:

$$I = aD + k, A(t) = aD,$$

где  $a$  — параметр, зависящий от свойств грунта.

При нулевом дефиците влаги (или максимальной объемной влажности) величина скорости инфильтрации приближается к значению коэффициента фильтрации, что еще раз подтверждает убывающий характер зависимости  $A(t)$  при орошении грунта.

Для луговых склонов бассейна реки Рика (Карпаты) Н. Ф. Бефани была получена по экспериментальным данным следующая формула для расчета скорости инфильтрации.

$$I = \left[ k + \frac{37,2\alpha e^{-0,053\mu}}{(t+1)^{0,75}} \right] e^{-0,002i},$$

$$A(t) = \frac{37,2\alpha e^{-0,053\mu}}{(t+1)^{0,75}} e^{-0,002i},$$

где  $i$  — уклон склона;  $\mu$  — индекс влажности.

Сложность при выполнении расчетов по этой формуле заключается в том, что она была получена для конкретного региона и применимость ее в другой местности не определена. Значение коэффициента  $\alpha$  в зависимости от интенсивности дождя находится в пределах от 1,2 до 1,45. Выбор конкретного его значения из этого интервала требует набора статистической информации, которая в реальных условиях зачастую отсутствует. Расчет индекса влажности почвы  $\mu$  является весьма приближительным; он требует данных об осадках за 30 предшествующих дней:

$$\mu = \frac{30}{1} \sum \gamma_i x_i,$$

где  $x_i$  — количество осадков, мм, выпавших в  $i$ -й интервал времени;  $\gamma_i$  — коэффициент, значение которого находится между нулем и единицей и увеличивается по мере приближения к текущему моменту времени.

Во всех перечисленных выше методах делаются попытки вычислить некоторую осредненную скорость инфильтрации для всего водосбора в целом на основании статистической информации, полученной в результате длительного наблюдения за водосбором.

В настоящей статье предлагается пойти другим путем, т. е. с максимально возможной точностью вычислять скорость инфильтрации в локальных фиксированных местах, а затем распространить результаты этих вычислений на территорию всего водосбора.

В настоящее время широкое применение получил метод определения влажности грунта посредством измерения его электрических характеристик сопротивления или емкости (метод Реи) [8]. Этот метод в частности применяют в сельском хозяйстве в составе систем автоматического орошения и полива. Датчики влажности таких систем устанавливаются на контролируемой поверхности и при помощи контактов, погруженных в грунт, измеряют его сопротивление. Затем, по известной из настроек данного датчика функциональной зависимости по значению измеряемого сопротивления определяют текущее значение влажности грунта.

Применение метода, основанного на связи влажности грунта и его электрического сопротивления, для определения текущей скорости инфильтрации, представляется авторам весьма перспективным. На его основе возможно создание системы дистанционных датчиков, которые, будучи должным образом распределенными по территории водосбора, могли бы дать представление о текущем распределении скорости инфильтрации на всей территории водосбора.

Рассмотрим два электрода длиной  $H$  и шириной  $B$ , введенных в грунт на расстоянии  $L$  друг от друга, и подключенный к ним прибор для измерения сопротивления (рис. 2).

Обозначим объем грунта, заключенного между электродами, как  $V = LBH$ , а суммарный объем всех пор в рассматриваемом объеме как  $V_{\text{пор}} = LBH_{\text{п}}$ . Суммарный объем пор, занятых на текущий момент водой, обозначим  $V_{\text{в}} = LBH_{\text{пв}}$ .

Пористость грунта обозначим как  $P = \frac{V_{\text{пор}}}{V}$ ,

или  $P = \frac{H_{\text{п}}}{H}$ . Объемную влажность грунта определим как отношение объема пор, заполненных на теку-

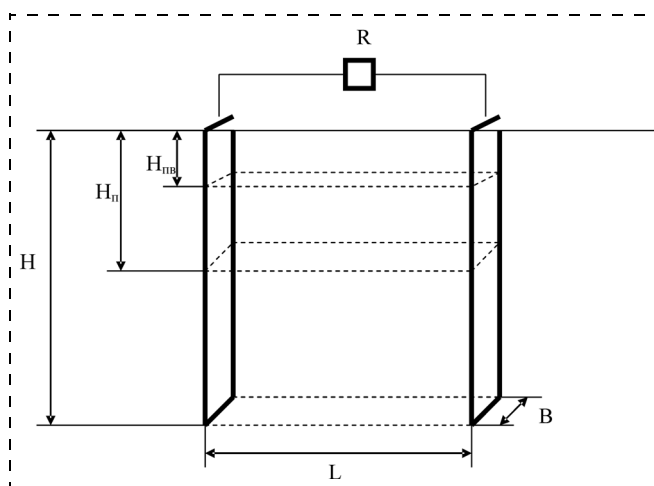


Рис. 2. Схема измерения скорости инфильтрации воды в почву



щий момент водой, к общему объему пор  $\theta = \frac{V_{\text{в}}}{V_{\text{пор}}}$ ,

$$\text{или } \theta = \frac{H_{\text{пв}}}{H_{\text{п}}}.$$

Известно, что с увеличением объемной влажности грунта снижается его электрическое сопротивление. Так, для любого грунта текущее значение сопротивления  $R$  находится между минимальным значением, соответствующим максимальной влажности, и максимальным значением, соответствующим минимальной влажности:  $R_{\min}(\theta_{\max}) < R < R_{\max}(\theta_{\min})$ . В дальнейшем будем рассматривать только химически не связанную воду в грунте, т. е. воду, способную к фильтрации и испарению, поэтому можно предположить  $\theta_{\min} = 0$  и записать двойное неравенство в виде:  $R_{\min}(\theta = 1) < R < R_{\max}(\theta = 0)$ .

Обозначим  $H_{\text{ПВ1}}$  высоту параллелепипеда, объем которого равен объему пор, занятых водой в момент времени  $t$ , а  $H_{\text{ПВ2}}$  высоту параллелепипеда, объем которого равен объему пор, занятых водой в момент времени  $t + \Delta t$  (при намокании грунта  $H_{\text{ПВ1}} < H_{\text{ПВ2}}$ ). Тогда скорость инфильтрации:

$$I = \frac{H_{\text{ПВ2}} - H_{\text{ПВ1}}}{\Delta t} + k, \quad (2)$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации (постоянный для данного типа грунта).

С учетом того, что  $H_{\text{ПВ1}} = \theta(t)PH$ ,  $H_{\text{ПВ2}} = \theta(t + \Delta t)PH$ , а  $\theta(t + \Delta t) - \theta(t) = \Delta\theta$  можем записать выражение (2) в виде:

$$I = \frac{\Delta\theta PH}{\Delta t} + k. \quad (3)$$

Для каждого конкретного грунта можно экспериментально определить зависимость сопротивления от объемной влажности  $R(\theta)$  и перейти от нее к обратной функции  $\theta = \theta(R)$ . Зная эту зависимость, находим приращение объемной влажности как  $\Delta\theta = \Delta R \theta'(R)$ , где  $\Delta R$  — приращение сопротивления за время  $\Delta t$ .

Выражение (3) примет вид:

$$I = \theta'(R)PH \frac{\Delta R}{\Delta t} + k, \quad A(t) = \theta'(R)PH \frac{\Delta R}{\Delta t}. \quad (4)$$

В частном случае для линейной или квазилинейной зависимости объемной влажности от сопротивления будем иметь:

$$I = \frac{1}{R_{\min} - R_{\max}} PH \frac{\Delta R}{\Delta t} + k.$$

В приведенных формулах текущее значение сопротивления и его приращение, а также время, за

которое это приращение произошло, измеряются непосредственно. Значения минимального и максимального сопротивления определяются путем наблюдения за прибором (дистанционно или непосредственно) в течение некоторого периода времени (период адаптации). Пористость грунта и зависимость  $R = R(\theta)$  определяется лабораторно путем взятия пробы с места установки датчика.

Таким образом, предлагаемый метод позволяет определить текущую скорость инфильтрации фактически без тарировки датчика путем прямых измерений. Тарировка в данном случае заменяется адаптацией датчика к конкретному месту установки с учетом уклона, кинетической энергии капель дождя и электромеханических свойств грунта.

При необходимости можно исследовать вопрос влияния температуры на зависимость сопротивления от объемной влажности. Этим следует заниматься в том случае, если колебаниями температуры окружающей среды нельзя пренебречь без ущерба для точности измерений. В этом случае вместо зависимости  $R = R(\theta)$  в лабораторных условиях следует определить зависимость  $R = R(\theta, T)$ , что более трудоемко, но не представляет технических трудностей.

Для большей детализации математической модели скорости инфильтрации зададимся целью определить аналитический вид зависимости сопротивления грунта от объемной влажности  $R(\theta)$ . Грунт, расположенный между электродами, можно уподобить элементу электрической цепи, состоящему из  $n$  одинаковых по величине сопротивлений, соединенных параллельно. Величина каждого сопротивления равна  $r$  (рис. 3).

Формула для проводимости данного элемента:

$$\frac{1}{R} = \frac{n}{r}. \quad (5)$$

Сопротивление элемента соответственно равно:

$$R = \frac{r}{n}. \quad (6)$$

Процесс увеличения объемной влажности грунта можно рассматривать как параллельное подклю-

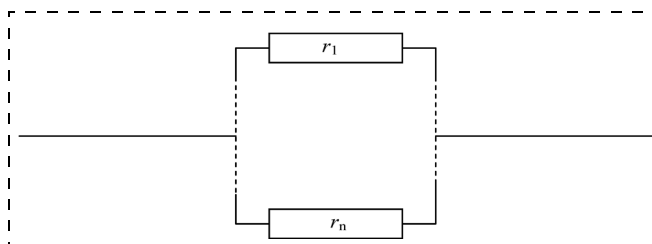


Рис. 3. Электрический аналог грунта, расположенного между электродами



ние к рассматриваемому элементу дополнительных сопротивлений, приводящее к снижению его общего сопротивления. Отталкиваясь от этой аналогии, будем искать зависимость сопротивления грунта от его объемной влажности в виде:

$$R = \frac{B}{\theta + C}, \quad (7)$$

где  $B$  и  $C$  константы, определяемые при адаптации датчика на местности. Значения этих констант можно найти из системы уравнений:

$$\begin{cases} R_{\min} = \frac{B}{1 + C} \\ R_{\max} = \frac{B}{C} \end{cases} \quad (8)$$

Значения констант  $C$  и  $B$  будут равны:

$$C = \frac{R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}; B = \frac{R_{\max} R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}}.$$

Так как фактически измеряется сопротивление, то от зависимости (7) переходим к обратной зависимости

$$\theta = \frac{B}{R} - C. \quad (9)$$

Следовательно, выражение производной от объемной влажности имеет вид:

$$\theta' = -\frac{B}{R^2}, \text{ или } \theta'(R) = -\frac{R_{\max} R_{\min}}{R^2 (R_{\max} - R_{\min})}, \quad (10)$$

где  $R$  — текущее значение сопротивления.

Таким образом, формула (4) примет вид:

$$I = -\frac{R_{\max} R_{\min}}{R^2 (R_{\max} - R_{\min})} PH \frac{\Delta R}{\Delta t} + k. \quad (11)$$

Формула (11) является выражением, по которому вычисляется скорость инфильтрации для конкретного датчика, расположенного в определенном месте, с учетом особенностей как самого датчика, так и грунта, в котором он размещен.

Для проверки характера зависимости сопротивления грунта от объемной влажности (7) авторами был проведен натурный эксперимент. В емкость из диэлектрика цилиндрической формы было помещено 400 см<sup>3</sup> грунта, близкого по составу к супеси. Предварительно из грунта при помощи сушки была удалена вся свободная влага (объемная влажность грунта равнялась нулю). Затем в грунт на расстоянии 6 см друг от друга были введены два электрода длиной 10 см каждый и измерено начальное сопротивление грунта при  $\theta = 0$ . Затем в грунт по 10 см<sup>3</sup> добавлялась вода, которая равномерно распределялась по всей площади поверхности грунта. После каждого добавления воды производилось измерение электрического сопротивления грунта до тех пор, пока значения, снимаемые через каждые полчаса, не совпали. Затем производилось добавление очередной порции воды и так далее. В промежутках между измерениями емкость плотно закрывалась крышкой с целью предотвращения испарения влаги. Добавление новых порций воды продолжалось до тех пор, пока вода не перестала впитываться грунтом. К этому моменту измеряемое сопротивление грунта вышло на постоянный минимальный уровень. Суммарный объем воды, впитавшийся в грунт до насыщения, составил 100 см<sup>3</sup>. Таким образом был определен общий объем пор, находящихся в рассматриваемом объеме грунта, следовательно, его пористость составила 0,25. Данные измерений электрического сопротивления грунта в зависимости от его объемной влажности приведены в табл. 1.

Численные значения коэффициентов  $B$  и  $C$  были найдены в соответствии с системой уравнений (8)

$$\begin{cases} 400 = \frac{B}{1 + C} \\ 5000 = \frac{B}{C} \end{cases}$$

Они составили  $B = 435$  и  $C = 0,087$ .

Общая зависимость (7) в данном случае примет вид:

$$R = \frac{435}{\theta + 0,087}.$$

Таблица 1

| $\theta$<br>$R_{\text{экс}}, \text{ Ом}$ | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1   |
|------------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                          | 5000 | 4200 | 1700 | 1200 | 800 | 600 | 520 | 500 | 440 | 400 | 400 |

Таблица 2

| $\theta$<br>$R_{\text{экс}}, \text{ Ом}$<br>$R, \text{ Ом}$ | 0    | 0,1  | 0,2  | 0,3  | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1   |
|-------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                             | 5000 | 4200 | 1700 | 1200 | 800 | 600 | 520 | 500 | 440 | 400 | 400 |
|                                                             | 5000 | 2326 | 1516 | 1124 | 893 | 741 | 633 | 553 | 490 | 441 | 400 |



В табл. 2 приведены значения сопротивления, полученные экспериментально ( $R_{экc}$ ) и рассчитанные аналитически ( $R$ ).

По результатам эксперимента можно сделать вывод о том, что вид аналитической зависимости (7) вполне адекватно подтверждается экспериментальными данными.

Практическое применение формулы (4) для определения скорости инфильтрации иллюстрирует следующий пример.

В грунт на расстоянии  $L = 0,06$  м друг от друга были введены два электрода длиной  $H = 0,1$  м каждый. Пористость грунта равнялась  $P = 0,25$ , коэффициент фильтрации для данного грунта составлял  $k = 0,03$  мм/с. Для данного грунта сопротивление, соответствующее минимальной влажности,  $R_{max} = 5000$  Ом, а сопротивление, соответствующее максимальной влажности,  $R_{min} = 400$  Ом. Было измерено текущее сопротивление грунта. На момент начала проведения эксперимента оно составляло  $R = 1200$  Ом. По формуле (10) было рассчитано текущее значение производной объемной влажности по сопротивлению:

$$\theta'(R = 1200) = -0,000302.$$

Затем было проведено орошение грунта, во время которого сопротивление снизилось на 200 Ом за 15 с. Далее при помощи формулы (4) был произведен расчет текущей скорости инфильтрации ( $\Delta R = -200$ ,  $\Delta t = 15$ ):

$$I = -0,000302 \cdot 0,25 \cdot 0,1 \cdot \frac{-200}{15} + 0,00003 = \\ = 0,000131 \text{ м/с} = 0,131 \text{ мм/с}.$$

Таким образом, на момент измерения была зарегистрирована текущая скорость инфильтрации, равная 0,131 мм/с.

Практически, скорость инфильтрации можно определять двумя способами:

— измерять изменение сопротивления на заранее установленную величину, одновременно фиксируя время, за которое оно произошло;

— измерять сопротивление через одинаковые промежутки времени и определять затем его изменение.

Выбор того или другого способа не принципиален и может быть продиктован конкретной технической реализацией датчика.

Предлагаемый способ можно применить также для измерения скорости испарения внутрипочвенной влаги, при этом значение  $\Delta R$  будет иметь отрицательное значение, а скорость испарения получится как скорость инфильтрации со знаком минус.

Предлагаемый способ измерения скорости инфильтрации воды в грунт может с успехом применяться в системах оперативного прогноза паводков как ливневого происхождения, так и связанных с таянием снежного покрова. Его применение также может быть полезно для исследования различных склоновых явлений в особенности оползней и селей.

#### Список литературы

1. **Алексеев Г. А.** Динамика инфильтрации дождевой воды в почву // Тр. ГГИ. — 1948. — Т. 6. — С. 43—72.
2. **Бэфани А. Н.** Основы теории ливневого стока // "Труды Одесск. гидрометеорол. ин-та". — 1958. — Вып. 14, ч. 2.
3. **Бэфани Н. Ф.** Расчетные формулы впитывания на полевых землях Приханкайской равнины // "Труды ДВНИГМИ". — 1966. — Вып. 22.
4. **Будаговский А. И.** Впитывание воды в почву. — М.: Изд-во АН СССР, 1955. — 139 с.
5. **Жмаева Г. П., Кучмент Л. С.** Определение показателей потерь стока для долгосрочных прогнозов весеннего стока // Метеорология и гидрология. — 1979. — № 2. — С. 73—79.
6. **Попов Е. Г.** Анализ формирования стока равнинных рек. — Л.: Гидрометеиздат, 1956. — 205 с.
7. **Попов Е. Г.** Вопросы теории и практики прогнозов речного стока. — М.: Гидрометеиздат, 1963. — 360 с.
8. **Rey L. R.** Systems Automatiques et Mechanisms de Regulation en Lyophilisation // Journees de Vide de Printemps. Le Vide. — № 90. — Nov. — Dec. — 1960.

## ИНФОРМАЦИЯ

### Международный Форум

## "ОХРАНА И БЕЗОПАСНОСТЬ — SFITEX 2009"

17—20 ноября 2009 г.

Санкт-Петербург, ВК "Ленэкспо"

За дополнительной информацией обращайтесь в оргкомитет выставки:

тел.: +7 (812) 380 6009/10

факс: +7 (812) 380 6001

e-mail: sfitex@primexpo.ru

<http://www.sfitex.ru>



УДК 614.8

**М. А. Долгова**, асп., **А. Д. Галеев**, канд. техн. наук,  
**С. И. Поникаров**, д-р техн. наук, проф.,  
Казанский государственный технологический университет,  
e-mail: kid2302@mail.ru

## Моделирование процесса испарения жидкости с поверхности аварийного пролива

*Рассмотрена математическая модель испарения жидкости с поверхности аварийного пролива. Проведено исследование влияния обвалования на процесс испарения жидкости на примере метанола и гексана.*

**Ключевые слова:** интенсивность испарения, турбулентность, обвалование.

**Dolgova M. A., Galeev A. D., Ponikarov S. I.**  
*Modeling of process the evaporation liquids from the surface accident spills*

*In this article it is considered the mathematical model evaporation of the liquids from the surface accident spills. The research was carried out about influence the diking on process the liquids evaporation, on the example methanol and hexane.*

**Keywords:** evaporation rate, turbulence, diking.

Важный этап анализа риска опасных производственных объектов — расчет количественных показателей возможных аварий. Наиболее распространенный тип аварий на химических и нефтехимических предприятиях связан с разгерметизацией оборудования для хранения, транспортирования и переработки веществ, находящихся в жидком состоянии, сопровождающихся проливами токсичных и (или) взрывоопасных жидкостей. Последствия таких аварий во многом определяются интенсивностью испарения жидкости с поверхности пролива.

Как показывает анализ современных методик оценки последствий аварий, испарению жидкостей не уделяется достаточное внимание, следствием чего являются иногда упрощенные зависимости и выражения, лежащие в основе расчета этого процесса. Более того, интенсивность испарения жидкостей с поверхности пролива в наибольшей степени зависит от метеорологических условий и локальных особенностей местонахождения пролива, благодаря чему адекватный расчет испарения в случае локальной чрезвычайной ситуации представляет собой сложную задачу, не имеющую до сих пор определенного решения [1].

В данной статье рассмотрена математическая модель испарения жидкости с поверхности аварийного пролива в случае частичной разгерметизации

резервуара и проливом жидкости на поверхность, ограниченной обвалованием.

При разработке модели испарения были сделаны следующие допущения:

- процесс испарения лимитируется отводом паров диффузией;
- испаряющаяся жидкость является однокомпонентной, свойства которой одинаковы по всему объему;
- пар рассматривается как идеальный газ;
- слой разлившейся жидкости имеет малую толщину по сравнению с другими линейными размерами.

Данная модель основана на решении системы дифференциальных уравнений в частных производных, что позволяет учитывать динамику воздушного потока и изменение температуры жидкости. Для дискретизации дифференциальных уравнений применяется метод контрольного объема, реализованный в пакете FLUENT.

На поверхности пролива жидкости концентрация пара определяется исходя из гипотезы о термодинамическом равновесии между жидкостью и ее паром у поверхности раздела. Согласно закону Рауля, мольная доля пара на межфазной границе:

$$Y_w = \frac{P_n(T_l)}{P_0}, \quad (1)$$

где  $Y_w$  — мольная доля примеси на поверхности испарения;  $P_n(T_l)$  — давление насыщенных паров при температуре жидкости  $T_l$ ;  $P_0$  — давление окружающего воздуха.

Давление насыщенных паров определялось по следующему уравнению [2]:

$$P_n(T_l) = \exp\left(A + \frac{B}{T} + X \ln(T) + DT^E\right), \quad (2)$$

где  $A, B, X, D, E$  — коэффициенты, значения которых приведены в программе [2];  $T$  — температура.

Массовый поток с поверхности пролива определялся на основе стандартных функций с учетом поправки на стефановский поток [1]:

$$J_w = \frac{1}{K_s} \frac{(C_{i,w} - C_{i,p}) \rho u_*^*}{C^+}, \quad (3)$$



где  $K_s$  — коэффициент, учитывающий стефановский поток;  $C$  — массовая концентрация паров жидкости с индексами;  $p$  — узел расчетной сетки, прилегающий к поверхности пролива;  $w$  — поверхность аварийного пролива;  $i$  — переносимая токсичная примесь;  $u_*$  — скорость трения;  $\rho$  — плотность паровоздушной смеси;  $U_*$  — скорость трения.

$$C^+ = \begin{cases} Scy^+, (y^+ < y_c^+) \\ Sc_t(u^+ + P_c), (y^+ > y_c^+); \end{cases}$$

$$y^+ = \frac{\rho u_* y_p}{\mu}; U_* = (\tau_w/\rho)^{0,5}, \quad (4)$$

где  $Sc$  и  $Sc_t$  — молекулярное и турбулентное число Шмидта;  $y_c^+$  — безразмерное расстояние, определяемое в точке пересечения линейного и логарифмического закона стенки для концентрации;  $\tau_w$  — напряжение трения на стенке;  $y_p$  — расстояние по нормали от поверхности испарения до соседнего узла расчетной сетки;  $\mu$  — коэффициент молекулярной динамической вязкости;

$$u^+ = \frac{1}{\kappa} \ln(Ey^+) - \Delta B;$$

$$\Delta B = \frac{1}{\kappa} \ln(1 + C_{z_0} z_0^*);$$

$$z_0^* = \frac{\rho z_0 u_*}{\mu}, \quad (5)$$

где  $\kappa = 0,41$  — константа Кармана;  $E = 9,1$  — константа в логарифмическом законе стенки для скорости;  $C_{z_0}$  — коэффициент;  $z_0$  — высота шероховатости твердой поверхности, м.

Диффузионный поток с поверхности разлива определяется с помощью пристеночных функций [3]:

$$P_c = 9,24 \left[ \left( \frac{Sc}{Sc_t} \right)^{3/4} - 1 \right] [1 + 0,28 e^{-0,007 Sc/Sc_t}]. \quad (6)$$

Для расчета коэффициента, учитывающего стефановский поток, использовалось уравнение [4]:

$$K_s = 1 - Y_w. \quad (7)$$

Рассчитанная величина  $J_w$  использовалась в качестве граничного условия в задаче эволюции парового облака, решение которой получено путем численного анализа полной системы трехмерных нестационарных уравнений Рейнольдса, замыкаемых уравнением состояния идеального газа и стандартной  $k$ - $\varepsilon$  моделью турбулентности. Используемая модель рассеивания примеси в атмосфере подробно представлена в работе [5].

Для проверки адекватности модели было проведено сравнение результатов моделирования с данными натурного эксперимента, представленными в работе [6]. Рассматриваемый эксперимент про-

водился при различных климатических условиях в течение всего дневного времени. Процесс испарения происходил с поверхности жидкости, разлитой в поддон, расположенный на пенопласте высотой 5 см, что позволяло пренебречь теплообменом с грунтом. Жидкость поступала из резервуара в поддон через специальную трубку для поддержания постоянного уровня пролива. Геометрические характеристики: высота поддона — 5 см, диаметр — 0,61 м, высота слоя жидкости — 5 см. Погрешность эксперимента в статье [6] не приведена. Численное моделирование испарения рассматривалось с учетом возмущающего влияния поддона и пенопласта. Результаты сравнений представлены в таблице.

В целом, наблюдается удовлетворительное согласие результатов расчета с экспериментом, погрешность расчета составляет  $\pm 10...15\%$ .

Для исследования динамики испарения с поверхности пролива рассматривалась гипотетическая авария с частичной разгерметизацией резервуаров вместимостью 100 м<sup>3</sup> с гексаном и метанолом. Пролив жидкости происходил на поверхности, ограниченной обвалованием высотой 1,8 м. Площадь пролива 200 м<sup>2</sup>. Расчетная сетка представлена на рис. 1. В качестве материала подстилающей поверхности выбирался бетон. Процесс испарения рассматривался при скорости ветра 1 м/с и 2 м/с в течение 30 мин. Предполагалось, что в течение этого времени будут приняты меры, направленные на

| Название вещества | Температура, К | Давление насыщенных паров, Па | Расчетная интенсивность испарения с учетом поддона, стоящего на пенопласте, кг/(м <sup>2</sup> ·с) | Экспериментальное значение интенсивности испарения, кг/(м <sup>2</sup> ·с) |
|-------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Толуол            | 294            | 2969                          | 0,001505                                                                                           | 0,001247                                                                   |
| Толуол            | 302            | 4492                          | 0,0011745                                                                                          | 0,00094                                                                    |
| Циклогексан       | 297            | 12 508                        | 0,0014723                                                                                          | 0,001636                                                                   |
| Гексан            | 268            | 4554                          | 0,0017                                                                                             | 0,00154                                                                    |
| Гексан            | 295            | 17 490                        | 0,002877                                                                                           | 0,003022                                                                   |
| Метанол           | 280            | 4734                          | 0,0006957                                                                                          | 0,0007083                                                                  |

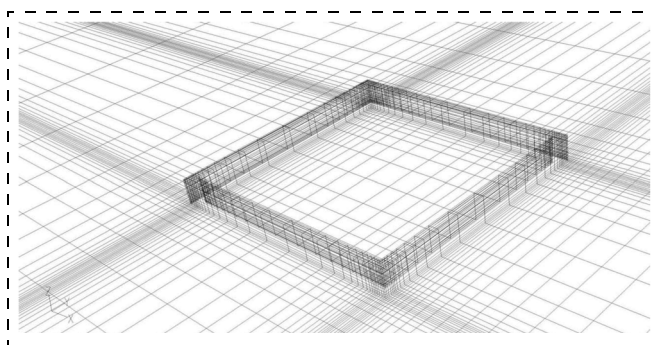


Рис. 1. Расчетная сетка

локализацию и ликвидацию аварийного пролива.

Было проведено сравнение результатов расчетов по разработанной модели и эмпирической формуле, изложенной в [7]:

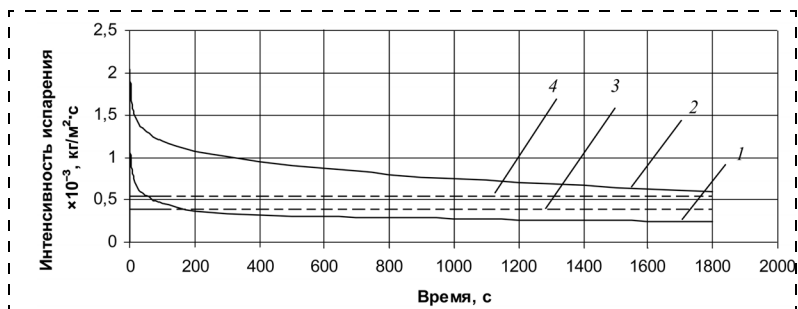
$$J_w = \sqrt{M} \cdot 10^{-6} (5,83 + 4,1U) P_H, \quad (8)$$

где  $M$  — молекулярная масса вещества, кг/моль;  $U$  — скорость ветра, м/с;  $P_H$  — давление насыщенных паров, мм рт. ст. Результаты расчетов представлены на рис. 2—8.

Рост интенсивности испарения жидкостей при увеличении скорости ветра обусловлен турбулизацией воздушного потока и, как следствие, усилением турбулентного переноса примеси с поверхности пролива (см. рис. 2—4).

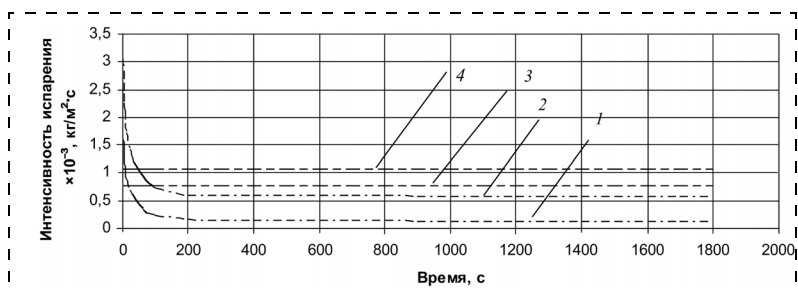
Анализ графика (см. рис. 2) показывает, что интенсивность испарения гексана при скорости ветра 1 м/с через 30 минут снижается в 14,6 раза, а при скорости ветра 2 м/с в 5,5 раза. Данная тенденция обусловлена образованием над поверхностью пролива паровоздушной смеси с плотностью, значительно превышающей плотность воздуха (молекулярная масса гексана — 86 кг/кмоль, воздуха 29 кг/кмоль). Отрицательный вертикальный градиент плотности вызывает подавление турбулентности (явление устойчивой стратификации), что, в свою очередь, сопровождается снижением интенсивности испарения (см. рис. 4). Как видно из рис. 5 и 6 (см. 4-ю стр. обложки), обвалование препятствует распространению примеси, способствуя ее накоплению в ограниченной зоне. Следствием этого является образование высоких концентраций над поверхностью пролива. Границей рассматриваемого облака соответствует 1000 мг/м<sup>3</sup> за промежуток времени 30 мин.

Интенсивность испарения метанола за рассматриваемый промежуток времени снижается в 4,5 раза при скорости ветра 1 м/с, а при скорости ветра 2 м/с в 3,34 раза. График изменения интенсивности испарения во времени представлен на рис. 3. Интенсивность испарения метанола снижается менее резко, чем при испарении гексана, в связи с тем, что образующаяся паровоздушная смесь имеет плотность, незначительно отличающуюся от плотности воздуха (молекулярная масса метанола — 32 кг/кмоль, воздуха — 29 кг/кмоль). Диффузия паров метанола в турбулентный слой атмосферы и унос примеси



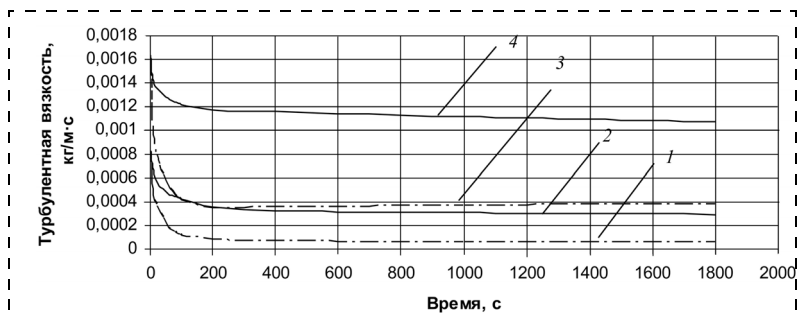
**Рис. 2. Изменение интенсивности испарения гексана во времени:**

1 — рассчитанная по математической модели, при скорости ветра 1 м/с; 2 — рассчитанная по математической модели, при скорости ветра 2 м/с; 3 — рассчитанная по эмпирической формуле, при скорости ветра 1 м/с; 4 — рассчитанная по эмпирической формуле, при скорости ветра 2 м/с



**Рис. 3. Изменение интенсивности испарения метанола во времени:**

1 — рассчитанная по математической модели, при скорости ветра 1 м/с; 2 — рассчитанная по математической модели, при скорости ветра 2 м/с; 3 — рассчитанная по эмпирической формуле, при скорости ветра 1 м/с; 4 — рассчитанная по эмпирической формуле, при скорости ветра 2 м/с



**Рис. 4. Значение турбулентной вязкости:**

1 — для гексана при скорости ветра 1 м/с; 2 — для метанола при скорости ветра 1 м/с; 3 — для гексана при скорости ветра 2 м/с; 4 — для метанола при скорости ветра 2 м/с

воздушным потоком, способствуют образованию протяженного облака, показанного на рис. 7 и 8 (см. 4-ю стр. обложки).

Результаты численных экспериментов показали, что сооружения, ограничивающие пролив, могут существенно влиять на интенсивность испарения и перенос примеси. Корректное определение количества опасного вещества, способного участвовать в создании поражающих факторов, важно при оценке масштабов возможных аварий.



#### Список литературы

1. **Иванов А. В.** Разработка методических основ оценки последствий химических промышленных аварий (на примере металлургического комбината): дисс. канд. тех. наук: 05.26.04 / Иванов Андрей Валерьевич. — М., 1999. — 243 с.
2. **ChemCad 5.2.** User's Guide, Chemstations Inc.
3. **Патанкар С.** Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 145 с.
4. **Воротилин В. П.** Расчет процесса конденсации хлора в присутствии инертной смеси / В. П. Воротилин, Л. И. Хейфиц // Химическая промышленность. — 1987. — № 8. — С. 502—506.
5. **Галеев А. Д.** Численный анализ аварий на объектах использования сжиженных газов / А. Д. Галеев, В. С. Гасилов, С. И. Поникаров // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — № 12. — С. 30—36.
6. **Peter I.** The evaporation of volatile liquids / Peter I., Kawamura and Donald // Journal of Hazardous Materials. — 1987. — № 15. — Р. 343—364.
7. **Методика** оценки последствий химических аварий (методика "Токсик"). Редакция 2.2 // Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах // Сб. док-тов / ГУП НТЦ "Промышленная безопасность". — Сер. 27. Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. — 2002. — Вып. 2. — С. 121—204.

УДК 621.22: 614.8

**Д. С. Пушкин**, адъюнкт,  
Академия ГПС МЧС России,  
e-mail: puschkin.d@mail.ru

## Энергетические потери в пожарных напорных рукавах

*Проанализированы значения гидравлического сопротивления пожарных напорных рукавов. Выявлены зависимости мощности, затрачиваемой на прохождение воды по рукавам различных диаметров. Показаны длины рукавных линий при максимальной пропускной способности рукавов.*

**Ключевые слова:** пожарный рукав, потери напора, потери мощности, пропускная способность рукава.

**Pushkin D. S.** Power losses in fire pressure head sleeves

*In given clause values of hydraulic resistance of fire pressure head sleeves are analyzed. Dependences of capacity of water spent for passage on sleeves of various diameters are revealed. Lengths of sleeve lines at the maximal throughput sleeves are shown to a line.*

**Keywords:** a fire hose, losses of a pressure, loss of capacity, throughput of a sleeve.

Единственным способом транспортирования воды на необходимое расстояние для тушения пожара являются пожарные напорные рукава (ПНР). В обширной номенклатуре пожарно-технического оборудования пожарные напорные рукава занимают особое место. Пожарный рукав — это гибкий трубопровод, оборудованный соединительными головками и служащий для подачи воды к месту пожара [1].

В пожарном деле важно не только подавать воду по эластичным рукавам на большие расстояния, но и обеспечить достаточную величину давления у стволов. Поэтому к пожарным рукавам предъявляются следующие требования: они должны быть эластичными (гибкими), иметь малую массу и, вместе с тем, должны обладать большим сопротивлением разрыву. Важно, чтобы сопротивление движению воды, которое зависит от коэффициента гидравлического сопротивления, было как можно меньше.

В табл. 1 представлены основные тактико-технические характеристики ПНР.

Таблица 1

Тактико-технические характеристики пожарных напорных рукавов [2]

| Внутренний диаметр рукава, мм | Давление для новых рукавов, МПа |               | Вместимость рукава длиной 20 м, л | Коэффициент гидравлического сопротивления одного рукава длиной 20 м S, (с/л) <sup>2</sup> м |                  | Пропускная способность одного рукава по воде, л/с | Масса одного рукава длиной 20 м, кг |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                               | Рабочее                         | Испытательное |                                   | Прорезиненного                                                                              | Непрорезиненного |                                                   |                                     |
| 51                            | 1,6                             | 2,0           | 40                                | 0,13                                                                                        | 0,24             | 10,2                                              | 11,6                                |
| 66                            | 1,6                             | 2,0           | 70                                | 0,034                                                                                       | 0,077            | 17,1                                              | 14,0                                |
| 77                            | 1,6                             | 2,0           | 90                                | 0,015                                                                                       | 0,030            | 23,3                                              | 17,0                                |
| 89                            | 1,4                             | 1,6           | 125                               | 0,007 (0,0035)                                                                              | —                | 30,0 (40,0)                                       | 21,1                                |
| 110                           | —                               | —             | —                                 | (0,0022)                                                                                    | —                | —                                                 | —                                   |
| 150                           | 1,2                             | 1,4           | 350                               | 0,00046                                                                                     | —                | —                                                 | 36,0                                |

Примечание. В скобках указаны данные по источнику [5].

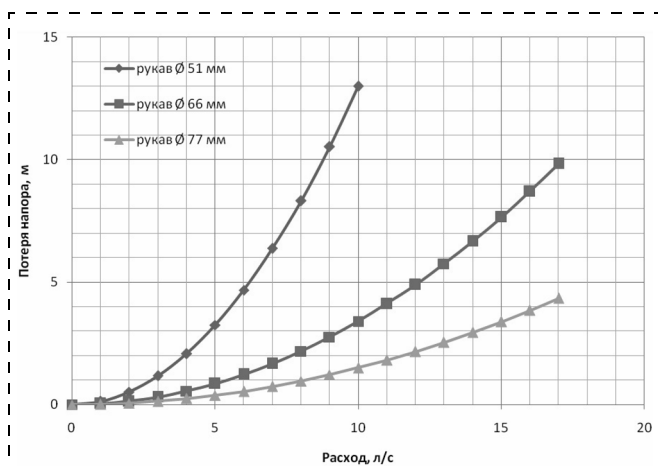


Рис. 1. Зависимость напора от расхода при прохождении воды по одному рукаву

Как видно из приведенной выше таблицы, значения коэффициентов гидравлического сопротивления для одинаковых рукавов разные в зависимости от источника, в котором они были опубликованы. Это дает основание полагать, что не существует единой методики по нахождению величины гидравлического сопротивления ПНР.

Эти коэффициенты имеют большое значение при расчете потерь напора в рукавной линии.

$$H = nSQ^2, \quad (1)$$

где  $H$  — потери напора, м;  $n$  — количество рукавов длиной 20 м;  $S$  — коэффициент гидравлического сопротивления одного рукава длиной 20 м,  $(\text{с/л})^2 \text{ м}$  [4];  $Q$  — расход воды, л/с.

Подставив в формулу (1) значения коэффициентов гидравлического сопротивления из табл. 1 для прорезиненного рукава, а в качестве расхода приняв значения от 0 до 12 л/с, получим данные, представленные графически на рис. 1.

Из анализа этого графика следует, что при одинаковом расходе воды потери напора в рукаве Ø 51 мм в 3,8 раза выше, чем потери напора в рукаве Ø 66 мм, и более чем в 8 раз выше по сравнению с рукавом Ø 77 мм. Эти различия в потере напора вызваны не только разными диаметрами рукавов, но и разными величинами коэффициентов гидравлического сопротивления.

Значения потерь напора влияют на величину затрачиваемой мощности, необходимой для прохождения воды по ПНР. Эта мощность называется эффективной мощностью, которая расходуется на перемещение определенного количества жидкости. Расчет эффективной мощности, Вт, на прохождение воды по рукаву определяется по следующей формуле:

$$N = \rho q Q H, \quad (2)$$

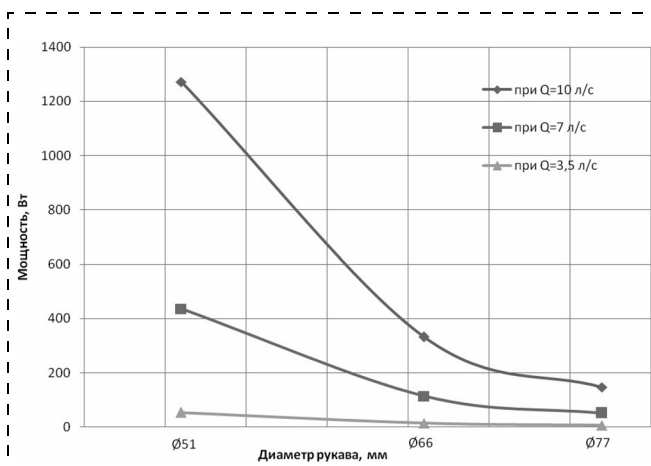


Рис. 2. Зависимость мощности от диаметра рукава при различных значениях расхода

где  $\rho$  — плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ ;  $q$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ ;  $Q$  — расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Данные, полученные в ходе вычислений по формуле (2) с использованием полученных значений потери напора от расхода (см. рис. 1), приведены в табл. 2.

Представим полученные данные в виде графика (рис. 2). Из анализа данного графика видно, что значение мощности, затрачиваемой на прохождение воды по одному рукаву, зависит как от расхода воды, так и от диаметра рукава, причем это влияние не равномерно. Например, при расходе воды 10 л/с видно существенное снижение мощности, затрачиваемой на перекачку воды с увеличением диаметра ПНР, а при расходе 3,5 л/с это различие практически не заметно.

Зная коэффициенты гидравлического сопротивления ПНР, можно определить максимальную длину рукавной линии. Для этого в качестве базового примем шасси пожарного автомобиля (ПА) на базе АЦ-40 (131) (модель 137). На данном типе ПА вывозится следующее количество рукавов [5]: Ø 77 мм — 10 шт.; Ø 66 мм — 4 шт.; Ø 51 мм — 6 шт.

Таблица 2

Эффективная мощность для прохождения воды по одному рукаву, Вт

| Расход, л/с | Диаметр рукава, мм |       |       |
|-------------|--------------------|-------|-------|
|             | 51                 | 66    | 77    |
| 2           | 10,2               | 2,7   | 1,2   |
| 3,5         | 54                 | 14,2  | 6,3   |
| 4           | 81,4               | 21,3  | 9,4   |
| 6           | 274,7              | 71,8  | 31,7  |
| 7           | 436,2              | 114,1 | 50,3  |
| 8           | 651,1              | 170,3 | 75,1  |
| 10          | 1271,7             | 332,6 | 146,7 |
| 12          | —                  | 574,7 | 253,6 |



При расчете максимального количества рукавов в рукавной линии необходимо знать формулу для определения напора на насосе, м.

$$H_H = nSQ^2 \pm Z_M \pm Z_{\Pi} + H_{\text{ств}}, \quad (3)$$

где  $Z_M$  — геометрическая высота подъема или спуска местности, м;  $Z_{\Pi}$  — наибольшая высота подъема или глубина подачи стволов, м;  $H_{\text{ств}}$  — напор на стволе, м.

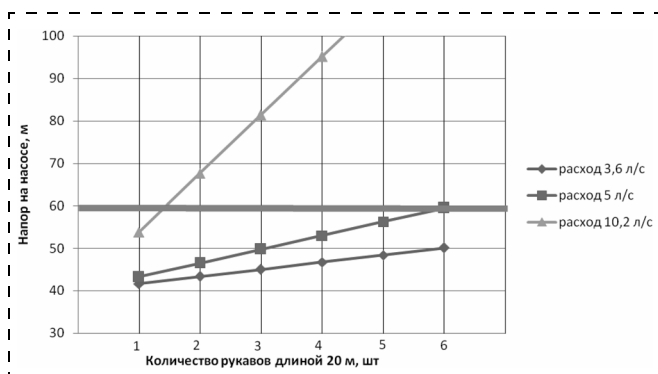


Рис. 3. Зависимость напора на насосе от длины рукавной линии диаметром 51 мм

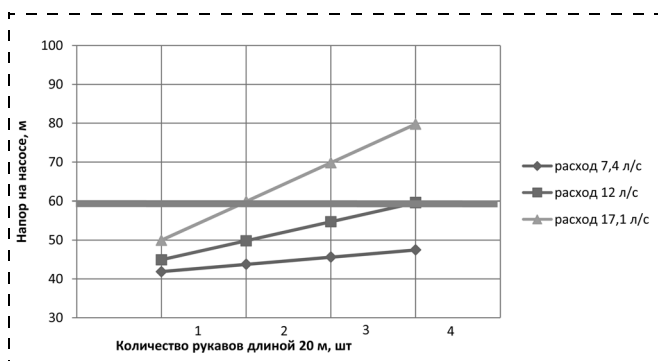


Рис. 4. Зависимость напора на насосе от длины рукавной линии диаметром 66 мм

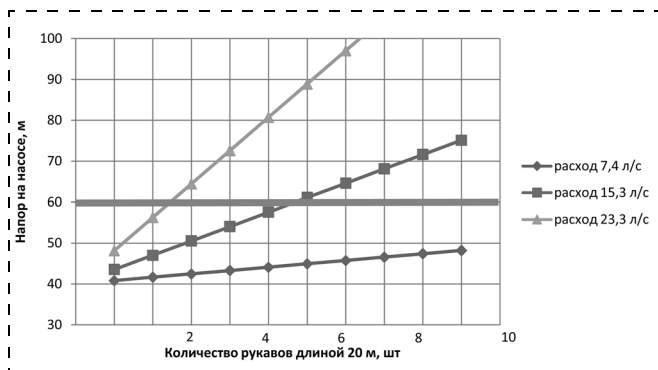


Рис. 5. Зависимость напора на насосе от длины рукавной линии диаметром 77 мм

Принимая при расчете, что  $Z_M$  и  $Z_{\Pi}$  равно нулю, а максимальный напор на стволе составляет 40 м, можно определить напор на насосе. Сделаем расчет для трех различных диаметров. Для наглядности полученные результаты представим в виде графика (рис. 3).

Горизонтальная линия на отметке 60 м обозначает необходимое значение напора на стволе в 40 м, из возможных 100 м которых может создать пожарный насос. Как видно из графика на рис. 3, при напоре на стволе 40 м можно использовать только шесть рукавов в длину рукавной линии при расходе лишь 5 л/с из возможной пропускной способности в 10,2 л/с для рукава диаметром 51 мм.

Аналогичным способом строим графики для рукавов 66 мм и 77 мм (рис. 4 и 5).

Анализ графика на рис. 4 позволяет прийти к выводу, что при напоре на конце рукавной линии 40 м можно использовать только четыре рукава с расходом 12 л/с, а при максимальной пропускной способности, т. е. при расходе 17,1 л/с рукавную линию можно проложить только на два рукава.

Из графика на рис. 5 видно, что при максимальной пропускной способности рукава 23,3 л/с и создании необходимого напора на стволе можно использовать только два рукава из 10 вывозимых на данном виде ПА.

## Выводы

Проанализированы значения гидравлических сопротивлений пожарных напорных рукавов. Проведено сравнение гидравлических сопротивлений из различных источников, выявлено, что эти значения различаются. Получена зависимость затраченной мощности на прохождение воды по рукаву от диаметра рукава, при различных значениях расхода воды. Выявлено, что мощность значительно зависит от диаметра рукава: чем больше диаметр, тем меньше затрачиваемая мощность, причем на уменьшение мощности влияет также и расход проходящей по рукаву воды. Получены максимальные длины рукавных линий при максимальной пропускной способности рукавов. Величины длин рукавных линий сильно зависят от значений гидравлических сопротивлений в ПНР.

## Список литературы

1. Безбородько М. Д. Пожарная техника. — М.: АГПС МЧС России, 2004.
2. Абросимов Ю. Г. Гидравлика. — М.: АГПС МЧС России, 2005. — 312 с.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975.
5. Иванников В. П., Клюс П. П. Справочник руководителя тушения пожара. — М.: Стройиздат, 1987.

УДК 65.050.2

**В. В. Кафидов**, д-р экон. наук, проф., **О. Н. Орлова**, адъюнкт,  
Академия ГПС МЧС России, г. Москва,  
e-mail: olga\_on.omsk@mail.ru

## Повышение квалификации руководящего звена специалистов государственной противопожарной службы МЧС России

*Определена общая потребность в специалистах государственной противопожарной службы (ГПС) МЧС России. Рассмотрены вопросы карьерного роста с помощью повышения квалификации руководящих кадров. Проведен анализ успешности карьеры руководителей ГПС. Представлены результаты исследований по подготовке руководящего звена специалистов ГПС МЧС России.*

**Ключевые слова:** закономерности успешности, стремление к успеху, формирование руководящего ядра органа управления, математические методы и модели управления, финансовый менеджмент, опасные природные процессы, сущность понятия риска, основные виды опасности.

**Kafidov V. V., Orlova O. N. Improvement of professional qualification of a key element of experts of the state fire service of the Ministry of Emergency Measures of Russia**

*The general requirement for experts of the state fire service (SFS) the Ministry of Emergency Measures of Russia is defined. Questions of career growth by means of improvement of professional skill of the managerial personnel are considered. The analysis of success of heads SFS is carried out. Results of researches on preparation of a key element of experts of the State fire service of the Ministry of Emergency Measures of Russia are presented.*

**Keywords:** laws of success, aspiration to success, formation of a supervising kernel of controls, mathematical methods and models of management, financial management, dangerous natural processes, essence of concept of risk, the basic types of danger.

Достижение целей реформирования управления в области пожарной безопасности возможно при эффективной управленческой деятельности руководителей всех уровней управления.

При выработке стратегии в процессе формирования профессионального ядра успешность деятельности человека зависит от наличия у него соответствующих знаний, умений, навыков.

Карьерный рост в системе государственной службы есть естественный саморазвивающийся

процесс. Однако успешная карьера многих работников является результатом удачного стечения обстоятельств. Вместе с тем, обстоятельства можно и нужно формировать, способности развивать, добросовестность воспитывать, т. е. процессу карьерного роста нужно осознанно помогать.

Анализ успешности карьеры включает в себя ряд важных зависящих друг от друга понятий, которые в свою очередь представляют собой схему успешности как неотъемлемой части по формированию руководящего ядра органа управления.

Одним из критериев успешности карьеры сотрудника ГПС МЧС России является отбор для обучения на факультете руководящих кадров Академии ГПС МЧС России о специальности "Государственное и муниципальное управление".

Кандидаты на очную форму обучения на факультете руководящих кадров Академии ГПС МЧС России комплектуются сотрудниками ГПС, состоящими в должностях старшего начальствующего состава в возрасте до 40 лет, зачисленными в резерв кадров для выдвижения на руководящую работу в управленческом звене ГПС, имеющими профессиональное высшее образование, как правило, в области пожарной безопасности, проработавшими не менее 3 лет на руководящих должностях после окончания высшего учебного заведения и годными к учебе по состоянию здоровья.

На основании выполненного авторами анализа подготовка резерва кадров для выдвижения на руководящую работу поделена на три составляющие: обучение, успешность, поддержка (рис. 1).

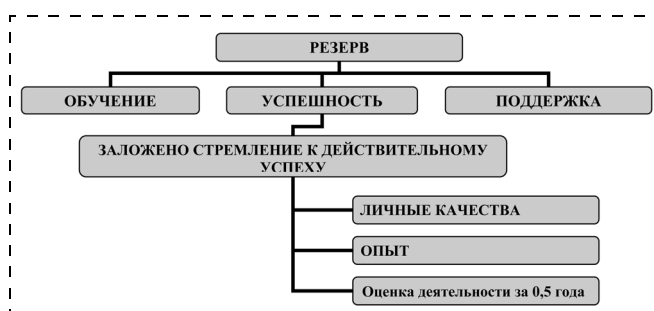


Рис. 1. Структура факторов, участвующих в формировании резерва руководящего ядра органа управления



Основным звеном системы работы с руководящими кадрами является подбор кадров, который в самом широком его толковании включает следующие процедуры: набор, формирование резерва, выдвижение, ротацию, расстановку. Каждая из них имеет свои специфические особенности, этапы.

В зависимости от объективных условий карьера сотрудника внутри организации может быть перспективной или тупиковой. Карьерная линия может быть либо длинной, либо очень короткой. Продвижение по службе определяется не только личными качествами работника (образование, квалификация, отношение к работе, система внутренних мотиваций), но и объективными обстоятельствами, такими как:

- высшая точка карьеры — высший пост, существующий в конкретной организации;

- длина карьеры — количество должностей на пути от первой должности, занимаемой индивидуумом в организации, до высшей;

- показатель уровня должности — отношение числа лиц, занятых на следующем иерархическом уровне, к числу лиц, занятых на том иерархическом уровне, где находится человек в данный момент своей карьеры;

- показатель потенциальной мобильности — отношение (в некоторый определенный период времени) числа вакансий на следующем иерархическом уровне к числу лиц, занятых на том уровне, где находится индивидуум [9].

Итогом реализации Приказа МЧС России № 225 от 19.05.2004 г. "О концепции кадровой политики МЧС России" является наличие в организациях МЧС России высокоподготовленного кадрового потенциала, отвечающего установленным требованиям и обеспечивающего гарантированное выполнение задач, поставленных перед министерством.

В этом документе, в примечании "Типовая схема формирования кадрового резерва руководящего состава МЧС России", говорится о том, что предпочтение при зачислении в резерв отдается сотрудникам, имеющим: разносторонний опыт службы на разных должностях в органах управления, поисково-спасательных формированиях, воинских частях; ученую степень; образование по специальностям "Государственное и муниципальное управление", "Юриспруденция".

На основании "Положения о факультете руководящих кадров (ФРК) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России", в сфере высшего профессионального образования по специальности "Государственное и муниципальное управление", а также проведенного анализа по статистическим данным за последние 5 лет о слушателях факультета, выявлены некоторые закономерности успешности карьеры (рис. 2).

Факультет предназначен для подготовки высококвалифицированных руководящих кадров управленческого звена ГПС МЧС России по субъектам Российской Федерации. Результаты деятельности факультета представлены в таблице. По окончании обучения на факультете руководящих кадров Академии ГПС МЧС России в соответствии с персональным распределением выпускникам предложены должности с повышением и дальнейшим прохождением службы по месту распределения (рис. 3).

Государственная аттестационная комиссия каждый год отмечает, что многие дипломные проекты представляют практический интерес и являются частью научных исследований, так как разрабатывались в интересах реальных регионов и объектов. Число перспективных слушателей факультета увеличивается, например с 1996 по 2006 г. оно выросло в 8 раз.

За пять учебных лет число слушателей, обучающихся на факультете по очной форме, увеличилось в два раза. Востребованность в грамотных специалистах по вопросам управления возрастает с каждым годом. Следует отметить также увеличение разнообразия состава слушателей (сотрудники ГПС, спасатели, военнослужащие и др.).

В последние годы в учебный план введены новые предметы: математические методы и модели управления в ГПС; финансовый менеджмент; организация деятельности Госпожнадзора; инженерная защита населения; управление безопасности экономи-

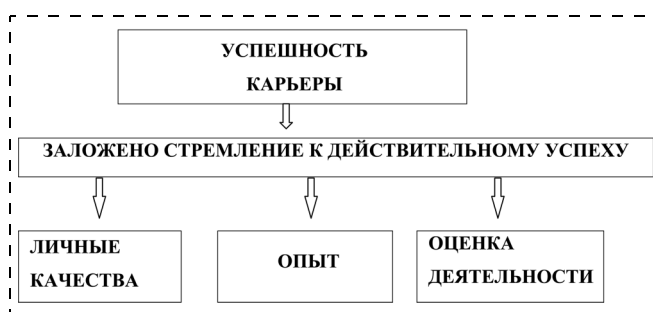


Рис. 2. Закономерности, влияющие на успешность карьеры

Результаты учебной деятельности факультета руководящих кадров ГПС МЧС России по специальности "Государственное и муниципальное управление"

| Учебный год | Количество слушателей | Оценки итогового экзамена |        | Оценки дипломного проекта |        | Дипломы с отличием |
|-------------|-----------------------|---------------------------|--------|---------------------------|--------|--------------------|
|             |                       | отлично                   | хорошо | отлично                   | хорошо |                    |
| 2001—2003   | 20                    | 15                        | 5      | 19                        | 1      | 7                  |
| 2002—2004   | 34                    | 28                        | 6      | 24                        | 10     | 12                 |
| 2003—2005   | 36                    | 28                        | 8      | 26                        | 10     | 12                 |
| 2004—2006   | 46                    | 29                        | 17     | 33                        | 13     | 5                  |



Рис. 3. Анализ динамики предложения должностей

ки и территории; опасные природные процессы. Данные предметы можно обозначить как предметы по пожарной безопасности, которые рассматривают следующие вопросы:

- сущность понятия риска;
- риски развития опасных явлений в ЧС;
- сущность вероятностного метода оценки основных факторов риска;
- основные виды опасности и т. д.

Введение данных дисциплин в учебную программу слушателей факультета руководящих кадров Академии ГПС МЧС России позволяет расширить

область знаний, повысить роль подготовки руководящих кадров управленческого звена ГПС МЧС России по субъектам Российской Федерации. Усвоенные знания, внедрение современных технических средств профилактики пожаров и пожаротушения, осуществление комплекса мероприятий, направленных на снижение количества пожаров и гибели людей на пожарах, совершенствование технологий тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ, позволяют значительно уменьшить число пожаров и способствуют своевременному предотвращению чрезвычайных ситуаций.

## ИНФОРМАЦИЯ

### 8-я межрегиональная выставка

## "ОХРАНА ТРУДА. ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ"

6—8 октября 2009 г.

**Организатор:** Объединение "Универсальные выставки",  
Уральский центр научно-технического обеспечения промышленной, экологической  
и энергетической безопасности (АНО "Промбезопасность — Екатеринбург")

#### Основные темы выставки:

**Безопасность и охрана труда:** аттестация и сертификация рабочих мест; специальная одежда и обувь; средства коллективной и индивидуальной защиты; обучение, повышение квалификации по вопросам охраны труда и др.

**Промышленная безопасность:** безопасность промышленных объектов; оборудование, технологические линии и наукоемкие технологии, обеспечивающие надежность и безопасность производства; сертификация, испытания, экспертиза промышленной безопасности и др.

**А также:** промэкология, информационная безопасность.

**Контакты:** 620014, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, 13, офис 517

Тел./факс: (343) 355-00-49, 355-01-49

e-mail: [info@unexpo.ru](mailto:info@unexpo.ru)

[mail@unexpo.ru](mailto:mail@unexpo.ru)

<http://www.unexpo.ru>

## О мерах по использованию попутных нефтяных газов (сообщение Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии, представленное Управлением по связям с общественностью и взаимодействию со СМИ)

10 марта 2009 года состоялось заседание Высшего экологического совета (ВЭС) при Комитете Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии.

Открывая заседание, председатель Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии и председатель ВЭС Н. С. Комарова отметила: "На сегодняшнем заседании нам предстоит обсудить проблемы рационального использования попутного нефтяного газа (ПНГ). Об актуальности этого вопроса говорят следующие цифры: из 55 млрд м<sup>3</sup> ПНГ, ежегодно извлекаемого российскими предприятиями, в переработку направляется лишь 26 %, около 27 % газов сжигается в факелах и 47 % используется компаниями-недропользователями на нужды промыслов либо списывается на технологические потери. От такого нерационального использования ПНГ российская экономика теряет более 13 млрд долларов США в год (это стоимость высококачественных жидких углеводородов, пропана, бутана и сухого газа, которые производились бы при переработке ПНГ). Помимо потерь не возобновляемого энергетического и химического сырья, при сжигании ПНГ в атмосферу по разным оценкам выбрасывается от 322 до 400 тыс. т твердых загрязняющих веществ, что составляет 15 % общего годового объема всех выбросов в атмосферу.

Отмечу также, что в Постановлении Правительства Российской Федерации от 8 января 2009 года № 7 "О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках" по сути поставлена задача к 1 января 2012 года утилизировать и перерабатывать 95 % попутного газа. Полагаю, что это актуальная мера, ведь если не поднимать планку, эта проблема будет решаться еще десятилетия, что создает реальную угрозу экологической и энергетической безопасности. Другой вопрос, что в нынешних непростых условиях, на мой взгляд, необходимы, прежде всего, экономические стимулы для утилизации и переработки попутного нефтяного газа, а не только административное давление. Должен быть гарантирован сбыт перерабатываемого сырья. Определенные шаги для разрешения этой проблемы предпринимаются. Так, по итогам совещания в Киришах, председателем Правительства В. В. Путиным соответствующим ведомствам дано поручение о разработке проектов нормативно-правовых актов, предусматривающих приоритетное право доступа к газопроводным сетям поставщикам отбензиненного сухого газа, получаемого при переработке попутного газа, а для поставщиков электроэнергии, вырабатываемой на попутном газе и продуктах его переработки, — приоритетного доступа к Единой национальной электрической сети. Полагаю, что работа в этом направлении будет продолжена, в том числе и с учетом рекомендаций сегодняшнего заседания ВЭС.

В частности, Комитет планирует подготовить законопроект о внесении изменений в Налоговый кодекс, преду-

сматривающий поощрение организаций, осуществляющих сбор, транспортировку и переработку ПНГ, а также разработку, производство и внедрение оборудования в области рационального использования ПНГ. Депутаты предлагают внести изменения в Федеральный закон "О газоснабжении в Российской Федерации", предусматривающие приоритетный доступ к свободным мощностям газотранспортных сетей поставщиком сухого газа, получаемого при переработке попутного газа.

Кроме того, готовятся предложения о внесении изменений в Закон Российской Федерации "О недрах" в части наделения пользователей недр обязанностями по разработке комплексных программ по утилизации ПНГ и обеспечению скважин приборами учета добываемого попутного газа. Предлагается включить в состав проектных документов по разработке месторождений углеводородного сырья требования об использовании не менее 95 % попутного газа".

В ходе заседания обсуждались предложения об установлении нулевой ставки ввозных таможенных пошлин на оборудование, используемое при добыче, переработке, транспортировке и хранении ПНГ, не имеющего аналогов в Российской Федерации.

Для оперативного мониторинга состояния окружающей среды члены ВЭС предлагают создать единый информационный банк данных по объемам добываемого и сжигаемого в факелах на территории России попутного нефтяного газа.

### Комментарий редколлегии журнала "Безопасность жизнедеятельности"

Тема, поднятая на заседании ВЭС 10 марта 2009 г., действительно актуальная и актуальная настолько, что ей уже пора отмечать соответствующий юбилей.

Дело в том, что еще в декабре 1994 г. Россия ратифицировала Рамочную конвенцию ООН об изменении климата (РКИК), а в ноябре 2004 г. — Киотский протокол (КП) к этой конвенции, в результате чего 16 февраля 2005 г. протокол вступил в силу. Самое существенное обязательство страны-участницы КП — учет выбросов парниковых газов в СО<sub>2</sub>-эквиваленте и отчетность в соответствии с правилами РКИК. Кстати, это требование не протокола, а самой конвенции. В отсутствие протокола России удавалось отчитываться без создания национальной системы учета, но по Киртскому протоколу все развитые страны (в том числе и Российская Федерация) должны были не позднее 2007 г. создать национальную систему оценки антропогенных выбросов и поглотителей парниковых газов.

Не обсуждая вопрос о существовании российской системы оценки выбросов, заметим только, что Россия ежегодно представляет в Секретариат РКИК отчеты, в которых присутствуют данные и о выбросах ПНГ. Так, в 2004 г. размеры выбросов этих газов в результате сжигания на факелах были оценены в 14,9 млрд м<sup>3</sup>, что практически

совпадает с данными, приведенными Н. С. Комаровой (27 % от 55 млрд м<sup>3</sup>).

Однако своеобразную "ложку дегтя" в статистику данных о выбросах, официально представляемых Россией, внесли результаты спутниковой фотосъемки, проведенные под руководством Всемирного банка (ВБ) в целях сокращения факельного сжигания ПНГ. Результаты, опубликованные ВБ, свидетельствуют о том, что в 2004 г. Россия в своих официальных данных значительно занизила реальные размеры выбросов ПНГ, оценив их как 14,9 млрд м<sup>3</sup>, тогда как на основании снимков из космоса российские нефтяники отправили на факелы 50,7 млрд м<sup>3</sup> ПНГ {источник: газета "Время новостей" от 31.08.2007 г.}. Аналогичные снимки, сделанные в 2006 г., показали, что ситуация продолжает ухудшаться: только в Ханты-Мансийском автономном округе, главном нефтяном регионе России, на факелах сожжено 24 млрд м<sup>3</sup>, а на остальной территории России — 28 млрд м<sup>3</sup>, т. е. всего — 52 млрд м<sup>3</sup> ПНГ.

В связи с этим уже в 2006 г. в России всерьез заговорили о проблеме утилизации ПНГ. И тогда Минприроды РФ признало, что не может посчитать точный объем сжигаемого газа из-за отсутствия счетчиков на месторождениях и обязательств недропользователей по его утилизации. По данным того же Минприроды РФ, ежегодный объем производства ПНГ оценивался в 55...60 млрд м<sup>3</sup> (у Н. С. Комаровой более точно — 57 млрд м<sup>3</sup>), из которых перерабатывалось только 14 млрд м<sup>3</sup> (т. е. те же 26 % по данным, озвученным на заседании ВЭС). Таким образом, примерно за пять лет в решении вопроса по рациональному использованию ПНГ ничего не изменилось. Но, с другой стороны, данные ВБ свидетельствуют о том, что в России сжигание ПНГ на факелах продолжается практически в полном объеме.

Результаты такого объективного источника информации, как снимки из космоса, обратили внимание властей России к проблеме утилизации ПНГ, правда, только после того, когда эта проблема была названа одной из острых проблем в послании Президента В. В. Путина Федераль-

ному Собранию весной 2007 г. Ведомствам было поручено к 01.10.2007 г. подготовить конкретную программу мер по оборудованию месторождений приборами учета и ужесточить штрафы за экологический ущерб, а к концу первого квартала 2008 г. разработать предложения по стимулированию компаний к утилизации ПНГ.

По состоянию на март 2009 г. и, судя по предложениям, рассмотренным на ВЭС и внесенным депутатами Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии (разработка комплексных программ по утилизации ПНГ и обеспечению скважин приборами учета добываемого попутного газа; экономические стимулы для утилизации и переработки попутного нефтяного газа в сочетании с административным давлением (читай, штрафами); поощрение организаций, осуществляющих сбор, транспортировку и переработку ПНГ) поручение Президента России, сделанное еще весной 2007 г., до сих пор так и не выполнено.

Но теперь Постановлением Правительства РФ № 7 от 08.01.2009 г. ставится новая задача — к 1 января 2012 г. утилизировать и перерабатывать 95 % ПНГ. В связи с этим нельзя не согласиться с мнением председателя Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии — "... если не поднимать планку, эта проблема будет решаться еще десятилетия". Как говорится, комментарии излишни. Кроме того, по мнению заместителя начальника Главного технического управления и экологической безопасности ОАО "ЛУКОЙЛ" И. Заикина нефтяные компании не заинтересованы в рациональном использовании ПНГ и "...добиться 95-процентной утилизации попутного газа будет проблематично" ("Парламентская газета" № 13, 13—19 марта 2009 г.).

**И. С. Пронин**, д-р физ.-мат. наук, член Научного совета подкомитета по устойчивому развитию Комитета по науке и наукоемким технологиям Госдумы ФС РФ

## Парламентские слушания в Государственной Думе РФ по проблемам отходов производства и потребления

24 марта 2009 года в Государственной Думе состоялись парламентские слушания по "Вопросам совершенствования нормативного правового регулирования в области обеспечения экологической безопасности при обращении с отходами производства и потребления".

Открывая слушания, председатель Комитета по природным ресурсам, природопользованию и экологии Н. С. Комарова отметила, что объем не переработанных и не обезвреженных отходов в нашей стране за последние десять лет увеличился на 16 %. Ситуация такова, что каждый новый процент роста создает условия для реальной экологической угрозы. В целом по стране количество не утилизированных отходов оценивается приблизительно в 82 млрд т. При этом, если в Европе более 50 % отходов перерабатывается, то в России средний уровень вторичного использования промышленных отходов составляет 35 %, а твердых бытовых — не более 4 %. Все это приводит к тому, что экологически чистое пространство, особенно в городах и мегаполисах, стремительно сокра-

щается. И если не принять решительных мер, оно в скором времени попросту исчезнет.

Для преодоления "мусорной угрозы" необходимо обеспечить согласованные действия по двум ключевым направлениям:

1) развивать эффективную систему обращения с отходами, сводящую к минимуму негативное воздействие на природу и человека;

2) стимулировать вторичную переработку отходов.

В основе этих двух направлений должно быть стимулирование переработки отходов и внедрение малоотходных технологий. На сегодняшний день захоронение не отсортированных отходов ведет к безвозвратной потере до 90 % полезной продукции. Во всем цивилизованном мире переработка отходов — одна из высокодоходных и процветающих отраслей бизнеса для тех, кто развивает технологии и внедряет современное оборудование.

По мнению Н. С. Комаровой, в России есть все предпосылки для развития мусоропереработки, и Комитет по



природным ресурсам, природопользованию и экологии законодательно поддержит предприятия, которые обеспечивают сортировку, обезвреживание, глубокую переработку и размещение отходов, а также модернизируют производство для перехода на малоотходные и ресурсоемкие технологии. Этим вопросам уделяется большое внимание в законопроектах "Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности" и "О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в целях повышения энергетической и экологической эффективности российской экономики", которые сегодня готовятся ко второму чтению. В частности, для предприятий, инвестирующих во внедрение вышеуказанных технологий, предусматриваются экономические стимулы в виде налоговых льгот, льгот по плате за негативное воздействие на окружающую среду, бюджетных субсидий. Комитет планирует и дальше расширять этот инструментарий и надеется на самое активное участие в этой работе всех заинтересованных организаций.

Еще один стимул для повышения предпринимательской активности в этом направлении — это снижение административного давления и ликвидация бюрократических препон для хозяйственной деятельности в этой отрасли. В связи с этим Н. С. Комарова обратила внимание на такую актуальную проблему, как отнесение отходов к классам опасности.

В соответствии с Федеральным законом "Об отходах производства и потребления" отходы в зависимости от степени нарушения экосистемы подразделяются на пять классов опасности для окружающей среды: от "чрезвычайно опасных" (I класс) до "практически неопасных" (V класс). Однако сегодня для получения разрешительной документации хозяйствующим субъектам приходится рассчитывать класс опасности отходов дважды — в соответствии с экологическим и санитарно-эпидемиологическим законодательствами. Это затягивает и усложняет процедуру получения соответствующих разрешений. В этой связи Комитет по природным ресурсам, природопользованию и экологии предлагает на заседании секции Высшего экологического совета, который существует при Комитете, обсудить возможность объединения экологических и санитарных критериев отнесения отходов к классам опасности. Найденное решение позволит сделать более прозрачным и вменяемым рассматриваемый процесс.

Не менее важный вопрос — это эффективное распределение полномочий между государственным и муниципальными

уровнями власти. Сегодня на муниципальные власти возложено, как показывает практика, бремя по организации всей деятельности по удалению отходов без наличия достаточных организационных, финансовых, технических и кадровых ресурсов. С другой стороны, решения по выбору способов обезвреживания отходов, проектированию и строительству соответствующих объектов требуют межмуниципальных согласований, которые могут быть приняты только региональными властями. Отсюда следует, что целесообразно часть этих полномочий от муниципалитетов передать на уровень субъектов Федерации, обеспечив тем самым реальную возможность для их реализации с учетом потребностей развития региона в целом. В свою очередь, контроль за полнотой и качеством осуществления этих мер должен быть закреплен за федеральным центром. Н. С. Комарова убеждена, что это поможет запустить сбалансированную и эффективную систему управления отходами.

Еще одна и наиболее чувствительная проблема — это учет схем размещения отходов при разработке документов территориального планирования субъектов Российской Федерации. По мнению Н. С. Комаровой, для создания реальных рычагов управления и контроля за потоками отходов в Градостроительном кодексе необходимо закрепить требования о включении в "Материалы по обоснованию проектов схем территориального планирования" генеральной схемы очистки территорий населенных пунктов, а также планов размещения объектов переработки, обезвреживания и захоронения отходов. Это позволит защитить права граждан и сохранить экологический баланс в природе.

В заключение парламентских слушаний Н. С. Комарова подчеркнула, что без чистой, безопасной окружающей среды не может быть развития. При этом в ответе за это не только политики. "Как говорится, мы все акционеры этого предприятия. И каждому из нас стоит начать с себя, со своего двора, поселка, города. Действуя единым фронтом, можно отбить "мусорную атаку" и рассчитывать на реальный и ощутимый результат".

**И. С. Пронин**, д-р физ.-мат. наук, член Научного совета подкомитета по устойчивому развитию Комитета по науке и наукоемким технологиям Госдумы ФС РФ

## 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>**

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. В. Конова*. Корректор *М. Г. Джавадян*.

Сдано в набор 13.04.09. Подписано в печать 20.05.09. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 8,22. Заказ 449.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142100, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.