



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

9(105)
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

Беспалов В. И., Евтушенко И. И. Прогноз эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон орошением 2

ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Горгоц К. Г., Эрнст А. Ю. Совершенствование системы контроля состояния самоходных машин и прицепов 5

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Бузановский В. А. Разработка системы контроля концентрации кислорода в воздухе помещений заправочной станции 8
Гриншпан Д. Д., Иванец М. Г., Бахир Н. К., Невар Т. Н., Цыганкова Н. Г., Макаревич С. Е., Савицкая Т. А., Свитцов А. А., Хубецов С. Б. Сорбционная очистка модельных сточных вод атомных электростанций с помощью угольных сорбентов 13
Денисов А. А., Фролов И. Ю. Моделирование процессов переноса загрязнителей и биомассы бактерий через фильтрующий слой почвы биологического пруда 18
Хлебникова И. В., Смирнов Ю. Ю., Хлебникова Т. Д., Кирсанова Т. В., Кантор Е. А. Разработка биохимического метода очистки сточных вод от тяжелых металлов 22

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Алексеев С. В., Поникаров С. И., Алексеев В. А. Прогнозирование последствий аварий, связанных с разгерметизацией резервуарного оборудования 26
Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров А. М., Качалкин В. А., Осипова Л. Э. Методы оценки теплового поражения людей в чрезвычайных ситуациях 30
Макаров В. М. Обеспечение безопасности людей, находящихся на верхних этажах зданий в чрезвычайных ситуациях. 37
Попов В. Г., Петров С. В. Метод оценки аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам. 39

ОБРАЗОВАНИЕ

Павлихин Г. П., Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1959—1967 годы. Гладких Петр Андреевич (1906—1980) 44

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ПРАВОВЫЕ ВОПРОСЫ БЖД

Козьяков А. Ф., Симакова Е. Н. О новом федеральном законе "О внесении изменений в статью 16 ФЗ "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации". 52

Приложение. Агаджанян Н. А., Аптикаева О. И., Гамбурцев А. Г., Грачев В. А., Жалковский Е. А., Летников Ф. А., Расторгуев В. Н., Сидоров П. И., Черешнев В. А., Юдахин Ф. Н. Системный экологический мониторинг как компонент стратегической безопасности

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

УДК 62-784.43

В. И. Беспалов, д-р техн. наук, проф., И. И. Евтушенко,
Ростовский государственный строительный университет
e-mail: a.evtushenko@mail.ru

Прогноз эффективности обеспыливания воздуха рабочих зон орошением

В статье рассмотрен алгоритм расчета эффективности процесса обеспыливания низконапорным орошением с учетом адгезионной, инерционной и электростатической составляющих.

Ключевые слова: гидрообеспыливание, воздух рабочей зоны, эффективность.

Bespalov V. I., Evtushenko I. I. The forecast of efficiency dust removal of air of working zones the irrigation

In article the algorithm of calculation of efficiency of process dust removal low head by an irrigation taking into account adhesive, inertial and electrostatic components is considered.

Keywords: gidrodust removal, air of a working zone, efficiency.

На основе анализа графов вероятности с учетом результатов работ [1, 2] эффективность процесса обеспыливания воздуха низконапорным орошением можно описать следующей формулой:

$$E_{\text{эф}} = [1 - (1 - E_{\text{эф1}})(1 - E_{\text{эф2}})(1 - E_{\text{эф3}})]B_1, \quad (1)$$

где $E_{\text{эф}}$ — общая эффективность обеспыливания низконапорным орошением; $E_{\text{эф1}}$ — эффективность захвата пылевых частиц каплями диспергированной жидкости под действием адгезионных сил; $E_{\text{эф2}}$ — эффективность захвата под действием электростатических сил; $E_{\text{эф3}}$ — эффективность инерционного захвата; B_1 — поправочный коэффициент, учитывающий гидрокинетические свойства материала пылевых частиц относительно вещества орошающей жидкости.

При этом, рассматривая эффективность процесса обеспыливания воздуха орошением, необходимо отметить, что ее количественное описание возможно лишь на основе рассмотрения эффективности каждого его этапа.

В соответствии с работами [1, 3]:

$$E_{\text{эф1}} = 2/3 \left(\frac{3,56 B_2}{\mu_B v_K D_K D_{\Pi}^2} \right)^{3/2}, \quad (2)$$

где B_2 — константа межмолекулярного взаимодействия с учетом эффекта электромагнитного запаздывания, Дж · м; v_K — средняя скорость капли, м/с; μ_B — динамическая вязкость воздуха, Па · с; D_K — средний поверхностно-объемный диаметр капли, м; D_{Π} — медианный диаметр пылевых частиц, м.

Известно [4], что:

$$E_{\text{эф2}} = \left(\frac{0,85 q_K}{D_K D_{\Pi}^2 \mu_B v_K} \right)^{1/2}, \quad (3)$$

где q_K — заряд капли, Кл.

Вводя вместо q_K массовую электростатическую характеристику процесса обеспыливания воздуха орошением — удельную электростатическую факелу орошения q , Кл/кг, [1, 5] и проведя несложные математические преобразования, получим:

$$E_{\text{эф2}} = 0,032 q \left(\frac{D_K \rho_{\text{ж}}}{Q_H D_{\Pi}^2 \mu_B v_K} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

где Q_H — расход орошающей жидкости, м³/с; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность жидкости.

Рассматривая взаимодействие пылинки с каплей в процессе их движения и считая критерий Стокса определяющим в этом механизме, многие авторы [1, 6] предлагают следующий вид зависимости эффективности инерционного захвата частиц пыли каплями диспергированной жидкости от числа Стокса Stk :

$$E_{\text{эф3}} = \frac{Stk}{Stk + a_1}, \quad (5)$$

где a_1 — эмпирический коэффициент, определяющий динамические условия в зоне инерционного захвата.

В оценке коэффициента a_1 имеются большие расхождения, которые можно объяснить зависимостью его прежде всего от скорости движения капли, продолжительности действия воздушного потока на каплю и другими факторами. Таким образом, число Стокса — не единственный критерий, определяющий эффективность инерционного захвата. Учет физических механизмов деформации и дробления капель [7] позволяет более точно оценить значение коэффициента a_1 . Под действием воздушного потока меняется траектория движения капель, они могут коалесцировать и дробиться. Протекающие процессы могут вызвать заметное изменение размеров капель, скорости их движения и зависят от режима распространения жидкостного аэрозоля. Расчеты, проведенные на ПВМ с использованием результатов исследований [1, 7, 8], позволили определить зависимость эмпирического коэффициента a_1 в выражении (5) от скоростных режимов распространения жидкостного аэрозоля:

$$a_1 = 100 \text{ при } v_k \leq v_{кр};$$

$$a_1 = 1000 \text{ при } v_k > v_{кр},$$

где $v_{кр}$ — критическая скорость капли, м/с.

С учетом изложенного выше выражение (5) примет вид:

$$E_{эфз} = \begin{cases} \frac{Stk}{Stk + 100} & \text{при } v_k \leq v_{кр}; \\ \frac{Stk}{Stk + 1000} & \text{при } v_k > v_{кр}. \end{cases} \quad (6)$$

Система уравнений (6) справедлива для условий свободного распространения факела диспергированной жидкости при отсутствии каких-либо ограничений этому распространению (каналов, стенок и т. п.) и при скорости движения воздуха до 1,5 м/с, когда наблюдается полное перекрытие пылевоздушного потока факелом орошения.

Ограниченные в пространстве (наличие ограждающих конструкций, внутренний объем устройств, аппаратов и т. п.) источники выделения пыли и скорости движения окружающего воздуха более 1,5 м/с могут существенно повлиять на величину эффективности $E_{эфз}$. Известно [8], что на эффективность инерционного захвата, экспоненциально зависящую от основных технологических параметров процесса орошения, непосредственное влияние

оказывает коэффициент свободного прохождения пылевого потока через зону орошения. Заменяя этот коэффициент соотношением геометрических характеристик пылевого потока и факела орошения, для случая $d_b > d_\phi$ получим:

$$E_{эфз} = \begin{cases} \frac{Stk}{Stk + 100 \exp(d_b/d_\phi - 1)^2} & \text{при } v_k \leq v_{кр}; \\ \frac{Stk}{Stk + 1000 \exp(d_b/d_\phi - 1)^2} & \text{при } v_k > v_{кр}, \end{cases} \quad (7)$$

где d_b — эквивалентный размер (диаметр) пылевого потока в зоне орошения, м; d_ϕ — диаметр сечения факела орошения на расстоянии длины активной зоны факела от оросителя, м:

$$d_\phi = 2h_\phi \text{tg}(\alpha/2), \quad (8)$$

где h_ϕ — длина активной зоны факела орошения, м; α — корневой угол раскрытия факела орошения, град.

Поправочный коэффициент B_1 в формуле (1) учитывает различия захвата гидрофобных и гидрофильных частиц, связанные с возникновением расклинивающего давления [1, 3, 6]. Величина этого давления определяется природой пыли и жидкости. При выраженном средстве между молекулами поверхностных слоев твердого тела и жидкости ($\cos\theta \rightarrow 1$) расклинивающее давление на границе раздела фаз не возникает и, наоборот, при отсутствии такого средства ($\cos\theta \rightarrow 0$) оно максимально.

Процесс смачивания происходит в динамических условиях и носит неравновесный характер. Зависимость коэффициента B_1 от стабильности поверхностных слоев капель, а следовательно, от скоростных режимов распространения жидкостного аэрозоля, аналогична полученной зависимости эффективности инерционного захвата от числа Стокса (см. выражение (6)). В результате обработки экспериментальных данных [1, 8] на ПВМ получена зависимость для расчета

$$B_1 = \frac{\cos\theta}{\cos\theta + 1/a_1}. \quad (9)$$

Тогда с учетом двух выделенных режимов распространения жидкостного аэрозоля можно записать:

$$B_1 = \begin{cases} \frac{\cos\theta}{\cos\theta + 0,01} & \text{при } v_k \leq v_{кр}; \\ \frac{\cos\theta}{\cos\theta + 0,001} & \text{при } v_k > v_{кр}. \end{cases} \quad (10)$$



Подставив выражения (2), (4), (6), (7) и (10) в исходную зависимость (1) после несложных математических преобразований получим уточненную параметрическую зависимость для определения эффективности обеспыливания низконапорным орошением:

$$E_{\text{эф}} = \left[1 - \left(1 - 4,48 \left(\frac{B_2}{\mu_v v_k D_{\text{п}}^2 0,147 (d_c / \text{tg}(\alpha/2))^{1/2}} \right)^{3/2} \right) \right] \times \left[1 - 0,037 q \left(\frac{(d_c / \text{tg}(\alpha/2))^{1/2} \rho_{\text{ж}}}{\mu d_c^2 H_{\text{н}}^{5/6} D_{\text{п}} \mu_v v_k} \right) \right] \left(1 - \frac{\text{Stk}}{\text{Stk} + a_1'} \right) \times \frac{\cos \theta}{\cos \theta + 1/a_1'}, \quad (11)$$

где $H_{\text{н}}$ — давление жидкости, Па; d_c — диаметр сопла оросителя (форсунки); $a_1' = a_1 \frac{\exp(d_v/d_{\text{ф}} - 1)^2}{\dots}$.

Зависимость (11), являющаяся результатом предложенного математического описания и лежащая в основе прогноза эффективности процесса обеспыливания низконапорным орошением, с учетом принятых допущений и граничных условий не отражают абсолютно всех особенностей взаимодействия пылевого и жидкостного аэрозолей. В частности, строгий количественный прогноз эффективности обеспыливания низконапорным орошением

возможен только в режиме $v_k \leq v_{\text{др}}$. Это объясняется тем, что если скорость $v_{\text{кр}}$ определяет нижнюю границу переходной области, в пределах которой процесс дробления выражен единичными актами и погрешность определения эффективности обеспыливания $E_{\text{эф}}$ незначительна, то $v_{\text{др}}$ является ее верхней границей и указывает на массовый характер процесса дробления. В этих условиях использование выражения (11) повлечет за собой значительную погрешность расчетов. Несмотря на это структура предложенного математического описания процесса, по нашему мнению, позволяет по мере уточнения этих особенностей и получения их количественных оценок дополнять и совершенствовать предложенное математическое описание.

Список литературы

1. Саранчук В. И., Качан В. Н., Рекун В. В. и др. Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли. — Киев: Наук. думка, 1984. — 216 с.
2. Системы борьбы с пылью на промышленных предприятиях / В. И. Саранчук, В. П. Журавлев, В. В. Рекун, В. И. Беспалов, Н. А. Страхова и др. — Киев: Наукова думка, 1994. — 191 с.
3. Литвинов А. Т. Об инерционном осаждении частиц на каплях жидкости // Журн. прикл. химии. — 1965. — Т. 33, вып. 10. — С. 2237—2242.
4. Дерягин Б. В., Смирнов Л. П. О безынерционном осаждении на сфере частиц из потока жидкости под действием сил притяжения Ван-дер-Ваальса // В кн. "Исследования в области поверхностных сил". — М.: Наука, 1967. — С. 188—206.
5. Саранчук В. И., Рекун В. В., Поздняков Г. А. Электрические поля в потоке аэрозолей. — Киев: Наукова думка, 1981. — 112 с.
6. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю., Мягков Б. И. и др. Очистка промышленных газов от пыли. — М.: Химия, 1981. — 392 с.
7. Пажи Д. Г., Галустов В. С. Основы техники распыливания жидкостей. — М.: Химия, 1984. — 256 с.
8. Гельфанд Ф. М., Журавлев В. П., Поелуев А. П. и др. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах. — М.: Недра, 1975. — 288 с.

ИНФОРМАЦИЯ

VI Межрегиональная специализированная выставка "БЕЗОПАСНОСТЬ И ОХРАНА ТРУДА"

28—30 октября 2009 г.

Ярославский центр научно-технической информации
г. Ярославль, проспект Ленина, 2а

Цель мероприятия: демонстрация достижений и возможностей в области разработки и применения современных средств обеспечения условий и охраны труда.

Контакты:

тел./факс: (4852) 30-39-81; 30-47-56

e-mail: mag@esti.yar.ru

УДК 677.027.11; 631.3.072.1

К. Г. Горгоц, канд. техн. наук, **А. Ю. Эрнст**,
Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск
e-mail: gorgotz_konst@mail.ru

Совершенствование системы технического контроля состояния самоходных машин и прицепов

Обоснована целесообразность разработки нормативов оценки технического состояния самоходных машин и прицепов, учитывающих конструктивные особенности технических средств, а также необходимости разработки технологических карт освидетельствования технического состояния машин с использованием инструментального контроля, осуществляемого инспекциями Гостехнадзора.

Ключевые слова: государственный надзор, маневренность, машина, правила эксплуатации, техническое состояние.

Gorgotz K. G., Arnst A. U. *The improvement of the technical control system over self-propelled vehicle and trailer state*

The article validates the necessity of self-propelled vehicle and trailer technical state assessment standards, which take into consideration their technical constructive features. It also determines the necessity of technological certificate development, which evaluate the technical state of a vehicle through using instrumental regulation taken by the state technical control inspection.

Keywords: state control, maneuverability, vehicle, operation rules, technical state.

В настоящее время в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре эксплуатируется более 53 тыс. самоходных машин и прицепов, ежегодно их количество увеличивается на 6 %. Принятие и начало реализации государственной программы "Урал полярный — Урал промышленный", развитие нефтегазодобывающего комплекса, лесной промышленности, интенсификация дорожного, промышленного и гражданского строительства позволяют предположить, что в ближайшие годы количество такой техники увеличится еще на несколько десятков тысяч единиц.

Рост численности парка самоходных машин и прицепов сопровождается увеличением их номенклатуры, появлением машин с принципиально новыми конструктивными решениями сборочных

единиц и агрегатов, применением автоматизированных систем управления движением и технологическим оборудованием.

В качестве примера приведем ряд технических характеристик самоходных гусеничных машин разработки 2000...2004 гг., эксплуатируемых в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре. Максимальная скорость движения транспортной гусеничной машины ТМ 120 с полной заправкой и грузом на платформе (эксплуатационная масса 9500 кг) составляет при движении по дорогам с твердым покрытием до 60 км/ч и при движении по бездорожью до 35 км/ч. Машина может буксировать равный по весу прицеп со скоростью до 20 км/ч и преодолевать на плаву при полной загрузке водные преграды. Ее трансмиссия оснащена гидромеханической коробкой передач, планетарными двухступенчатыми механизмами поворота и электромеханической системой управления. Лесопромышленная бесчokerная трелевочная машина М Л107 при собственной массе 19 000 кг развивает скорость по бездорожью до 30 км/ч, ее трансмиссия оснащена гидротрансформатором и гидрообъемными механизмами поворота. Управление движением машины и работой технологического оборудования осуществляется с помощью электронной системы. Плавающие снегоболотоходные гусеничные транспортеры ГАЗ-34039 и ГАЗ-3409 ("Бобр") имеют максимальные скорости движения по суше до 65 км/ч при полной снаряженной массе соответственно 8000 кг и 4200 кг. Машина "Бобр" снабжена асфальтоходными башмаками, что позволяет ей двигаться по дорогам с улучшенным покрытием.

Особенностью эксплуатации самоходных машин и прицепов в Ханты-Мансийском автономном округе — Югре является частая передислокация гусеничной и колесной техники на значительные расстояния по зимникам и дорогам с улучшенным покрытием, имеющим высокую интенсивность движения. Важное значение при этом имеет обеспечение безопасности передвижения машин без создания помех для других участников движения и аварийных ситуаций, что достигается поддержа-



нием необходимого технического состояния машин, устанавливаемого заводом-изготовителем.

Нормативно-техническая документация по вопросам государственного надзора за техническим состоянием и соблюдением правил эксплуатации самоходных машин и других видов техники содержит общие правила технического освидетельствования состояния машин, сводящиеся в основном к определению работоспособности тормозных устройств, светотехники, звуковых сигналов, дымности двигателя, люфтов в механизмах рулевого управления, состояния элементов ходовой части, сцепных устройств. При этом в документации не учитываются конструктивные особенности отдельных современных машин, оказывающие существенное влияние на безопасность их эксплуатации.

Анализ конструкторско-технологической документации по ряду моделей современных отечественных и зарубежных самоходных гусеничных и колесных машин показывает, что в общем случае на безопасность их эксплуатации оказывает влияние в значительной мере техническое состояние следующих систем и механизмов (помимо выше названных):

- электронных систем управления работой двигателя, трансмиссии и инженерного оборудования;
- систем и устройств, обеспечивающих герметичность корпуса, а также водооткачивающих средств;
- гидро-, пневмо- и электрооборудования систем управления трансмиссией;
- элементов подвески,
- средств навигации и связи.

Рассмотрим часть факторов, влияющих на безопасность движения, а именно способа поворота колесных самоходных машин и состояния элементов их подвески.

Схемы вариантов поворота самоходных машин представлены на рис. 1 [1]. Поворот колесной машины за счет поворота управляемых колес (рис. 1, а) осуществляется при помощи механических червячных редукторов, снабженных гидроусилителями. При такой схеме поворота обеспечивается довольно жесткая связь между органом управления и управляемыми колесами, при этом до минимума сводится самопроизвольное изменение углового положения управляемых колес, исключаемое уменьшением люфта органа управления. Однако при

такой схеме самоходная машина имеет большие радиусы поворота, что ограничивает ее возможности выполнения технологических операций.

Поворот колесной машины за счет поворота управляемых осей (рис. 1, б) и складыванием звеньев (рис. 1, в) обеспечивает ей высокую маневренность. При таких схемах управления непосредственно поворот осей и складывание звеньев осуществляются гидравлическими цилиндрами. При этом отсутствует жесткая связь между органом управления поворотом и исполнительными механизмами. В случае недостаточной синхронности работы элементов гидросистемы управления поворотом или износа их деталей у машин появляется свойство к самопроизвольному изменению направления движения, что может привести к возникновению аварийных ситуаций.

Наибольшей маневренностью колесные машины обладают при бортовом способе поворота (рис. 1, г). Это единственный способ, обеспечивающий разво-

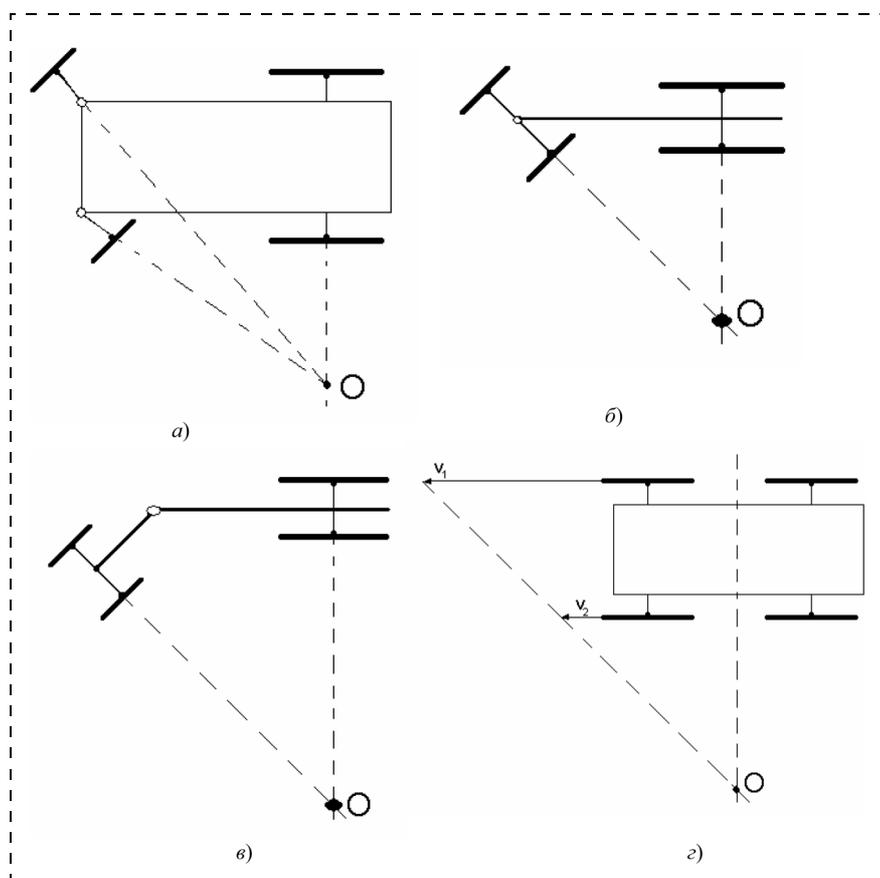


Рис. 1. Схемы вариантов поворота самоходных машин:

а — поворот управляемых колес; б — поворот управляемых осей; в — поворот складыванием звеньев; г — бортовой способ поворота (по гусеничному типу)

рот колесной машины на месте вокруг ее геометрического центра. Стабильность движения машины в повороте обеспечивается при сохранении стабильного соотношения между скоростью колес забегающего борта v_1 и скоростью колес отстающего борта v_2 . У современных машин в качестве механизмов поворота используют при такой схеме бортовые фрикционы либо гидрообъемные аксиально-поршневые моторы. Бортовые фрикционы не обеспечивают машине фиксированный радиус поворота, поэтому поворот при скоростях свыше 10 км/ч является опасным. Гидрообъемные аксиально-поршневые моторы обеспечивают машине фиксированный радиус поворота, но при этом его стабильность зависит от состояния элементов гидравлической системы управления, которые имеют определенные конструктивные и эксплуатационные особенности у различных моделей машин.

Колесная техника, имеющая рессорную подвеску, обладает так называемой креновой поворачиваемостью. При прогибах рессор (рис. 2) задний мост перемещается по дуге $m-m$ [2]. Под действием поперечной силы P кузов наклоняется, вызывая сжатие одних и распрямление других рессор. В результате этого задний мост поворачивается в горизонтальной плоскости и смещается в поперечном направлении относительно продольной оси автомобиля. Совпадение собственных колебаний машины с вынужденными колебаниями, возникающими в результате преодоления неровности дороги, ведет к значительной раскачке заднего моста и нередко является причиной его съезда с дорожного полотна на обочину с последующим заносом и опрокидыванием машины.

Увеличению креновой поворачиваемости самоходных машин способствуют снижение энергопоглощающих свойств элементов подвески — амортизаторов, а также недостаточное давление в шинах.

Таким образом, рассмотрены лишь некоторые факторы состояния элементов гидравлических систем управления движением и элементов подвесок, которые могут существенно влиять на снижение

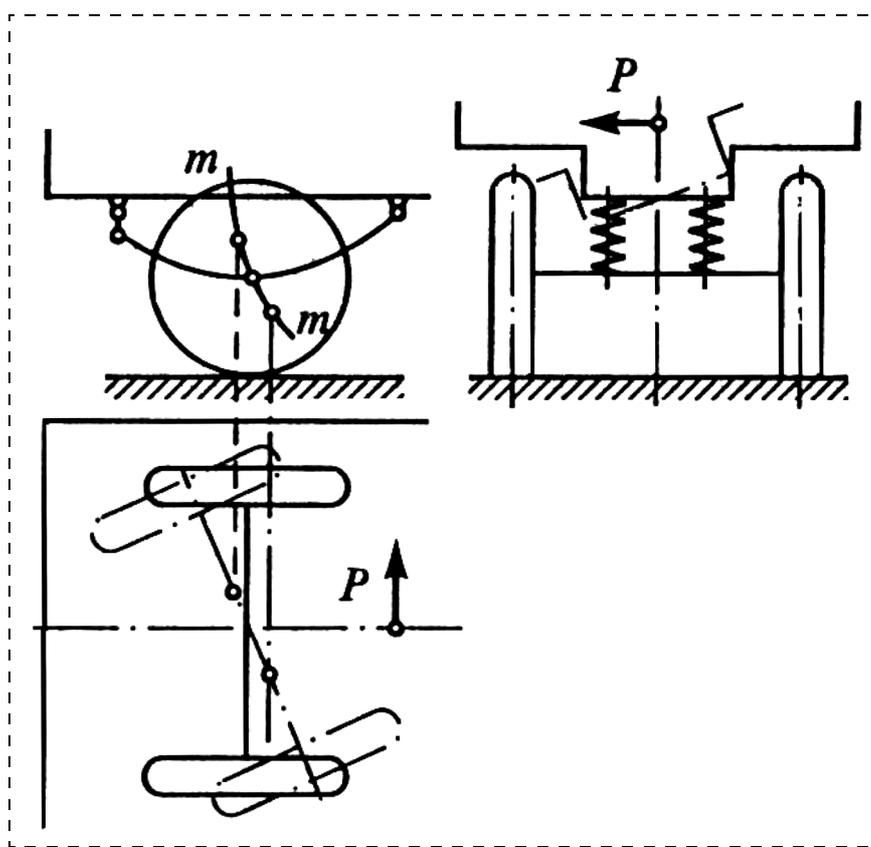


Рис. 2. Поворот заднего моста при крене кузова

безопасности движения самоходной колесной машины или прицепа.

Следовательно, актуальной является проблема разработки для каждой модели самоходной машины комплекса нормативов оценки технического состояния, учитывающих ее конструктивные особенности, а также разработки технологических карт освидетельствования технического состояния машин с использованием соответствующего инструментального контроля. Такой подход к совершенствованию системы технического контроля состояния самоходных машин и прицепов позволит выявлять потенциальные причины аварийных ситуаций и повысит безопасность их эксплуатации.

Список литературы

1. Бухарин А. Б., Прозоров В. С., Шукин М. М. Автомобили. Конструкция, нагрузочные режимы, рабочие процессы, прочность автомобиля. — Л.: Машиностроение, 1973. — 504 с.
2. Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвижной состав и эксплуатационные свойства: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — М.: Издательский центр "Академия", 2004. — 528 с.

УДК 543.08

В. А. Бузановский, канд. техн. наук,
НПО "Химавтоматика", Москва
e-mail: vab1960@rambler.ru

Разработка системы контроля концентрации кислорода в воздухе помещений заправочной станции

Рассмотрена система контроля концентрации кислорода в воздухе рабочей зоны помещений заправочной станции, удовлетворяющая требованиям к точности, быстрдействию и надежности измерений.

Ключевые слова: система, измерение, кислород, воздух, точность, быстрдействие, надежность.

Buzanovsky V. A. The monitoring system of oxygen concentration in air of premises of the filling station

The monitoring system of oxygen concentration in air of a working zone of the filling station premises, conforming the requirements to accuracy, speed and reliability of measurements is considered.

Keywords: system, measurement, oxygen, air, accuracy, speed, reliability.

Подготовка к применению отдельных видов ракетно-космической техники связана с выполнением операций по заправке используемых изделий компонентами жидкого ракетного топлива. При проведении указанных работ применяется газообразный азот, а в ряде случаев и газообразный гелий. Использование названных веществ может быть причиной понижения содержания кислорода в воздухе рабочей зоны помещений заправочных станций, что обуславливает обязательное применение в этих помещениях автоматических систем, предназначенных для измерения концентрации кислорода в воздухе и своевременного оповещения обслуживающего персонала об ее изменении.

Задача синтеза системы

Рассматриваемая система должна была осуществлять измерения объемной доли кислорода в двух точках. Диапазон измерений соответствовал его концентрациям от 5 до 25 %. Предел допустимого значения основной абсолютной погрешности изме-

рений не должен был превышать 0,5 % кислорода. В анализировавшемся воздухе могли присутствовать азот и гелий (с объемными долями до 95 %), оксид углерода (до 10 мг/м³), сероводород (до 5 мг/м³), диоксид азота (до 10 мг/м³) или производные гидразина (до 0,5 мг/м³). Время готовности системы к получению измерительной информации (с момента включения) не должно было превышать 45 мин, а время получения измерительной информации — 120 с. Вероятность безотказной работы системы в течение 72 ч должна была быть не менее 0,99, что соответствовало ее средней наработке на отказ около 7164 ч. Измерения должны были проводиться во взрывоопасных помещениях класса В-1а и сопровождаться формированием световой и звуковой сигнализации при снижении объемной доли кислорода в воздухе рабочей зоны до 19 % и ниже. Помимо этого система должна была состоять из технических средств, выпускавшихся отечественной промышленностью.

В соответствии с предъявлявшимися требованиями задача синтеза системы была классифицирована как задача типа 1:1 [1]. В качестве ограничений синтеза использовались предел допустимого значения абсолютной погрешности измерений концентрации кислорода, время готовности к получению измерительной информации, время ее получения и средняя наработка системы на отказ.

Анализ методов измерений

Первый этап синтеза системы заключался в анализе существующих методов измерений содержания кислорода в воздухе рабочей зоны. В число методов, потенциально пригодных для решения поставленной задачи, входили:

- магнитопневматический метод;
- термомагнитный метод;
- электрохимический метод с твердым электролитом;

Сведения о соответствии методов измерений требованиям к системе контроля концентрации кислорода в воздухе рабочей зоны

Наименование метода	Основная абсолютная погрешность измерений	Селективность измерений	Время готовности к получению информации
Магнитопневматический	Соответствует (менее $\pm 0,5\%$)	Соответствует	Соответствует (менее 30 мин)
Термомагнитный	Соответствует (менее $\pm 0,5\%$)	Соответствует	Не соответствует (до 2 ч)
Электрохимический с твердым электролитом	Не соответствует (до $\pm 1\%$)	Соответствует	Не соответствует (более 1 ч)
Электрохимический с жидким (загущенным) электролитом	Соответствует (менее $\pm 0,5\%$)	Соответствует	Соответствует (несколько мин)

— электрохимический метод с жидким (загущенным) электролитом.

В табл. 1 приведены сведения о соответствии указанных аналитических методов требованиям, предъявлявшимся к системе в части основной погрешности и селективности измерений, а также времени готовности к получению измерительной информации.

Анализ данных табл. 1 показывает, что в составе разрабатывавшейся системы следовало применять газоаналитические устройства, которые основывались или на магнитопневматическом методе, или на электрохимическом методе с жидким (загущенным) электролитом.

За время существования НПО "Химвавтоматика" (с 1949 г.) были освоены оба названных метода. Именно НПО "Химвавтоматика" разработало магнитопневматический метод измерения и являлось единственным изготовителем соответствующей аппаратуры на территории СССР. Однако после 1991 г. технология изготовления магнитопневматических газоанализаторов осталась в бывшем филиале объединения — Северодонецком ОКБА (Украина), а новые изготовители магнитопневматических газоанализаторов в России не появились.

В этих условиях и в соответствии с требованием об использовании в составе системы технических средств отечественного производства ее дальнейший синтез проводился на основе электрохимических газоанализаторов с загущенным электролитом.

Структурная схема системы

Следующим этапом синтеза системы являлась разработка ее возможных структурных схем. Три из них представлены на рис. 1.

На рис. 1, *а* и *б* изображены структурные схемы систем без устройства переключения точек измерений. В состав таких систем входят два электрохимических газоанализатора, которые могут размещаться:

- непосредственно в точках измерений (рис. 1, *а*);
- на удалении от точек измерений (рис. 1, *б*).

Система, соответствующая структурной схеме, приведенной на рис. 1, *а*, обеспечивает минималь-

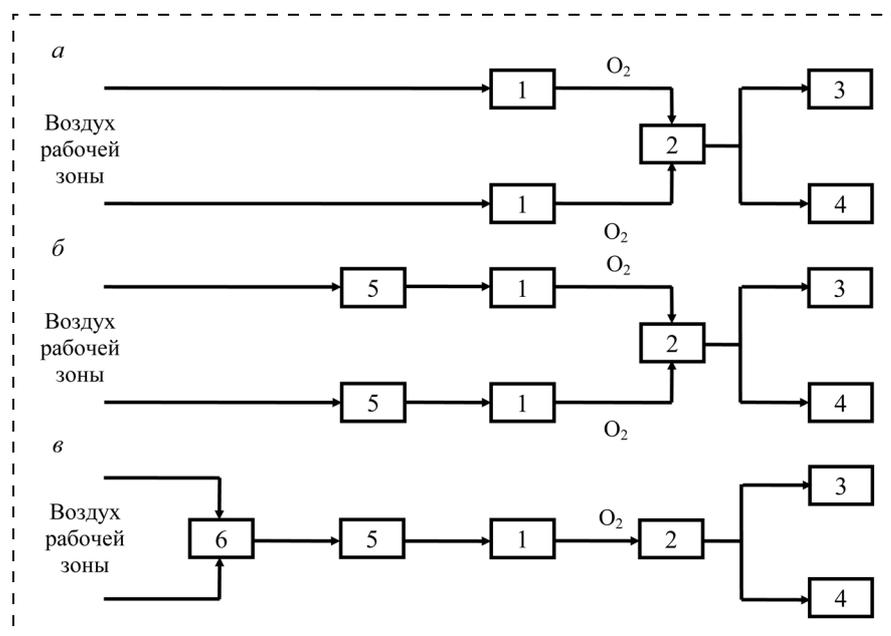


Рис. 1. Структурные схемы системы:

а — без устройства переключения точек измерений и без устройств отбора пробы; *б* — без устройства переключения точек измерений и с устройствами отбора пробы; *в* — с устройством переключения точек измерений; 1 — электрохимический газоанализатор кислорода; 2 — блок формирования световой и звуковой сигнализации; 3 — средства световой сигнализации; 4 — средства звуковой сигнализации; 5 — устройство отбора пробы; 6 — устройство переключения точек измерений



ное время получения измерительной информации, совпадающее со временем установления показаний электрохимического газоанализатора

$$T = T_{\text{уп}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{уп}}$ — время установления показаний газоанализатора.

Выражение (1) предполагает, что оба газоанализатора системы являются идентичными и соответственно имеют одинаковые показатели быстродействия.

Отметим, что поскольку контролируемые помещения заправочной станции относились к взрывоопасным помещениям, в системе, схема которой представлена на рис. 1, а, должны были применяться газоанализаторы, имевшие взрывобезопасное исполнение.

Система со структурной схемой, показанной на рис. 1, б, позволяет расположить электрохимические газоанализаторы за пределами взрывоопасной зоны и, следовательно, использовать газоанализаторы, не имеющие взрывобезопасного исполнения. В данном случае необходимо организовать подвод воздуха из точек измерений к названным приборам либо с помощью побудителей расхода, встроенных в газоанализаторы, либо с помощью побудителей, входящих в состав устройств отбора пробы. При этом в устройствах отбора пробы целесообразно применять побудители расхода в обычном (не взрывобезопасном) исполнении, устанавливая их наряду с электрохимическими газоанализаторами вне взрывоопасных помещений.

Вместе с тем необходимость подвода воздуха из точек измерений к приборам вызывает увеличение времени получения измерительной информации:

$$T = \sup(T_i) \approx \sup[T_{\text{уп}} + \pi D^2 L_i / (4V)], \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

где D — внутренний диаметр подводящих трубок; L_1, L_2 — длины подводящих трубок (между точками измерений и газоанализаторами); V — объемный расход побудителя расхода воздуха.

Соотношение (2) соответствует предположению, что подводящие трубки имеют одинаковый диаметр, а также что используемые газоанализаторы и побудители расхода являются идентичными.

В состав системы с устройством переключения точек измерений входит только один электрохимический газоанализатор (рис. 1, в). Подобно предыдущему случаю указанный прибор, устройство отбора пробы и устройство переключения точек

измерений могут размещаться за пределами взрывоопасных зон и не иметь взрывобезопасных исполнений. Однако время получения измерительной информации такой системой будет превышать время ее получения как системой со структурной схемой, приведенной на рис. 1, а, так и системой со структурной схемой, изображенной на рис. 1, б

$$T > 2T_{\text{уп}} + \pi D^2 (L_1 + L_2) / (4V). \quad (3)$$

При получении соотношения (3) также считалось, что подводящие трубки имеют одинаковый внутренний диаметр.

Далее на основе выражений (1)—(3) было оценено время получения измерительной информации, соответствовавшее предложенным структурным схемам системы.

Оценку проводили на основе следующих данных:

— время установления показаний электрохимического газоанализатора — менее 60 с (результат анализа методов измерений кислорода в воздухе рабочей зоны);

— внутренний диаметр подводящих трубок — 6 мм = $6 \cdot 10^{-3}$ м (типичный размер для газоаналитической аппаратуры);

— длина подводящих трубок — 50 м (согласно плану помещений заправочной станции);

— объемный расход побудителя — 20 дм³/ч = $5,56 \cdot 10^{-6}$ м³/с; 40 дм³/ч = $1,11 \cdot 10^{-5}$ м³/с; 60 дм³/ч = $1,67 \cdot 10^{-5}$ м³/с (характерные объемные расходы побудителей, применяемых в газоаналитических устройствах).

Полученные результаты сведены в табл. 2.

Согласно данным, приведенным в таблице, для удовлетворения требований, предъявлявшихся ко времени получения измерительной информации, система должна была иметь структурную схему, показанную на рис. 1, а. При этом электрохими-

Таблица 2
Результаты оценки времени получения измерительной информации

Объемный расход побудителя, м ³ /с	Время получения измерительной информации, с			
	Система без переключения точек измерений		Система с переключением точек измерений (рис. 1, в)	Согласно предъявлявшимся требованиям
	рис. 1, а	рис. 1, б		
$5,56 \cdot 10^{-6}$	60	314	Более 628	Менее 120
$1,11 \cdot 10^{-5}$		187	Более 374	
$1,67 \cdot 10^{-5}$		145	Более 290	

ческие газоанализаторы, входившие в ее состав, должны были размещаться непосредственно в точках измерений и иметь взрывобезопасное исполнение [2].

Функциональная схема системы

Следующий этап синтеза системы заключался в определении совокупности технических средств, способных реализовать выбранную структурную схему.

Выпускавшиеся в России электрохимические газоанализаторы кислорода на основе загущенного электролита не имели взрывобезопасного исполнения. Указанное обстоятельство обусловило необходимость создания такого прибора и НПО "Химавтоматика" разработало газоанализатор ГКЭ.

Газоанализатор ГКЭ измерял электродвижущую силу, возникавшую в электрохимической ячейке, температуру ячейки и давление анализируемого воздуха. На основе полученных результатов микропроцессор рассчитывал величину объемной доли кислорода. Диапазон измерений составлял от 0 до 25 %, а предел допустимого значения основной абсолютной погрешности — 0,5 %. Азот, гелий, сероводород, оксид углерода, диоксид азота и производные гидразина при концентрациях, соответствовавших требованиям, предъявлявшимся к системе, не влияли на результаты измерений. Время готовности к получению измерительной информации не превышало 10 мин.

Газоанализатор ГКЭ состоял из двух блоков: блока измерения кислорода (блок ИК) и блока питания и управления (блок ПУ). Прибор обеспечивал:

- вывод информации об объемной доле кислорода в цифровом виде на дисплеях блоков ИК и ПУ;
- выдачу унифицированных выходных сигналов (от 4 до 20 мА и от 0 до 10 В), соответствовавших диапазону измерений объемной доли кислорода от 0 до 25 %;
- вывод в формате RS-232 данных, содержащих результат измерения или код диагностического сообщения;
- замыкание одной из трех пар изолированных контактов, соответствовавших объемным долям кислорода ниже или выше установленных пороговых значений.

Блоки газоанализатора ГКЭ имели следующую маркировку взрывозащиты — [1Exib]IIBT4 (блок ИК) и [Exib]IIB (блок ПУ). При этом блок ИК мог быть установлен во взрывоопасных помещениях класса В-1 и В-1а, где могло происходить образо-

вание взрывоопасных смесей подгруппы IIB температурного класса T4, а блок ПУ предназначался для установки в помещениях, где была исключена возможность образования взрывоопасных газовых смесей.

Наряду с электрохимическим газоанализатором ГКЭ НПО "Химавтоматика" разработало блок управления сигнализацией (БУС).

Данный блок предназначался для автоматического управления световой и звуковой сигнализацией при контроле воздуха рабочей зоны помещений наземных стационарных сооружений. БУС обеспечивал:

- электрическое питание газоанализаторов ГКЭ;
- получение информации по цепям изолированных контактов блоков ПУ указанных газоанализаторов;
- автоматическое управление внешними устройствами световой и звуковой сигнализации.

Блок допускал подключение двух газоанализаторов, трех внешних устройств световой сигнализации, одного внешнего устройства световой и звуковой сигнализации и должен был устанавливаться в помещениях, где исключалась возможность образования взрывоопасных газовых смесей.

В комплекте с БУС могли применяться устройства световой сигнализации СП и устройства световой и звуковой сигнализации СПЗ. Устройство СП позволяло создавать зеленый и красный световые сигналы, а устройство СПЗ — в дополнение к этому и звуковой сигнал. Устройства световой и звуковой сигнализации СП и СПЗ могли размещаться во взрывоопасных помещениях класса В-1 и В-1а.

После этого была разработана функциональная схема системы (рис. 2), соответствовавшая структурной схеме, изображенной на рис. 1, а.

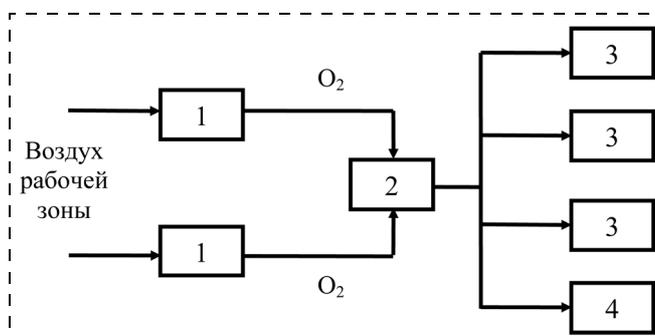


Рис. 2. Функциональная схема системы:

1 — электрохимический газоанализатор ГКЭ; 2 — блок управления сигнализацией БУС; 3 — устройство световой сигнализации СП; 4 — устройство световой и звуковой сигнализации СПЗ



Таблица 3

Результаты проверки основной абсолютной погрешности системы 13Ш34.01

Объемная доля кислорода в поверочной газовой смеси, %	Результаты измерения объемной доли кислорода системой, %					Максимальная абсолютная погрешность, %
0 (азот особой чистоты)	0,1	0,0	0,0	-0,1	0,0	0,1
12,8 (ГСО 3726—87)	12,7	12,6	12,6	13,1	12,9	0,3
23,4 (ГСО 3726—87)	23,0	23,3	23,2	23,6	23,0	0,4
0 (азот особой чистоты)	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2
23,4 (ГСО 3726—87)	23,6	23,5	23,1	23,0	23,5	0,4
12,8 (ГСО 3726—87)	13,0	12,8	12,9	12,7	12,9	0,2

Показатели надежности системы

Выбор технических средств позволил оценить показатели надежности разрабатывавшейся системы.

В соответствии с представленной функциональной схемой средняя наработка системы на отказ определялась выражением

$$\tau = \{2[\tau_1]^{-1} + [\tau_2]^{-1} + 3[\tau_3]^{-1} + [\tau_4]^{-1}\}^{-1}, \quad (4)$$

где $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ — средняя наработка на отказ газоанализатора ГКЭ, блока БУС и устройств сигнализации СП и СПЗ.

Рассчитанная по соотношению (4) средняя наработка системы на отказ составляла 6717 ч, что не соответствовало предъявлявшимся требованиям.

Сравнение показателей надежности использованных технических средств показало, что электрохимический газоанализатор имел самое низкое значение средней наработки на отказ. Сказанное обуславливало возможность повышения надежности системы путем его резервирования замещением.

При включении в состав комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей разрабатывавшейся системы одного газоанализатора ГКЭ ее средняя наработка на отказ описывалась выражением

$$\tau = \{1,5[\tau_1]^{-1} + [\tau_2]^{-1} + 3[\tau_3]^{-1} + [\tau_4]^{-1}\}^{-1}.$$

При этом средняя наработка системы на отказ составляла 7606 ч, что уже соответствовало требованиям, предъявлявшимся к ее надежности.

Заключение

Полученные результаты были использованы НПО "Химвтоматика" при создании системы 13Ш34.01, предназначенной для контроля объемной доли кислорода в воздухе рабочей зоны помещений заправочной станции 11Г12 космодрома Байконур.

При приемо-сдаточных испытаниях указанной системы была проведена проверка ее основной абсолютной погрешности измерений (табл. 3), времени готовности к получению измерительной информации и времени получения результатов измерений.

Система 13Ш34.01 удовлетворяла требованию к точности измерений объемной доли кислорода в воздухе рабочей зоны — основная абсолютная погрешность измерений не превышала $\pm 0,5\%$ (табл. 3). Время готовности системы к получению измерительной информации не превышало 10 мин (предъявлявшееся требование — 45 мин), а время получения результатов измерений — 60 с (предъявлявшееся требование — 120 с).

Список литературы

1. Бузановский В. А. Аспекты синтеза информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. — 2008. — № 1. — С. 31—36.
2. Бузановский В. А. Схемы построения информационно-измерительных систем физико-химического состава и свойств веществ // Приборостроение и средства автоматизации: Энциклопедический справочник. — 2008. — № 2. — С. 54—59.



УДК 628.3

Д. Д. Гриншпан, д-р хим. наук, проф., **М. Г. Иванец**, **Н. К. Бахир**,
Т. Н. Невар, канд. хим. наук, **Н. Г. Цыганкова**, канд. хим. наук, **С. Е. Макаревич**,
НИИ физико-химических проблем Белгосуниверситета, г. Минск,
Т. А. Савицкая, канд. хим. наук, доц.,
Белгосуниверситет, г. Минск,
А. А. Свитцов, канд. техн. наук, доц.,
ООО "НПФ "Гелла-ТЭКО", Москва,
С. Б. Хубецов, канд. техн. наук,
ВНИИ АЭС, Москва
e-mail: mar_iv@inbox.ru

Сорбционная очистка модельных сточных вод атомных электростанций с помощью угольных сорбентов

Предложено изменить технологическую схему очистки жидких радиоактивных отходов от поверхностно-активных веществ, этилендиаминтетрауксусной кислоты и их комплексов с кобальтом путем замены озонирования адсорбционно-коагуляционной очисткой с использованием модифицированных порошковых угольных сорбентов на основе активированного угля марки ОУ-А. Образующиеся при этом отходы предполагается утилизировать сжиганием с последующим кондиционированием твердого остатка.

Ключевые слова: сточные воды атомных электростанций, жидкие радиоактивные отходы, поверхностно-активные вещества, комплексы кобальта, сорбционная очистка, модифицированные угольные сорбенты.

Grinshpan D. D., Ivanets M. G., Bahir N. K., Nevar T. N., Tsygankova N. G., Makarevich S. E., Savitskaya T. A., Svitcov A. A., Khubecov S. B. Adsorption purification of model nuclear stations sewage by activated carbon sorbents

It is proposed to extend current technological scheme of liquid nuclear waste treatment from surfactants, ethylenediaminetetraacetic acid and cobalt complexes with additional adsorption coagulation stage using modified powder carbon sorbents from OU-A instead of preliminary. The way to utilize formed filtration waste products is supposed to be combustion and concreting of solid residue.

Keywords: atomic power stations sewage, liquid nuclear waste, surfactants, cobalt complexes, adsorption, modified carbon sorbents.

Вопросы экологической безопасности атомных электростанций (АЭС) тесно связаны с необходимостью переработки образующихся жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Обращение с ЖРО, которые представляют собой многокомпонентную физико-химическую систему с переменным составом, предполагает осуществление сложных технологических схем, направленных на получение концентрата радионуклидов с последующим превращением его в твердую химически инертную массу для длительного хранения [1]. Особенностью ЖРО спецпрачечных, санпропускников и стоков после дезактивации оборудования является содержание в них наряду с радионуклидами $^{134,137}\text{Cs}$, ^{60}Co , ^{90}Sr лимонной, щавелевой, этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА) кислот, а также большого количества поверхностно-активных веществ (ПАВ) и других компонентов моющих средств. Наличие таких комплексообразующих добавок приводит к полному переходу, в частности ионов кобальта, в прочный комплекс, например, с ЭДТА ($K_{\text{нест}}$ при 20 °С составляет $7,9 \cdot 10^{-17}$), неизвлекаемый ионообменными смолами, традиционно используемыми для удаления ионов радионуклидов. Содержание большого количества ПАВ в ЖРО существенно осложняет их переработку и другими методами — коагуляцией и выпариванием [2, 3]. Поэтому в схемах очистки данного типа сточных вод на АЭС для предварительного разрушения органических веществ и комплексов ^{60}Co с ЭДТА, лимонной или щавелевой кислотами все чаще используют метод озонирования, который не только является дорогостоящей операцией, но требует также соблюдения специальных мер безопасности, особенно в условиях АЭС.

В данной работе предложен иной путь решения проблемы очистки сточных вод, предполагающий заменить предварительное разрушение органиче-



ских составляющих и комплексных соединений кобальта удалением их с помощью неспецифических сорбентов на основе активированных углей (АУ).

Методическое обеспечение экспериментов

В работе были использованы два образца модифицированных угольных сорбентов (СОРБЕНТ-1 и СОРБЕНТ-2), полученных на основе АУ марки ОУ-А (Россия) и нового водорастворимого полиэлектролита — натриевой соли сульфата ацетата целлюлозы (Na-САЦ)* [4]; гранулированные угли Solcarb (Великобритания); Карбовит КУ II (Украина); а также волокнистый уголь АУТ-МИ (Беларусь). Модифицированные сорбенты различались по количеству модифицирующего полиэлектролита Na-САЦ: СОРБЕНТ-1 содержал 1 % масс., СОРБЕНТ-2 — 8 % масс.

Для моделирования очистки сточных вод АЭС готовили растворы Co^{2+} , используя нитрат кобальта без и с добавками ЭДТА, щавелевой кислоты и нитрата натрия. В качестве анионогенного ПАВ применяли додецилсульфат натрия (ДСН) производства фирмы SIGMA (Германия) со степенью чистоты 95 %.

Концентрации ПАВ и ионов кобальта в растворе до и после адсорбции определяли спектрофотометрически по методикам, описанным в работе [5]. Оптическую плотность D растворов определяли на спектрофотометре КФК-3-01 при длине волны 650 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм (для ПАВ) и длине волны 540 нм в кювете с толщиной слоя 30 мм (для Co^{2+}); концентрации находили по предварительно построенному графику зависимости D от $C_{\text{ПАВ}}$ или C_{Co} соответственно. Содержание ЭДТА определяли путем комплексонометрического титрования стандартного раствора сульфата магния в присутствии индикатора эриохрома черного T .

Для оценки сорбционной способности угольных образцов применяли метод углевания: навеску (~1,0 г) исследуемого сорбента помещали в коническую колбу с притертой пробкой вместимостью 100 см³, прибавляли 50 см³ исследуемых растворов, закрывали пробкой и оставляли на 24 ч при температуре 25 °С, периодически встряхивая. Затем содержимое колбы фильтровали на бумажном фильтре "синяя лента", отбрасывая первые 10 см³ фильтрата.

Величину адсорбции (мг/г) рассчитывали по формуле:

$$G = \frac{(C_{\text{исх}} - C_{\text{равн}})V}{m} 10^3,$$

* Na-САЦ синтезирована в лаборатории растворов целлюлозы и продуктов их переработки Учреждения Белгосуниверситета "НИИ физико-химических проблем", г. Минск, Беларусь.

где $C_{\text{исх}}$ и $C_{\text{равн}}$ — исходная и равновесная концентрации растворов по анализируемому компоненту, г/дм³; V — объем раствора, дм³; m — масса сорбента, г.

Результаты и их обсуждение

1. Адсорбция ионов кобальта

Активированные угли широко известны в качестве универсальных сорбентов, позволяющих эффективно удалять из воды различные загрязнители. Используя в данной работе образцы АУ характеризуются значительной площадью удельной поверхности (~900 м²/г), достаточно развитой мезопористостью ($V_{\text{мез}} = 0,15$ см³/г) и способностью вследствие модификации поверхности полимером образовывать в воде устойчивые высокодисперсные суспензии с высоким сродством частиц к дисперсионной среде (воде) [6, 7]. Исследования показали, что адсорбция ионов кобальта из водных растворов на обоих модифицированных сорбентах невелика и при исходных концентрациях кобальта от 0,1 до 1,0 г/дм³ при температуре 25 °С не превысила 3,5 мг/г (рис. 1). Максимальная степень извлечения Co^{2+} в обоих случаях составила не более 10 %, что значительно меньше эффективности очистки, достигаемой при использовании ионообменного метода.

Это объясняется слабо выраженной ионообменной активностью активированных углей. Однако в случае переработки ЖРО надо учесть, что ион Co^{2+} находится не в виде гидратированного катиона, а в виде комплекса с органическими лигандами и в целом ведет себя как органическое соединение.

2. Адсорбция ПАВ

Как показали проведенные исследования, предельная адсорбция собственно анионных ПАВ, в частности ДСН, на угольных сорбентах СОРБЕНТ-1 и СОРБЕНТ-2 на порядок выше величины адсорб-

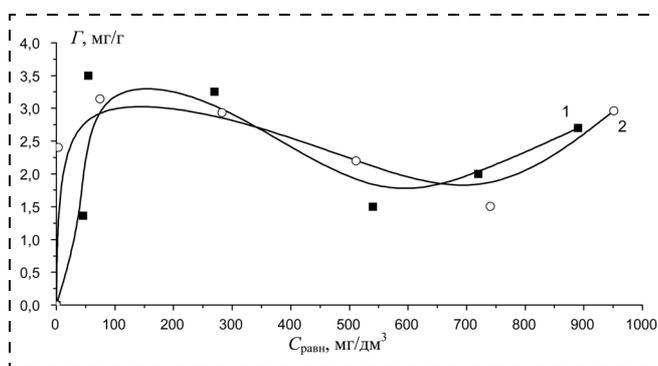


Рис. 1. Изотермы адсорбции Co^{2+} при температуре 25 °С на СОРБЕНТЕ-1 (1) и СОРБЕНТЕ-2 (2)

ции Co^{2+} и при температуре 25 °С составляет для обоих образцов 240 мг/г (рис. 2). Соответствующие изотермы адсорбции, начиная с исходной концентрации 0,9 г/дм³, выходят на плато, что свидетельствует о насыщении сорбентов.

Поскольку оба образца проявили практически одинаковую адсорбционную активность по отношению к Co^{2+} и анионным ПАВ, дальнейшая адсорбционная очистка проводилась только при использовании СОРБЕНТА-1.

3. Адсорбция Co^{2+} и ПАВ

Исследование адсорбционной очистки модельных растворов, содержащих одновременно ионы кобальта и ДСН, показало, что избыток ПАВ по отношению к исходной концентрации кобальта и образование соответствующих ассоциатов Со-ПАВ способствует увеличению адсорбции кобальта на угольных сорбентах в 4–8 раз (табл. 1). В то же время присутствие катионов Co^{2+} практически не оказывает влияния на адсорбцию ПАВ, а уменьшение степени извлечения ДСН при адсорбции ассоциата из растворов с молярным соотношением Со:ПАВ 1:2 (исходная концентрация Co^{2+} 0,5 г/дм³) обусловлено не ухудшением сорбционной способности СОРБЕНТА-1, а его недостаточным количеством для полного удаления ДСН.

4. Адсорбция ЭДТА

При очистке растворов, содержащих ЭДТА в концентрациях от 0,5 до 5 г/дм³, с помощью СОРБЕНТА-1 наблюдается увеличение адсорбции (табл. 2). При этом максимальному содержанию ЭДТА в растворе (5 г/дм³) соответствуют и наибольшие значения определяемых параметров: величина адсорбции составляет 115 мг/г, а степень извлечения — 46% (из-за недостатка сорбента).

5. Адсорбция комплекса Со-ЭДТА

Для исследования адсорбции комплекса Со-ЭДТА готовили растворы Co^{2+} и ЭДТА в молярном соотношении Co^{2+} :ЭДТА 1:1 и 1:2. Концентрация ионов кобальта во всех случаях составляла 1 г/дм³. Полученные после смешения компонентов растворы имели, как и исходный раствор кобальта, розовую окраску, что соответствует максимуму поглощения при длине волны 520 нм (рис. 3).

Добавление в раствор угольных сорбентов приводило к изменению окраски раствора с розовой до фиолетовой (рис. 4) и небольшому смещению максимума поглощения в область 540 нм, что препятствовало количественному определению концентрации комплекса в растворе после сорбции и, очевидно, занижало реальную величину адсорбции, значение которой для СОРБЕНТА-1 не превышало 21,5 мг/г при степени извлечения 54 % масс.

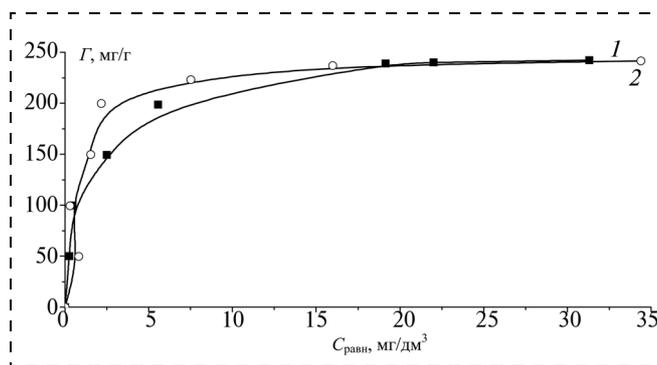


Рис. 2. Изотермы адсорбции ДСН при температуре 25 °С на СОРБЕНТЕ-1 (1) и СОРБЕНТЕ-2 (2)

Таблица 1
Величины адсорбции Co^{2+} и ДСН из водных растворов на образце СОРБЕНТ-1

Состав раствора	Извлечение Co^{2+}		Извлечение ДСН	
	Величина адсорбции G , мг/г	Степень извлечения, %	Величина адсорбции G , мг/г	Степень извлечения, %
Co^{2+} (0,05 г/дм ³)	1,4	5,6	—	—
ПАВ (0,25 г/дм ³)	—	—	24,5	98
Со: ПАВ 1:0,2	1,7	6,8	24,5	98
Со: ПАВ 1:2	8,8	32	240	99
Co^{2+} (0,5 г/дм ³)	2,5	1,0	—	—
Со: ПАВ 1:0,2	10	4,0	240	99
Со: ПАВ 1:2	22	8,8	1100	44

Таблица 2
Величины адсорбции ЭДТА из водных растворов на образце СОРБЕНТ-1

$C_{\text{исх}}$, г/дм ³	G , мг/г	Степень извлечения, %
0,5	7,5	30
1,0	20	40
2,5	55	44
5,0	115	46

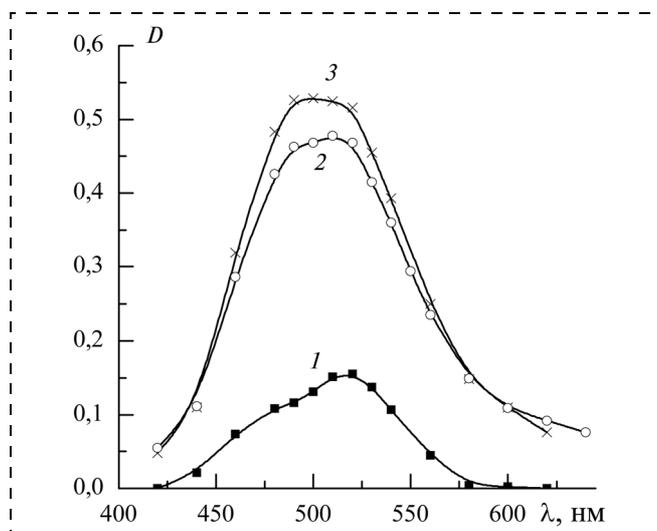


Рис. 3. Спектры поглощения водных растворов 1 г/дм³ Co^{2+} (1), Со:ЭДТА 1:1 (2) и Со:ЭДТА 1:2 (3)

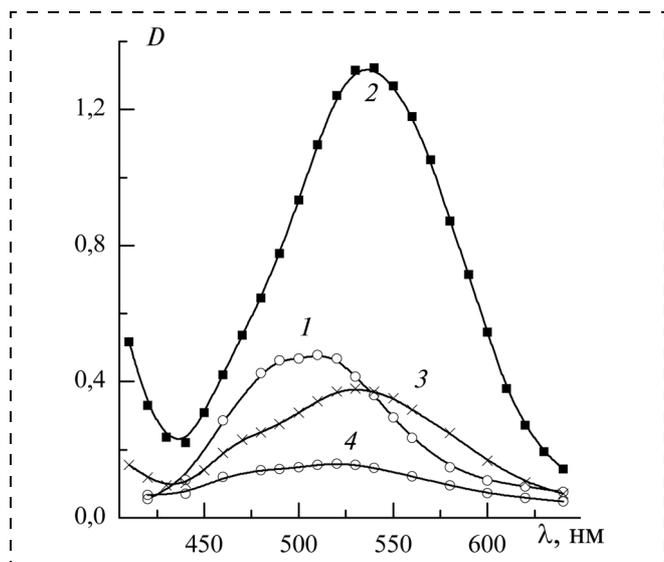


Рис. 4. Спектры поглощения водных растворов Со:ЭДТА 1:1 без добавления (1) и с добавлением 1 г (2), 3 г (3) и 5 г (4) СОРБЕНТА-1

Таблица 3

Степень извлечения Со-ЭДТА из водных растворов в зависимости от количества постадийно введенного СОРБЕНТА-1

Количество угля, введенного на каждой стадии*, г			Степень извлечения, %			
I	II	III	Со:ЭДТА 1:1	Со:ЭДТА 1:2	Со:ЭДТА 1:1 + ПАВ	Со:ЭДТА 1:2 + ПАВ
5	—	—	54	41	—	—
5	2,5	—	98	93	—	—
3	3	—	92	82	79	76
3	1,5	0,5	95	90	92	88

* Объем раствора комплекса 50 см³.

Таблица 4

Степень извлечения ПАВ и комплекса Со-ЭДТА из водных растворов

Состав раствора	Количество угля, г/дм ³	Степень извлечения, %		
		Со:ЭДТА	ЭДТА	ПАВ
Со-ЭДТА (6,3 г/дм ³)	100	90	—	—
Со-ЭДТА (6,3 г/дм ³) + ПАВ (0,9 г/дм ³)	100	90	—	99,5
ЭДТА (5 г/дм ³) + ПАВ (0,9 г/дм ³)	40	—	90	99,9
Со-ЭДТА (6,3 г/дм ³) + ПАВ (0,9 г/дм ³) + NaNO ₃ (15 г/дм ³)	40	87	—	98,6
Со-ЭДТА (6,3 г/дм ³) + ПАВ (0,9 г/дм ³) + щавелевая кислота (1 г/дм ³)	40	60	—	99,9

Таблица 5

Адсорбция ДСН, ЭДТА, Со²⁺, Со:ЭДТА 1:1 при раздельном присутствии компонентов

Угольный сорбент	S _{уд} , м ² /г	Адсорбция, мг/г			
		ДСН, 0,9 г/дм ³	ЭДТА, 5 г/дм ³	Со ²⁺ , 1 г/дм ³	Со:ЭДТА = 1:1 ЭДТА, 5 г/дм ³ Со ²⁺ , 1 г/дм ³
Гранулированный Solcarb	216	20	35	1,2	8,0
Гранулированный Карбовит КУ-П	260	125	80	1,5	8,5
Порошковый АУТ-МИ	980	240	25	9,5	3,0
Порошковый СОРБЕНТ-1	920	240	115	2,5	21,5

Данное значение адсорбции комплекса Со-ЭДТА на СОРБЕНТЕ-1 получено при концентрации угля в растворе 100 г/дм³ и может быть повышено путем постадийного введения угля в раствор (табл. 3).

Дальнейшее изучение возможности извлечения комплекса Со-ЭДТА СОРБЕНТОМ-1 показало, что введение избытка ЭДТА по отношению к кобальту приводит к снижению сорбции комплекса, в то время как избыток ПАВ практически не влияет на степень извлечения кобальта.

Исследование растворов более сложного состава показало, что в отличие от ПАВ, минеральные соли, в частности NaNO₃, а также комплексообразующие реагенты, такие как щавелевая кислота, уменьшают степень извлечения комплекса (табл. 4). При этом в условиях избыточного количества угольных сорбентов удаление ПАВ из этих растворов осуществляется практически полностью.

б. Сравнение эффективности очистки модельных растворов, содержащих загрязняющие вещества, различными АУ

Сорбционная способность АУ напрямую зависит от их природы, величины удельной поверхности S_{уд}, размера и количества пор. Так адсорбция Со²⁺ и ПАВ на гранулированных углях Solcarb и Карбовит КУ-П, характеризующихся малой удельной поверхностью, в несколько раз меньше, чем для порошковых углей АУТ-МИ и СОРБЕНТ-1 со значительно большей площадью удельной поверхности и развитой системой микро- и мезопор (табл. 5).

Более высокие значения сорбции ЭДТА и комплекса Со-ЭДТА на Карбовите КУ-П по сравнению с порошковым углем АУТ-МИ может быть обусловлено специфическими взаимодействиями ЭДТА с поверхностью сорбента Карбовит КУ-П.

Наибольшая эффективность очистки изучаемых растворов достигалась при использовании модифицированных угольных сорбентов, образующих

высокодисперсные угольные суспензии с большим сродством к дисперсионной среде. Расходные нормы сорбентов, необходимые для максимального извлечения загрязняющих веществ, показывают, что для удаления 1 г анионного ПАВ (ДСН) необходимо ~4 г угля; 1 г ЭДТА — 10 г; 1 г Со-ЭДТА — 40 г СОРБЕНТА-1.

7. Новые технологические подходы к переработке ЖРО АЭС

Проведенные исследования показали высокую сорбционную способность и эффективность использования угольных сорбентов для удаления анионных ПАВ, ЭДТА и их соединений с кобальтом, что позволяет заменить озоновое окисление органических компонентов ЖРО сорбционной очисткой от этих загрязнений. Исключение блока озонирования из технологической схемы существенно упрощает оборудование и управление процессом переработки отходов, а также резко снизит энергетические расходы.

Предлагаемая измененная технологическая схема предполагает введение стадии углевания с использованием модифицированных угольных сорбентов с последующей коагуляцией и фильтрацией на целлюлозных или угольных фильтрах для удаления органических веществ (в том числе и комплекса Со-ЭДТА). Образующиеся при этом отходы — фильтрующие материалы (бумага, картон), угольный сорбент с сорбатом (ПАВ, органические кислоты и др.) — предлагается утилизировать путем сжигания в специальных печах.

Фильтрат отправляется далее на микрофильтрацию и очистку от радионуклидов $^{134,137}\text{Cs}$ и ^{90}Sr на специальных селективных сорбентах, которые после отработки ресурса вместе с другими радиоактивными твердыми отходами отверждаются (на-

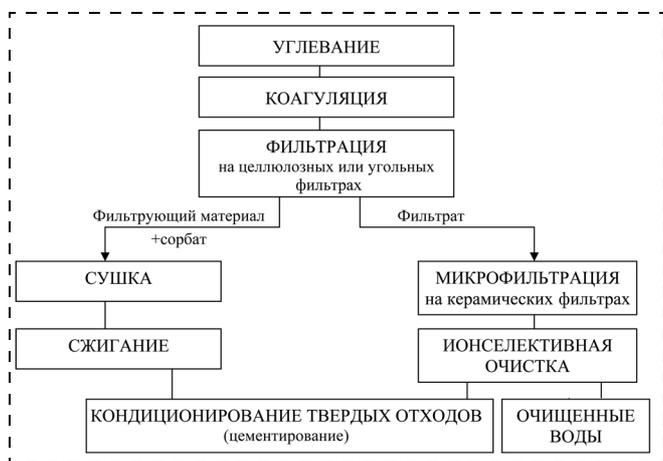


Рис. 5. Упрощенная схема утилизации ЖРО

пример, цементированием) и вывозятся в места длительного хранения.

Наглядно процесс очистки загрязненных вод можно представить в виде схемы, представленной на рис. 5.

Выводы

В результате исследования адсорбционной очистки растворов сложного состава, моделирующих сточные воды АЭС, установлено, что максимальная степень очистки достигается при использовании порошковых угольных сорбентов, характеризующихся высокой площадью удельной поверхности и развитой системой микро- и мезопор. Наибольшей величиной предельной адсорбции по отношению к Co^{2+} , ПАВ, ЭДТА и комплексу Со-ЭДТА обладают модифицированные угольные сорбенты на основе угля марки ОУ-А. Показано, что степень извлечения кобальта из водных растворов увеличивается при добавлении ЭДТА и уменьшается в присутствии щавелевой кислоты и нитрата натрия.

Рассчитаны расходные нормы сорбентов для максимального удаления загрязняющих веществ и предложена измененная схема очистки трапных вод АЭС, в которой стадия озонирования заменена стадией сорбционно-коагуляционной очистки вод с помощью углевания. При этом кобальт удаляется не в виде Co^{2+} , а в виде его комплекса с ЭДТА. Образующиеся отходы сорбционной очистки предлагается сжигать в специальных печах, которыми укомплектованы все действующие АЭС, или кондиционировать с другими твердыми радиоактивными отходами.

Список литературы

1. Чекмарев А. М., Тарасова Н. М., Сметанников Ю. В. Химия. Ядерная энергетика. Устойчивое развитие. — М.: Академкнига, 2006. — 288 с.
2. Кульский Л. А. Очистка вод атомных электростанций. — Киев: Наук. думка, 1971. — 207 с.
3. Арустамов А. Э., Савкин А. Е., Зинин А. В., Красников П. В., Прилепо Ю. П., Перевезенцев В. В., Свитцов А. А., Хубецов С. Б. Метод ионоселективной очистки жидких радиоактивных отходов атомных станций // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. — № 11. — С. 13–16.
4. Гриншпан Д. Д., Савицкая Т. А., Цыганкова Н. Г., Макаревич С. Е., Третьякова С. М., Невар Т. Н. Синтез, свойства и применение лиотропного жидкокристаллического полиэлектролита — сульфата ацетата целлюлозы // Химические проблемы создания новых материалов и технологий: Сб. ст. Вып. 3. — Минск: БГУ, 2008. — 558 с.
5. Лурье Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. — М.: Химия, 1984. — 448 с.
6. Невар Т. Н., Гриншпан Д. Д., Савицкая Т. А., Лазарев П. П. Стабилизация суспензий активированного угля водорастворимыми полимерами // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. хім. навук. — 2001. — № 4. — С. 5–9.
7. Савицкая Т. А., Невар Т. Н., Гриншпан Д. Д. Влияние водорастворимых полимеров на устойчивость и реологические свойства суспензий волокнистого активированного угля // Коллоидный журнал. — 2006. — Т. 68. — № 1. — С. 1–7.



УДК 628.543

А. А. Денисов, д-р биол. наук, проф., **И. Ю. Фролов**, асп.,
Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт
биологической промышленности, г. Щелково Московской обл.
e-mail: arcdenisov76@yandex.ru, ilyaf@mail.ru

Моделирование процессов переноса загрязнителей и биомассы бактерий через фильтрующий слой почвы биологического пруда

Разработаны и проверены на практике математические модели переноса загрязнителей и бактериальной массы при прохождении воды с растворенными органическими веществами через пористый почвенный слой биопрудов доочистки сточных вод. Практическим использованием результатов моделирования является получение научно-обоснованных прогнозов, обеспечивающих возможность получения реальных параметров очищенной воды, сбрасываемой на природные водные объекты.

Ключевые слова: доочистка, биологические пруды, модель, биохимическое окисление, фитопланктон, зоопланктон.

Denisov A. A., Frolov I. Y. *The mathematical model creation for the investigation of the refinement process in the biological ponds*

At present time it is necessary to investigate fully the process of pollutants extraction from biological ponds as long as the ponds are used increasingly more in designing and building of refinement systems for the city sewage. To estimate the influence of pollutants on the environment of the region's the mathematical models are used, they play the important role in the forecasting of the environment soilless level. In this work it was made a research of the different mathematical models which describe the water pollutants.

Keywords: biological ponds, cleaning of sewages, contamination, mathematical model.

Введение

В биологических прудах поступление кислорода, необходимого для бактериального окисления органических загрязнений, обеспечивается как с помощью атмосферной аэрации, так и за счет фотосинтеза клеток водорослей. При этом кислород, необходимый для биохимического окисления загрязняющих веществ, поставляется в основном планктонными водорослями, выделяющими его в процессе фотосинтеза. В свою очередь, для своего нормального функционирования водорослям требуется углекислота, фосфаты и аммонийный азот,

высвобождаемые микроорганизмами при бактериальном разложении органических веществ. Благодаря таким симбиотическим взаимоотношениям между водорослями и бактериями в биологических прудах создаются благоприятные условия для массового развития фитопланктона, который стимулирует наращивание бактериальной массы для эффективного биохимического окисления органических загрязнений.

Проведенными исследованиями установлено, что интенсивное наращивание биомассы фитопланктона способствует увеличению количества выделяемого кислорода. При этом, прирост биомассы водорослей и количество освобожденного в процессе фотосинтеза кислорода находятся во вполне определенных количественных соотношениях.

Таким образом, несмотря на имеющиеся к настоящему времени отдельные научно-исследовательские разработки по рассматриваемой проблеме, методы доочистки от загрязнений сточных вод открытых водоемов еще не нашли широкого применения в экологической практике охраны природной среды. Это объясняется тем, что имеющаяся информационная база по указанной проблеме не дает научно обоснованных практических рекомендаций по аппаратно-технологическому оформлению процессов доочистки стоков в промышленных условиях.

Отсюда вытекает важность и актуальность решения задачи практического применения доочистки сточных вод в биологических прудах, что требует глубокого изучения условий роста планктонных водорослей, состава фито- и зоопланктона, характера взаимоотношений водорослевых и бактериальных (в том числе патогенных) культур.

В целом, такие исследования, завершающиеся разработкой практических рекомендаций и промышленных технологий, должны обеспечить создание наиболее рациональных и эффективных конструктивно-технологических схем современных сооружений комплексной биологической очистки.

Однако поставленная проблема не должна ограничиваться исследованиями только биологических процессов изъятия загрязнителей из подаваемых в пруды стоков традиционных городских очистных

сооружений. Как показывает более внимательный анализ работы открытых водоемов, в них происходят и другие процессы, оказывающие существенное влияние на состояние водной среды, протекающей через акваторию биологических прудов.

Биологическая самоочистка в биологических прудах базируется на использовании энергии солнца при культивировании очистных агентов — водорослевой и бактериальной микрофлоры. При этом процессы очистки носят исключительно биологический характер — с помощью биохимического окисления органических загрязнений микроорганизмами активного ила, функционирующими в пруду наряду с водорослями, снабжающими бактерии растворенным кислородом для обеспечения их жизнедеятельности.

Однако наряду с этими процессами в биологическом пруду, как и в любом открытом природном водоеме, происходят и процессы иного рода, а именно — фильтрация водно-иловой среды пруда через пористый почвенный покров, формирующий акваторию пруда. За счет этого происходит непрерывный перенос части загрязнителей и бактериальной (в том числе и патогенной) биомассы через фильтрующие слои почвы в подземные грунтовые воды.

До настоящего времени при проведении исследований процессов предполагалось, что снижение содержания загрязнителей в водах, сбрасываемых в природные водоемы, происходит за счет реализации биохимических процессов потребления загрязнений. Поэтому математические модели очистки в биологических прудах не всегда отражали реальную картину процессов изъятия загрязнителей. Степень корреляции расчетных и экспериментальных данных в ряде случаев была недостаточно высокой именно вследствие неучета фильтрации загрязнителей и бактерий через поверхностный слой почвы. Поэтому методы прогнозирования не обладали достаточной надежностью и достоверностью и не нашли широкого применения в практике проектирования, строительства и эксплуатации систем биологической очистки.

В связи с вышеизложенным целью настоящего исследования является создание математической модели, описывающей процессы переноса загрязнителей и биомассы бактерий через фильтрующий слой, что позволит обеспечить возможность корректного прогнозирования процессов очистки сточных вод с учетом вывода части загрязнителей работающей биомассы из водно-иловой среды прудов.

Кроме того, модели переноса вместе с водой бактериальной массы, содержащей патогенные бактерии и вирусы, через почвенный покров дадут возможность более корректно производить оценку санитарного состояния водного региона в целом и качества грунтовых вод, используемых в качестве

источника питьевого водоснабжения городов и других населенных пунктов. Это позволит более строго подходить к расчету водно-прудовых систем доочистки с точки зрения выполнения требований к водам, сбрасываемым из прудов на природные ландшафты, выбору почвенных массивов, наиболее подходящих по микроструктуре, а также безопасности использования грунтовых вод в системах питьевого водоснабжения.

Рассмотрим различные математические модели, описывающие загрязнители воды.

В подземные воды коллоидные/бактериальные частицы проникают и мобилизуются с помощью различных механизмов. В частности, перенос органических загрязнителей в почвы и грунтовые воды может осуществляться благодаря их сорбции на поверхности коллоидов/бактерий. При фильтрации берегами водоема подвижные коллоидные частицы могут существенно увеличивать мобильность загрязнителей и изменять степень сорбции и микробной деградации.

Органические загрязнители непосредственно связаны с растворенными органическими веществами в воде. Сорбция гидрофобных органических загрязнителей на растворенных органических веществах увеличивает их водную растворимость, гидрофобные составы быстрее перемещаются в присутствии растворенных органических веществ. При фильтрации через берег водоема растворенные органические вещества могут облегчить перенос загрязнителей. Кроме того, растворенные органические вещества могут быть использованы как источник пищи (субстрат) для бактерий. При фильтрации через берег водоема перенос загрязнителя может зависеть также от присутствия бактерий.

1. Модели переноса загрязнителей и бактерий

Для описания переноса загрязнителей необходимо решение уравнения их переноса через загрязненную водную среду и уравнения конвекционно-дисперсного переноса загрязнителей через пористую почвенную среду. Для загрязненной подземной зоны предполагается, что перенос загрязнителей является изотермическим и составление уравнения теплового баланса не требуется. Уравнения модели переноса загрязнителей разработаны с использованием малого представительного элемента объема подземных вод.

Общее физическое уравнение, описывающее перенос загрязнителей в воде через представительный малый объемный элемент имеет вид [1]:

$$S_t \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, t) = \Phi \cdot (K_{\text{sat}} \Phi \cdot h), \quad (1)$$



где S_i — коэффициент накопления водоносного слоя, безразмерный; h — гидравлический напор, см; $W(x, t)$ — объем потока, проходящего через элемент площади в единицу времени (положительный для выходного и отрицательный для входного потока), см \cdot ч $^{-1}$; t — время; Φ — оператор, определяемый как $\partial\partial x^{-1}$, см $^{-1}$; K_{sat} — коэффициент насыщения, являющийся тензором гидравлической проводимости, относящийся скорости жидкости v , см \cdot ч $^{-1}$, определяемой по закону Дарси; \bullet — обозначение произведения векторов и тензоров.

Уравнение конвекционно-дисперсионной реакции, описывающее перенос загрязнителя через пористую почвенную среду элементарного представительного объема для одного загрязнителя, может иметь следующий вид:

$$\frac{\partial h}{\partial t} \left(C + \frac{\rho B}{\varepsilon} \right) = \\ = \Phi \bullet (D \bullet \Phi C)(x, t) - v \bullet \Phi C - \Delta^\omega C^\omega - \frac{C_s Q}{V_0}, \quad (2)$$

где C — концентрация загрязнителя, г \cdot см $^{-3}$; B — плотность отфильтрованной среды, г \cdot см $^{-3}$; ε — пористость почвенной массы, безразмерная; D — гидродинамический дисперсионный тензор, см $^2 \cdot$ ч $^{-1}$; v — скорость жидкости в пористой массе, вычисляемая по закону Дарси, см \cdot ч $^{-1}$; Δ — коэффициент скорости реакции трансформации загрязнения, см $^3 \cdot$ г/ч; C_s — концентрация загрязнителя в жидкости, г \cdot см $^{-3}$; Q — объемный расход потока, см 3 /ч; V_0 — элементарный объем, принятый при разработке модели, см 3 ; ρ — плотность жидкости пруда, г/см 3 ; Φ — оператор, определяемый как $(\partial \partial x^{-1})$, см $^{-1}$; ω — показатель степени, характеризующий передачу загрязнителя химическим или биологическим путем; g — ускорение свободного падения, см \cdot с $^{-2}$.

Уравнение (2) действительно для определенного химического загрязнителя, который присутствует в водной фазе в разведенных концентрациях. Для большинства химических загрязнителей действительны одни и те же математические модели, так как растворимость химиката в водной фазе достаточно низкая. Первые два члена в правой части уравнения (2) связаны с транспортной динамикой потока в пористой среде, а именно, с гидродинамической дисперсией и конвективным переносом. Последний член уравнения (2) относится к химическим и биологическим процессам первого порядка, которые трансформируют или конвертируют загрязнения в другие химикаты в подземной среде. Для разбавленных растворов предположение, что реакционные процессы могут быть представлены как процессы первого порядка разумно, потому что только концентрация загрязнителя изменяется су-

щественно во время деградации или трансформации. Например, при реакциях гидролиза концентрация загрязнителя в воде остается фактически неизменной (механизм псевдодеградации первого порядка). Для элемента объема в загрязненной подземной зоне общая форма профиля концентрации для переноса загрязнителя представляется как функция параметров переноса и характеристик донных грунтов.

Уравнение переноса биомассы бактерий в подземную среду будет иметь вид уравнения массовой концентрации [2]:

$$\frac{\partial d_i}{\partial t} + \Phi(d_i v_i) + \Phi(d_i \sigma_i) - \beta \Phi = R_i + S_i, \quad (3)$$

где d_i — плотность среды, насыщенной кислородом; β — коэффициент диффузии; R_i и S_i — коэффициенты скоростей биохимической реакции и каталитической реакции, соответственно; v_i — скорость i -го элемента среды пруда; σ_i — скорость i -го элемента отфильтрованной среды пруда.

После переноса в подземную среду концентрация бактерий или вирусов быстро уменьшается из-за таких неблагоприятных условий, как нехватка питательных веществ, низкая температура, солнечное излучение и др. Скорость гибели микроорганизмов можно моделировать реакцией первого порядка. Это означает, что коэффициент R_i в уравнении (3) выражается в виде:

$$R_i = -k_i C,$$

где k_i — кинетическая константа.

Кислород используется бактериями для биохимического окисления органических веществ, которые могут быть представлены в виде потребности в кислороде для их разложения, так называемой биологической потребности в кислороде (БПК). Если уровень загрязненности не слишком велик, то эта потребность может удовлетворяться с помощью концентрации растворенного кислорода (РО).

Если количество органических веществ увеличивается сверх максимальной величины, то растворенного кислорода может быть недостаточно чтобы разлагать их, что приводит к изменению экосистемы. В дальнейшем для оценки БПК и РО можно использовать предложенную ниже модель:

$$\frac{\partial \rho_1}{\partial t} + u \Delta \rho_1 - \beta_1 \Phi \rho + \frac{1}{h} \sum_j^N = q_j r_i^j \delta(P_j); \\ \frac{\partial \rho_2}{\partial t} + u \Phi - \beta_2 \Phi \rho = K_1 \rho_1 + \frac{1}{h} K_2 (d_s - \rho_2) - \\ - \frac{1}{h} r_p M + \frac{1}{h} \frac{I_B}{ha + bI_B + cI_B^2} M + \frac{1}{h} F, \quad (4)$$

где ρ_1 — концентрация БПК; ρ_2 — концентрация растворенного кислорода РО; J — количество модификаций; q_j — скорость потока; r_i^j — плотность i -го вида для j -й модификации; $\delta(P_j)$ — число Дирака в точке модификации P_j ; K_1 — кинетический параметр (функция температуры); K_2 — скорость межфазовой передачи кислорода; β_1 и β_2 — дисперсионные коэффициенты; d_s — плотность насыщенности кислорода в воде, зависящая от температуры; I_B — интенсивность солнечного излучения на дне водоема; M — поверхностная плотность популяции водорослей; r_p — коэффициент респирации водорослей; F — другие источники подачи кислорода; u — скорость жидкости, которая может быть получена из уравнений Навье-Стокса; a, b, c — эмпирические коэффициенты, учитывающие характер географического расположения водоема.

Приведенные выше расчетные зависимости переноса загрязнителей и бактериальной массы в подземные слои почвы в полной мере характеризуют процессы, происходящие в водной среде биологического пруда, и позволяют прогнозировать развитие этих явлений в перспективе. Этой же цели служат и полученные важные для прогнозирования эффективности очистки в биологических прудах профили изменения концентрации загрязнителей при различных скоростях разложения, расходах потока и коэффициентах диффузии.

На рис. 1 показано изменение концентрации загрязнителя при различных скоростях разложения, из которого видно, что при высокой скорости разложения концентрация загрязнителя уменьшается больше, чем при малой скорости разложения.

На рис. 2 показано изменение концентрации загрязнителя при различных расходах потока, из которого видно, что концентрация загрязнителя при более высоком расходе потока q уменьшается с более высоким темпом, чем при малом расходе потока.

На рис. 3 показано изменение концентрации загрязнителя при различных коэффициентах диффузии, из которого видно, что при высоком коэффициенте диффузии D концентрация загрязнителя уменьшается быстрее, чем при низком коэффициенте диффузии.

Таким образом, разработаны и проверены экспериментом технологические модели переноса загрязнителей и бактериальной массы для различных величин параметров процесса в биологических прудах. Результаты работы показали, что за счет переноса компонентов-участников процесса с течением процесса наблюдается однозначное уменьшение концентрации загрязнителей в водно-иловой смеси прудов.

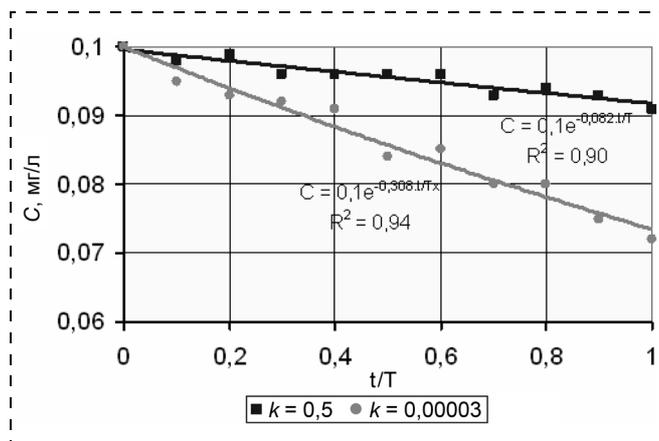


Рис. 1. Изменение концентрации загрязнителя C в зависимости от относительного времени пребывания t/T при различных скоростях разложения $k, \text{г} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ (T — общее время пребывания загрязнителя жидкости в водоеме)

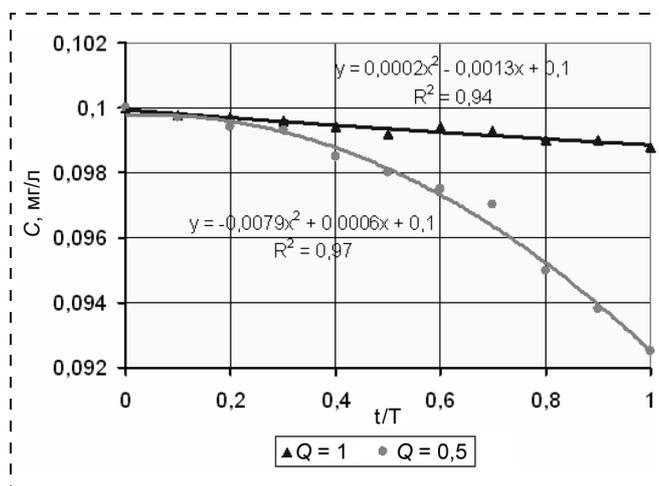


Рис. 2. Изменение концентрации загрязнителя C в зависимости от относительного времени пребывания t/T при различном расходе $Q, \text{см}^3/\text{ч}$

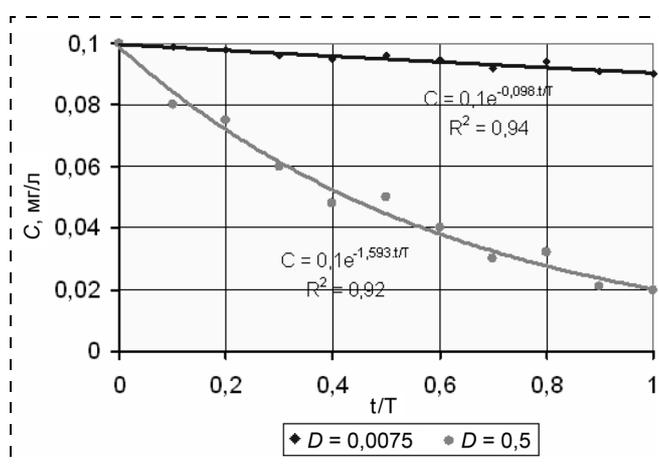


Рис. 3. Изменение концентрации загрязнителя C в зависимости от относительного времени пребывания t/T при различных коэффициентах диффузии $D, \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$



Разработанные модели позволяют с достаточной для практики точностью прогнозировать параметры очистки по БПК и растворенному кислороду в биологических прудах с учетом переноса загрязнителей и бактериальной массы через пористую среду почвенного покрова водоема.

Список литературы

1. **Hassett J. P., Anderson M. C.** Association of hydrophobic organic compounds with dissolved organic matter in aquatic systems // Environ. Sci. Tech. — 1979. — 13. — 1526—1529.
2. **Thomas R. V.** Systems Analysis and Water Quality Management Environmental research and Application. 1972.
3. **Смирнов И. Р., Субботина Ю. М.** Использование биологических прудов и ботанической площадки с высшей растительностью для доочистки животноводческих стоков // Ветеринария. — 1995. — № 2. — С. 51—54.
4. **Денисов А. А.** Повышение эффективности и надежности биологической активности сточных вод / ВНИИТЭНагропром, 1989. — С. 84.
5. **Смирнов И. Р., Волков Г. К.** Охрана окружающей среды при естественной биологической очистке сточных вод и навозных стоков // Вестник РАСХН. — 1994. — № 2. — С. 54—56.
6. **Доливо-Добровольский Л. Б.** Биологические пруды в системе сельскохозяйственного использования сточных вод // Тр. УНИИ ССВ. — 1969. — № 1. — С. 162—164.

УДК 606:628.3

И. В. Хлебникова, асп., **Ю. Ю. Смирнов**, канд. техн. наук,
Т. Д. Хлебникова, д-р хим. наук, проф., **Т. В. Кирсанова**, асп.,
Е. А. Кантор, д-р хим. наук, проф.,
Уфимский государственный нефтяной технический университет
e-mail: nk.ufa@mail.ru

Разработка биохимического метода очистки сточных вод от тяжелых металлов

Рассмотрено воздействие тяжелых металлов на организм человека и состояние окружающей среды. Исследован процесс биохимической очистки модельных сточных вод от тяжелых металлов (на примере ионов цинка и железа (II)).

Ключевые слова: сточные воды, очистка, сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ), тяжелые металлы.

Khlebnikova I. V., Smirnov Yu. Yu., Khlebnikova T. D., Kirsanova T. V., Kantor E. A.
Influence of the heavy metals containing in sewage on a human body and safety of natural ecosystems. Biochemical methods of water treating from toxic metals

Influence of heavy metals on a human body and a state of environment is considered. Process of biochemical clearing of model sewage from heavy metals (on an example of ions of zinc and iron(II)) is investigated.

Keywords: sewage, clearing, sulfate-reducing bacteria (SRB), heavy metals.

Очистка биосферы от загрязнения тяжелыми металлами является одной из важных проблем современной экологии. Значительные количества тяжелых металлов попадают в окружающую среду в со-

ставе промышленных сточных вод. Стоки многих предприятий, содержащие тяжелые металлы, представляют угрозу экологическому равновесию природных экосистем и здоровью человека, поэтому очистка сточных вод от тяжелых металлов является актуальной задачей.

К тяжелым металлам традиционно относят более 40 химических элементов с атомными массами более 50 а. е. м. (медь, цинк, галлий, молибден, кадмий, марганец, железо, теллур, вольфрам и др.). Иногда тяжелыми металлами называют элементы, имеющие плотность более 7...8 тыс. кг/м³ (кроме благородных и редких). И хотя термин "тяжелые металлы" неточен, им приходится пользоваться, так как он прочно вошел в экологию. Вышесказанное в полной мере относится к таким элементам, как цинк и железо, входящим в состав многих ферментов и играющим важную роль в метаболизме живых организмов, но в больших количествах способных принести им значительный вред.

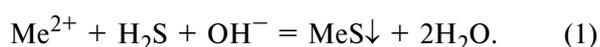
Очистку промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов обычно осуществляют путем перевода их в малорастворимые и слабодиссоциирующие соединения (например, гидроксиды) или в практически нерастворимые сульфиды с использованием различных сульфидных реагентов (H₂S, Na₂S, NaHS или органосульфидов) [1].

Сульфидная обработка эффективнее гидроксидной, однако, от нее зачастую приходится отказываться по соображениям безопасности, так как при этом возникают сложности, связанные с хранением и применением вредных и часто нестабильных сульфидов.

Вместо химических сульфидных реагентов можно с успехом использовать биогенный сероводород, вырабатываемый в процессе жизнедеятельности сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) с использованием какого-либо углеродсодержащего субстрата [2].

В процессе анаэробной обработки сточных вод, содержащих ионы тяжелых металлов, с помощью СВБ происходят сложные физико-химические взаимодействия между растворимыми металлами и микробной биомассой. При этом одни ионы тяжелых металлов осаждаются в виде нерастворимых сульфидов в результате химического связывания биогенным сероводородом, другие — в виде гидроксидов при подщелачивании водной среды в процессе жизнедеятельности СВБ [3]. В то же время бактериальная масса может интенсивно сорбировать и аккумулировать растворенные металлы [2].

Анализ биохимического удаления металлов с использованием СВБ проводился на примере ионов Zn^{2+} и Fe^{2+} , которые часто присутствуют в стоках горно-обогатительных и металлургических комбинатов, в том числе, в стоках широко используемого процесса цинкования деталей. Взаимодействие ионов тяжелых металлов с биогенным сероводородом в этом случае описывается уравнением [3]:



Материалы и методы

Микроорганизмы и среда. В ходе микробиологического исследования проведена родовая идентификация природного консорциума СВБ, выделенного из донных отложений реки Буйды. Место отбора проб обусловлено составом вод данной реки, а именно большим содержанием сульфатов, органики и ионов тяжелых металлов, сбрасываемых в виде стоков близлежащих предприятий (горно-обогатительного комбината и картонного завода). В донных отложениях реки естественным путем сформировалась природная культура СВБ, которая может использоваться в качестве загрузки промышленных биореакторов. Установлено, что СВБ, входящие в состав накопительной культуры, относятся преимущественно к родовым таксонам *Desulfovibrio*, *Desulfonema*, *Desulfomicrobium*, *Desulfobulbus*.

Питательная среда для культивирования СВБ должна содержать сульфаты, углеродсодержащий субстрат (источник органического питания и донор электронов в реакциях биохимического восстановления сульфатов), а также минеральные соли — источники азота, фосфора и других микроэлементов, необходимых для роста и развития СВБ. В ходе исследования применялась питательная среда "DSM 63" следующего состава (г/л): глицерин — 1,0; KH_2PO_4 — 0,5; NH_4Cl — 1,0; Na_2SO_4 — 1,0; $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ — 0,1; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ — 2,0; дрожжевой экстракт — 0,1. В эту среду вносились растворимые соли Zn^{2+} и Fe^{2+} , концентрация которых варьировалась от 100 до 1000 мг/л. Восстановление сред проводилось раствором сульфида натрия (добавляется для поддержания отрицательного окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в системе), показатель pH поддерживался подщелачиванием раствором Na_2CO_3 в пределах 7...7,8 [4].

Биореактор. Эксперимент проводили в упрощенной модели анаэробного биореактора периодического действия (анаэробность является необходимым условием жизнедеятельности СВБ). В начале исследований в стеклянные емкости одинакового объема загружали активный сульфатный ил, содержащий накопительную культуру СВБ. Иловая загрузка составляла при этом 1/3 высоты реактора, остальные 2/3 реактора заполнялись питательной средой.

Измерения и анализы. Концентрации сульфатов и сульфидов определяли соответственно турбидиметрическим [5] и колориметрическим [6] методами анализа. Значения pH и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) определяли потенциометрически на pH-метреиономере "Экотест-001".

Результаты и обсуждение

Ингибирующее влияние тяжелых металлов на СВБ оценивалось по снижению конверсии сульфатов в процессе биохимической сульфатредукции.

Для исследуемого металла каждой концентрации проводилось по три параллельных испытания. Резкое снижение эффективности процесса сульфатредукции и роста СВБ наблюдалось при концентрациях $Zn^{2+} \geq 500$ мг/л (рис. 1, 2, 3), $Fe^{2+} \geq 1000$ мг/л (рис. 4, 5, 6). При этом конверсия сульфатов достигала лишь 32,8 % за 30 суток культивирования. Меньшие количества ионов тяжелых металлов легко осаждались в виде нерастворимых сульфидов, обеспечивая остаточную концентрацию Zn^{2+} и Fe^{2+} 1,6 и 1,8 мг/л соответственно. Концентрация непрореагировавшего сероводорода в среде находилась в диапазоне 76...172 мг/л (см. рис. 3 и 4), остаточная



концентрация сульфатов — 240...700 мг/л (см. рис. 5 и 6).

Исследования показали, что в процессе биохимической обработки удаление ионов цинка проходит довольно интенсивно. Так, в опытах с начальной концентрацией 100, 200 и 300 мг/л происходит полная очистка за 15 суток культивирования. При начальной концентрации 500 мг/л удаляется 92 % ионов цинка после 30 суток культивирования, а при стартовой концентрации более 500 мг/л удаление цинка за тот же промежуток времени происходит менее чем на 50 % (см. рис. 1).

Расчет по уравнению (1) показал, что теоретический максимальный выход сероводорода составит 1028 мг/л (начальная концентрация сульфатов — 3000 мг/л). Для осаждения максимальной начальной концентрации ионов цинка (1000 мг/л) по уравнению (1) необходимо 492 мг/л сероводорода. Таким образом, высокие остаточные концентрации ионов цинка после 30 дней культивирования (см. рис. 1) свидетельствуют об ингибировании процесса, а не обусловлены недостатком биогенного сероводорода на осаждение.

В ходе исследования также определялось ингибирующее воздействие повышенных содержаний ионов железа на развитие выбранной активной культуры СВБ.

Исследования показали, что в процессе биохимической обработки удаление ионов железа проходит также довольно интенсивно. В опытах с начальной концентрацией 100 и 200 мг/л происходит полная очистка за 5 суток культивирования, а при начальных концентрациях от 300 до 500 мг/л удаляется 96 % ионов железа после 30 суток осуществления процесса очистки. При проведении экспериментов с начальной концентрацией более



Рис. 1. Изменение концентраций ионов цинка

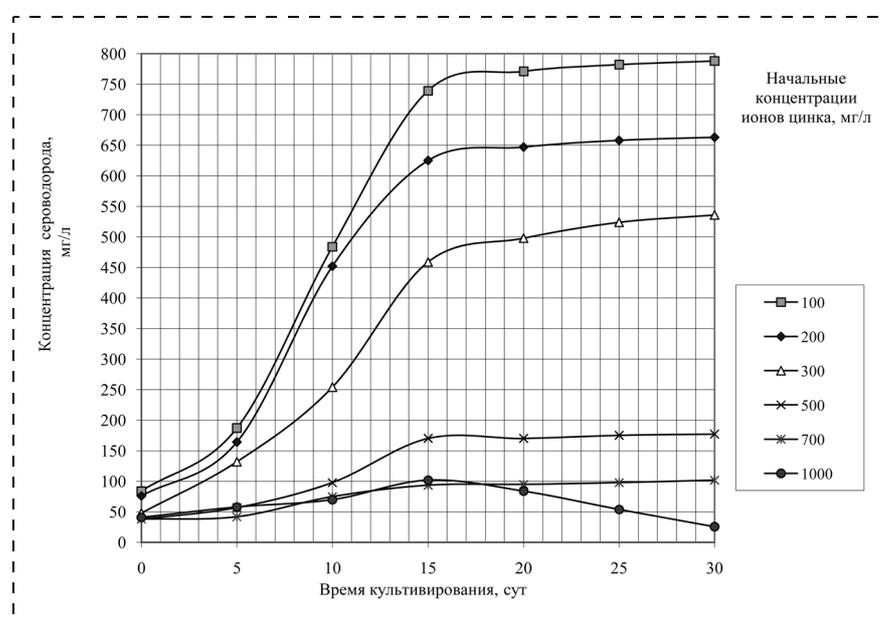


Рис. 2. Изменение концентрации сероводорода при повышенном содержании ионов цинка

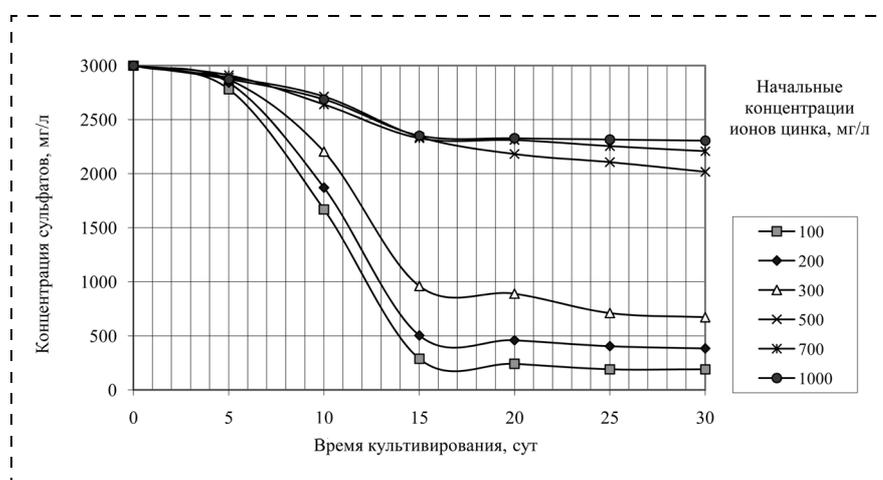


Рис. 3. Изменение концентрации сульфатов при повышенном содержании ионов цинка

1000 мг/л удаление железа происходит только на 72 %. Важно отметить, что выход сероводорода за 5 суток культивирования в пробе с начальной концентрацией ионов железа 100 мг/л составил 262 мг/л, тогда как в пробе без добавления ионов железа за это же время концентрация сероводорода достигла всего 68 мг/л. Таким образом, небольшие количества ионов железа не только не ингибируют процесс сульфатредукции, а напротив создают необ-

ходимый для жизнедеятельности СВБ низкий окислительно-восстановительный потенциал за счет электронного перехода $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ [7].

Заключение

Апробирован биохимический способ очистки модельных стоков, содержащих ионы тяжелых металлов (на примере Zn^{2+} и Fe^{2+}) с помощью СВБ. Полученные результаты подтверждают эффективность выбранного метода очистки, однако установлено, что большие концентрации металлов могут угнетать жизнедеятельность активной культуры микроорганизмов и негативно сказываться на качестве очистки (ингибирование процесса наблюдается при концентрациях $Zn^{2+} \geq 500$ мг/л и $Fe^{2+} \geq 1000$ мг/л).

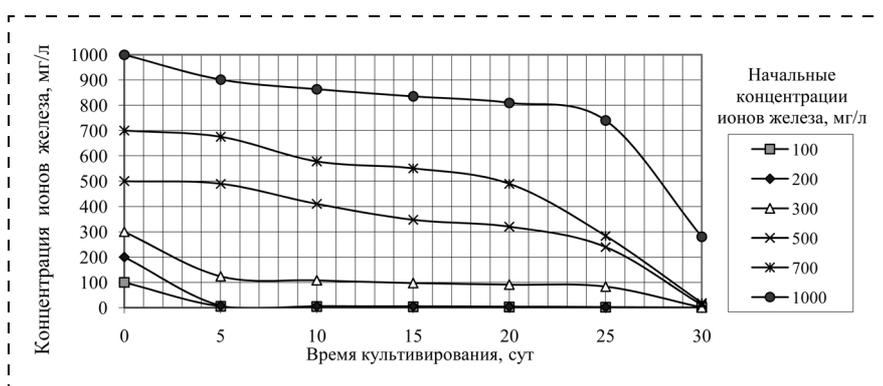


Рис. 4. Изменение концентраций ионов железа

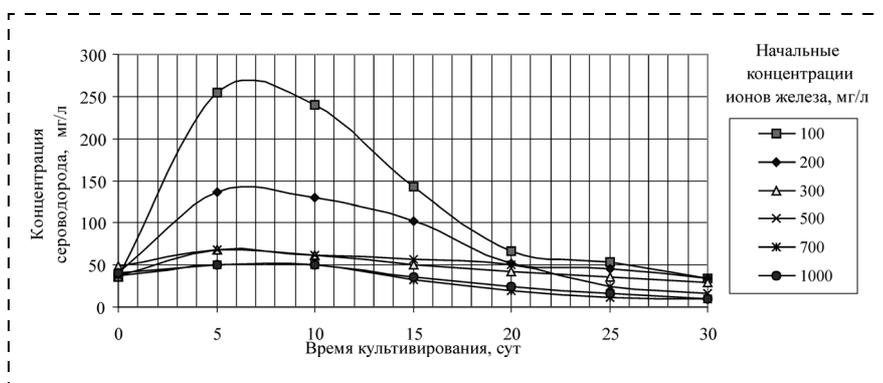


Рис. 5. Изменение концентрации сероводорода при повышенном содержании ионов железа

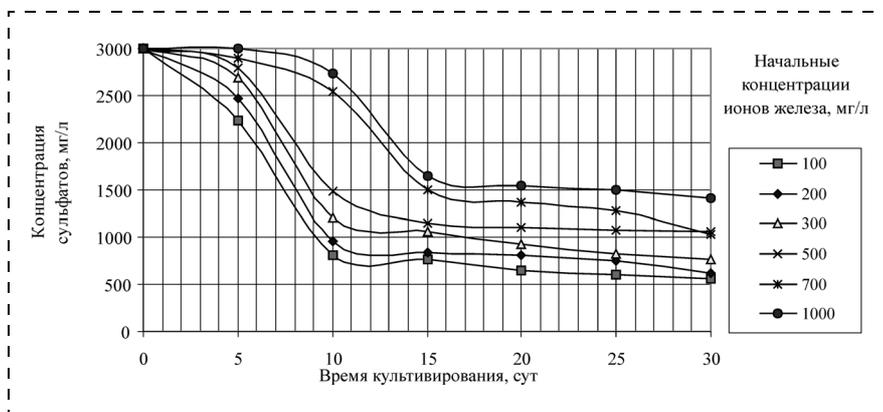


Рис. 6. Изменение концентрации сульфатов при повышенном содержании ионов железа

Список литературы

1. Schmock K. Abwasserreinigung: Renningen-Malsheim: expert-Verlag, 1995. — 199 s.
2. Калужный С. В., de Leon F. R., Rodriguez M. J. Использование СВБ для очистки сточных вод от сульфатов и тяжелых металлов // Микробиология. — 1997. — Т. 66. — С. 687.
3. Губин В. Е., Смирнов Ю. Г., Смирнова Г. Ф. и др. Биохимическая очистка сульфатсодержащих сточных вод // Химия и технология воды. — 1984. — Т. 6. № 5. — С. 465–467.
4. Вайнштейн М. Б., Лауриновичус К. С. Учет и культивирование анаэробных бактерий. Методические рекомендации. Пушино, Россия. 1988.
5. РД 52.24.405—2005. Руководящий документ. Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений турбидиметрическим методом.
6. ПНД Ф 14.1:2.109—97 21.03.1997 Государственный Комитет РФ по охране окружающей среды. Методика выполнения измерений массовых концентраций сероводорода и сульфидов в пробах природных и очищенных сточных вод фотометрическим методом с N,N-диметил-п-фенилендиамином.
7. Alphenaar A. Anaerobic granular sludge: characterization, and factors affecting its functioning: PhD, Thesis, Wageningen, Netherlands: Wageningen Agricultural University, 1994.

УДК 614.84

С. В. Алексеев, асп., **С. И. Поникаров**, д-р техн. наук, проф.,
В. А. Алексеев, канд. техн. наук, доц.,
 Казанский государственный технологический университет
 e-mail: alekseev_s_v@list.ru

Прогнозирование последствий аварий, связанных с разгерметизацией резервуарного оборудования

Предложена методика определения последствий аварийной разгерметизации резервуарного оборудования, приведена экспериментальная апробация данной методики и описаны результаты моделирования аварийных ситуаций.

Ключевые слова: объем разлива, площадь разлива, разлив нефти.

Alekseev S. V., Ponikarov S. I., Alekseev V. A.
Predicting the consequences of accidents related to the decompression tank equipment

This article proposed a method of determining the effects of an emergency decompression tank equipment, given the experimental testing of this methodology and described the results of simulation of emergency situations.

Keywords: volume of the spill, the area of the spill, oil spill.

Основная опасность резервуарных парков, приводящая к катастрофическим последствиям с большим материальным ущербом и гибелью людей, связана с возможностью разрушения резервуара и формированием гидродинамической волны. Процесс разрушения резервуара и распространения жидкости чрезвычайно быстрый, а ударная сила образовавшейся волны прорыва достаточно велика. Как следствие, жидкость перехлестывает защитные сооружения и растекается по прилегающей территории на площади от нескольких десятков до сотен тысяч квадратных метров. Наиболее опасным фактором гидродинамического растекания является практически мгновенный перенос жидкости и других опасных факторов.

Однако, несмотря на очевидную опасность таких аварий, на данный момент не существует адекватных моделей для прогнозирования последствий аварий, связанных с разгерметизацией резервуарного оборудования.

Предложенная модель базируется на системе дифференциальных уравнений Навье—Стокса [1], определяющих трехмерный нестационарный поток несжимаемой жидкости:

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_x}{\partial z^2} \right) &= \\
 = \rho \left(\frac{\partial w_x}{\partial t} + w_x \frac{\partial w_x}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_x}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_x}{\partial z} \right); \\
 -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_y}{\partial z^2} \right) &= \\
 = \rho \left(\frac{\partial w_y}{\partial t} + w_x \frac{\partial w_y}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_y}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_y}{\partial z} \right); & \quad (1) \\
 -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w_z}{\partial z^2} \right) &= \\
 = \rho \left(\frac{\partial w_z}{\partial t} + w_x \frac{\partial w_z}{\partial x} + w_y \frac{\partial w_z}{\partial y} + w_z \frac{\partial w_z}{\partial z} \right); \\
 \frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_y}{\partial y} + \frac{\partial w_z}{\partial z} &= 0,
 \end{aligned}$$

где p — давление, Па; w_x, w_y, w_z — составляющие скоростей движения жидкости по осям координат, м/с; ρ — плотность, кг/м³; μ — вязкость жидкости, Па · с; t — время, с.

Не менее важной задачей было моделирование реальных свойств подложки, таких как пористость и глубина проникновения жидкости. Модель впитывания жидкости базировалась на законе Дарси [2], устанавливающем линейную зависимость между скоростью фильтрации жидкости и перепадом давления в пористых средах:

$$w = \frac{Q}{S} = \frac{k \Delta P}{\mu L}, \quad (2)$$

где Q — объемный расход жидкости через пористый слой, $\text{м}^3/\text{с}$, толщина которого L , м, а площадь сечения S , м^2 ; Δp — перепад давления на границе жидкость—пористый слой, Па; μ — динамический коэффициент вязкости, Па·с; k — коэффициент проницаемости, м^2 .

Коэффициент проницаемости грунта вычисляется по формуле:

$$k = \frac{m^2 D^2}{36c(1-m)^2}, \quad (3)$$

где m — пористость; c — число Кармана; D — диаметр частиц грунта, м.

Принимая, что скорость фильтрации жидкости $w = dL/dt$ (L — глубина проникновения жидкости, м; t — время, с) из закона Дарси получим формулу для расчета глубины впитывания:

$$L = \sqrt{\frac{2\Delta Pkt}{\mu}}. \quad (4)$$

Допущениями, принятыми в данной модели, являются следующие факты:

- используется мультифазная модель с тремя фазами: 1-я фаза — жидкость, 2-я фаза — воздух; 3-я фаза — грунт;
- отсутствует тепло- и массообмен между фазами;
- течение жидкости является ламинарным;
- жидкость является однородной с постоянной плотностью и вязкостью;
- учитывается сила поверхностного натяжения;
- учитываются условия адгезии жидкости к подложке;
- учитывается убывание жидкости за счет фильтрации в грунт.

Реализация данной модели в программном пакете Fluent позволяет получить численные значения объема жидкости, перелившейся через защитные сооружения, время разлива, площади разлива с построением карты разлива.

Для оценки адекватности математической модели была создана экспериментальная установка,

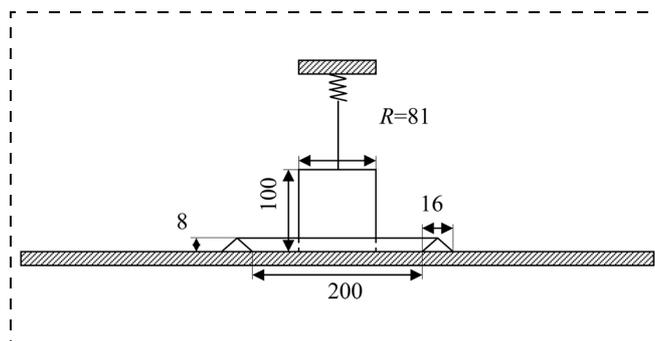


Рис. 1. Схема экспериментальной установки (размеры даны в мм)

имитирующая полную, квазимгновенную разгерметизацию резервуара РВС-100 в масштабе 1:38 (рис. 1), построенная в соответствии со СНиП [4]. Данная установка состоит из подложки, на которую нанесен грунт, площадки с обвалованием, резервуара и устройства моментального подъема резервуара. В качестве рабочей жидкости использовалась вода, в качестве подстилающей поверхности использовался естественный грунт (суглинок). При проведении экспериментов велась видеосъемка и фиксировалась площадь разлива и объем жидкости, оставшейся в обваловании. Методика проведения эксперимента заключалась в следующем: емкость, объемом 500 мл заполнялась водой, далее приводился в действие механизм моментального подъема емкости. После окончания течения жидкости проводились соответствующие измерения.

Было проведено более 30 экспериментов. Полученные результаты представлены в табл. 1. Согласно результатам экспериментов 69,56 % общего объема жидкости вылилось за пределы защитного обвалования. Численное моделирование данного эксперимента с применением ЭВМ дало результаты, которые также приведены в табл. 1.

Таким образом, расхождение экспериментальных и расчетных данных составило: 9,5 % по объему разлива и 8,32 % по площади разлива. Расхождение в значениях объясняется трудностью задания характеристик подстилающего грунта, и сложно-

Таблица 1

Результаты эксперимента и численного моделирования данного эксперимента

Показатель	Объем жидкости, оставшейся в обваловании, мл	Объем жидкости, вылившейся за пределы обвалования, мл	Площадь разлива, см^2
Среднее значение согласно эксперименту	152,2 ($\pm 10,8$)	347,8 ($\pm 10,8$)	2657 (± 207)
Значение согласно расчету	137,8	362,2	2878



стью достижения идеальной горизонтальности экспериментальной установки.

Согласно статистическим данным [3], среди аварий, связанных с разгерметизацией резервуаров, наиболее распространенными (41,4 %), были резервуары, номинальная вместимость которых составляла 5000 м³. Поэтому в качестве исследования была выбрана авария, связанная с квазимгновенным разрушением одиночно стоящего РВС-5000, окруженного защитными сооружениями в соответствии со СНиП [4]. В качестве рабочей жидкости использовался мазут.

При моделировании рассматривалось два основных сценария аварии:

1. полного разрушения резервуара, т. е. полное мгновенное разрушение всех стенок резервуара;
2. разрушения только части боковой стенки резервуара.

При моделировании аварии, развивающейся по первому сценарию, было рассмотрено два варианта защитных сооружений: 1) земляное обвалование высотой 1,8 м и шириной у основания 2 м; 2) бетонное каре высотой 1,8 м.

В результате моделирования полного квазимгновенного разрушения резервуара (первый сценарий) были получены следующие данные: объем жидкости, перелившейся через земляное обвалование, составил 3227 м³ (64,54 % от общего объема жидкости в резервуаре), объем жидкости, перелившейся через бетонное каре, составил 2744 м³ (54,88 % от общего объема жидкости в резервуаре), что дает возможность сделать вывод об аварии резервуара, окруженного земляным обвалованием, как более опасном. Площадь разлива при полной квазимгновенной разгерметизации резервуара, окруженного земляным обвалованием, составила $S_{\text{разл}} = 26\,446 \text{ м}^2$.

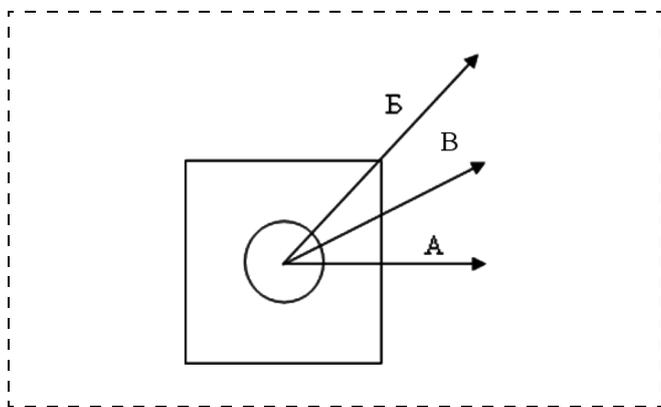


Рис. 2. Варианты направления раскрытия стенок резервуара

Таблица 2

Результаты моделирования частичной разгерметизации резервуара в различных направлениях

Показатель	А	Б	В
$V_{\text{жид}}/V_{\text{рез}} \cdot 100 \%$	73,16	62,54	68,37
Примечание. $V_{\text{жид}}/V_{\text{рез}} \cdot 100 \%$ — процент жидкости, перелившейся через защитное обвалование.			

Рассматривая второй сценарий развития аварии, были приняты следующие условия:

- моделировалась разгерметизация РВС-5000;
- разгерметизация происходила мгновенно с частичным раскрытием стенок резервуара;
- разрыв представлял собой параллелепипед, высотой равной высоте резервуара;
- площадь разрыва варьировалась;
- в качестве защитного сооружения было выбрано земляное обвалование, как более опасное.

Было рассмотрено три варианта направления раскрытия стенок резервуара (рис. 2).

При моделировании аварии разгерметизации резервуара в различных направлениях, площадь разрыва принималась равной 25 % от площади боковой стенки резервуара. Результаты моделирования представлены в табл. 2.

Сравнение результатов моделирования сценария частичной разгерметизации резервуара, по направлениям А, Б и В (см. рис. 2) показал, что наиболее опасным является сценарий разлива по направлению А. При моделировании аварии с раскрытием стенок в направлении А были получены результаты, представленные на рис. 3.

Результаты моделирования показывают, что наиболее опасным сценарием аварии, связанной с разгерметизацией резервуарного оборудования, является частичная разгерметизация с площадью разрыва, равной 25 % от площади боковой стенки резервуара направлением перпендикулярно защитным сооружениям (направление А — рис. 2) и земляным обвалованием, выступающим в качестве защитного сооружения.

Карты разлива при полной разгерметизации и разгерметизации с площадью разрыва, равной 25 % площади боковой стенки резервуара, приведены на рис. 4.

Приведенные на рис. 4 значения площадей разлива свидетельствуют о том, что при аварии, связанной с разгерметизацией резервуара с площадью

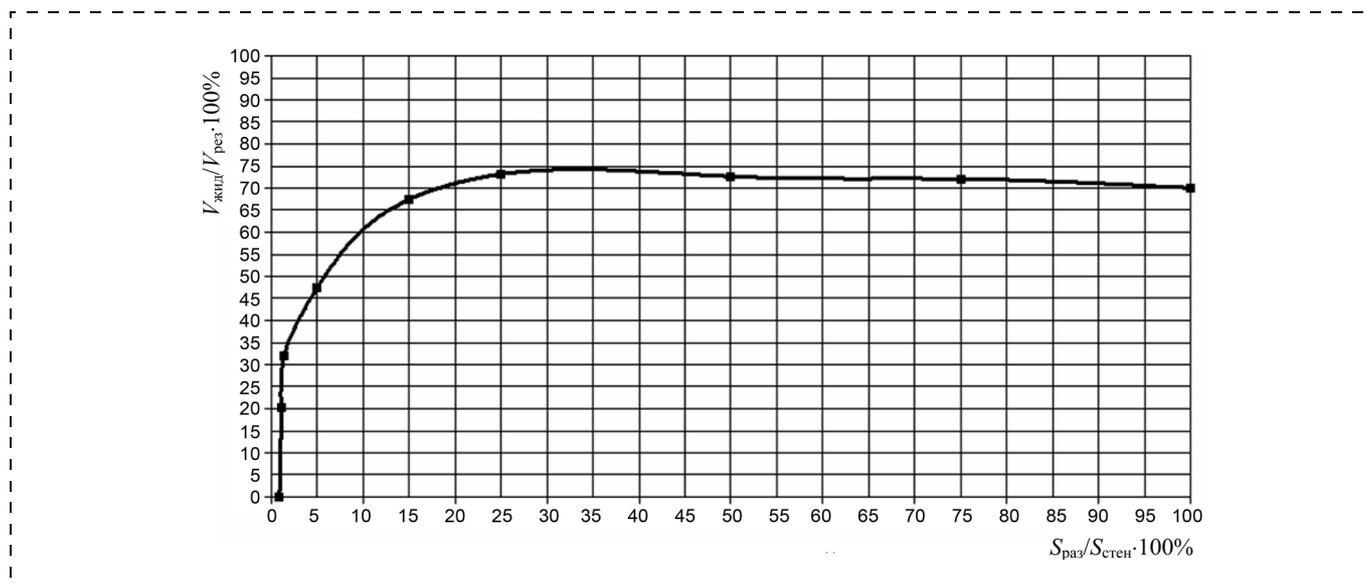


Рис. 3. Изменение объема жидкости, перелившейся через защитные сооружения, в зависимости от площади разрыва ($S_{раз}/S_{стен} \cdot 100\%$ — отношение площади разрыва к площади боковой стенки резервуара)

разрыва, равной 25 % от площади боковой стенки резервуара, негативные последствия аварии будут более существенны. Кроме того, следует отметить тот факт, что при полной разгерметизации резервуара максимальное расстояние от центра резервуара до края разлива составило 84 м, а при аварии с частичным разрушением стенок резервуара — 143 м. Это свидетельствует о том, что при проектировании объектов согласно СНиП [4], в случае

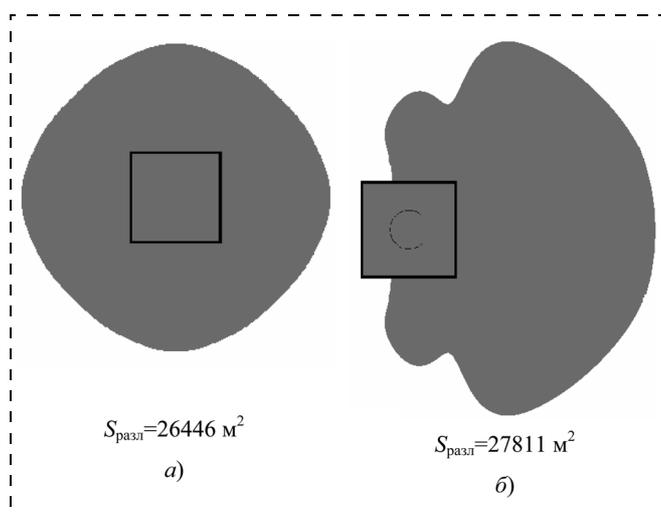


Рис. 4. Карты разлива:

a — при полной разгерметизации резервуара; *б* — при разгерметизации с площадью разрыва, равной 25 % от площади боковой стенки резервуара

аварии с частичным разрушением стенок резервуара разлив может выйти за пределы объекта, и в зоне аварии могут оказаться соседствующие объекты, не подготовленные к возможным авариям, связанными с разливами нефти и нефтепродуктов. Помимо этого, в случае выхода разлива за пределы объекта вероятность дальнейшего развития аварии возрастает (пожар пролива, взрыв паровоздушной смеси, токсическое поражение людей парами углеводородов, попадание нефти и нефтепродуктов в водные объекты).

Предложенная модель показала себя как адекватно описывающая процесс разлива жидкости при авариях на резервуарном оборудовании, и в дальнейшем может использоваться для прогнозирования последствий таких аварий, а также для разработки более современных защитных сооружений.

Список литературы

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. — М.: Госхимиздат, 1948. — 751 с.
2. Басниев К. С., Кочина И. Н., Максимов В. М. Подземная гидромеханика. — М.: Недра, 1993. — 416 с.
3. Швырков С. А., Батманов С. В. Анализ последствий чрезвычайных ситуаций при разрушениях резервуаров на объектах топливно-энергетического комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2008. — № 4. — С. 2—7.
4. СНиП 2.11.03—93. Склады нефти и нефтепродуктов. Противопожарные нормы. Введены 1993-07-01. — М.: Госстрой, 1993. — 30 с.



УДК 614.875

Р. Ш. Еналеев, канд. техн. наук, доц., **Э. Ш. Теляков**, д-р техн. наук, проф.,
А. М. Закиров, асп., **В. А. Качалкин**, канд. техн. наук, доц.,
Казанский государственный технологический университет,
Л. Э. Осипова, канд. техн. наук, доц.,
Казанский государственный архитектурно-строительный университет
e-mail: lipogi@mail.ru

Методы оценки теплового поражения людей в чрезвычайных ситуациях

Представлен анализ отечественных и зарубежных методов оценки теплового поражения человека в чрезвычайных ситуациях. Предложен расчетный метод прогнозирования вероятности возникновения термических ожогов II степени при массовых поражениях.

Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, ожоги, методы оценки, прогнозирование.

Enalejev R. Sh., Telyakov E. Sh., Zakirov A. M., Kachalkin V. A., Osipova L. E.
Estimate methods of the human thermal injuries in extreme situations

In this paper is presented the analysis of domestic and foreign methods of an estimation of human thermal injuries in extreme situations. The estimate methods of prediction of 2nd degree burns and thermal injuries is offered for large-scale catastrophes.

Keywords: extreme situations, burns, methods of an estimation, forecasting.

В техногенных катастрофах, военных конфликтах, террористических актах происходит не контролируемое возрастание скорости превращения химической энергии энергетических веществ и материалов в высокоинтенсивные тепловые потоки. На химических и нефтехимических предприятиях это явление приводит к возникновению пожаров от горения углеводородных топлив [1], в аэрокосмической технике — от горения ракетных топлив [1, 2]. При ядерных взрывах также возникает интенсивное тепловое излучение [3].

Наиболее опасным последствием аварийных ситуаций является массовое поражение людей от воздействия конвективных радиационных потоков. При этом тепловые поражения имеют много общего в однотипности термических ожогов, необходимости оказания помощи большому числу пострадавших, в безотлагательном решении организационно-технических задач в условиях острого дефицита времени [4].

По мнению медиков, эффективность оказания помощи пострадавшим в конкретной чрезвычайной ситуации зависит от оперативного получения информации о количестве пострадавших, степени и глубине термического повреждения структурных слоев кожного покрова.

Такая информация может быть получена в Национальном и региональных Ситуационных центрах управления чрезвычайными ситуациями (ЧС) после поступления данных с места возникновения аварийной ситуации. Основой информационно-математического обеспечения центров должны быть информационные модели управления и модели с программными комплексами по оценке зон теплового поражения людей при воздействии поражающих факторов пожароопасных объектов. Практическое использование такой информации позволит не только прогнозировать последствия ЧС, но оценивать и проектировать защитные средства человека.

1. Анализ критериев теплового поражения

Важное значение при разработке методов оценки теплового поражения человека имеет обоснованный выбор количественных и качественных критериев возникновения ожогов.

1.1. Энергетические критерии

К энергетическим критериям можно отнести количество и индекс количества тепловой энергии, интенсивность теплового потока.

Количество тепловой энергии

$$Q = q\tau, \quad (1)$$

где q — плотность теплового потока, Вт/м²; τ — время воздействия, с.

Известно, что критическое значение критерия (1) зависит от времени нагрева кожи $\tau_{кр}$, при котором возникают термические ожоги. Зависимость $Q_{кр} = f(\tau_{кр})$ впервые была получена в экспериментах с биообъектами в Исследовательском центре морской авиации США (US Naval Air Development Center) и Отделении медицинских аэрокосмических исследований (Aerospace Medical Research

Department) [5]. График этой зависимости используется в зарубежных стандартных методах оценки теплового поражения человека [6–8].

Индекс количества тепловой энергии, Дж/м² [9] (далее с учетом направленности статьи — индекс облучения)

$$I = q^{4/3} \tau. \quad (2)$$

Практически важным свойством критерия (2) является его инвариантность ко времени воздействия постоянного теплового потока в диапазоне от 1 до 60 с. Для заданной степени ожога критическое значение индекса зависит от вероятности его возникновения.

В медицине применяется единый подход к оценке влияния различных опасных факторов на человека. Так, численное значение физических, биологических, химических поражающих воздействий, представляющих опасность для жизнедеятельности человека, условно называют дозой. Следствием воздействия опасных факторов на человека могут быть ожоги и отравления различной степени тяжести, шок, потеря сознания, летальный исход, условно называемые эффектом. Доза, зависящая от множества трудноформализуемых объективных и субъективных факторов, является случайной величиной.

В медицинской статистике установлено [10], что вероятность эффекта приближается к нормальному закону распределения, если в качестве критерия дозы взят логарифм индекса интенсивности воздействия опасного фактора. При тепловом поражении человека различными механизмами теплообмена кожи с окружающей средой в качестве дозы принят логарифм индекса облучения

$$D = \ln I. \quad (3)$$

1.2. Температурные критерии

Кроме критериев критической тепловой энергии, измеряемых экспериментально, применяются расчетные критерии, скоррелированные с температурой структурных слоев кожи при возникновении ожогов II степени. В зарубежных стандартах используется температурный критерий, впервые обоснованный в работах [11, 12], в котором кожа рассматривается как трехслойная система из эпидермиса (0,8 мм), дермы (2 мм) и подкожной ткани. Интеграл от скорости поражения кожи принимается за критерий теплового поражения

$$P = \int_0^{\tau_{кр}} \frac{d\Omega}{dt} dt = \int_0^{\tau_{кр}} A \exp(-E/RT) dt, \quad (4)$$

где T — температура кожи на границе "эпидермис—дерма" или на другой глубине от поверхности, К; A — предэкспонент (частотный фактор), 1/с; E — энергия активации, Дж/моль; R — газовая постоянная,

Дж/моль · К. При значениях $\Omega \leq 0,5$ основной слой остается без повреждений, при $0,5 \leq \Omega \leq 1$ — возникают ожоги I степени. Если $\Omega > 1$ — возникают ожоги II степени.

По данным [5, 11] и стандарта [8] значения констант зависят от механизма нагрева структурного слоя кожи и диапазона температур нагрева.

- Для границы "эпидермис—дерма"

$$\text{при } 44^\circ\text{C} < T < 50^\circ\text{C} \quad P = 2,185 \cdot 10^{124}; \\ E/R = 93\,500; \quad (5)$$

$$\text{при } T > 50^\circ\text{C} \quad P = 1,823 \cdot 10^{51}; \quad E/R = 39\,100. \quad (6)$$

- Для дермы

$$\text{при } T < 50^\circ\text{C} \quad P = 4,32 \cdot 10^{64}; \quad E/R = 50\,000; \quad (7)$$

$$\text{при } T > 50^\circ\text{C} \quad P = 9,39 \cdot 10^{104}; \quad E/R = 80\,000. \quad (8)$$

- Для контактных ожогов

$$\text{при } T > 50^\circ\text{C} \quad P = 3,31 \cdot 10^{90}; \quad E/R = 75\,000. \quad (9)$$

В работе [13] также предлагается критерий критической температуры в дерме. Критическая температура рассчитывается по трехслойной модели кожи при граничных условиях первого и второго рода (постоянные температура и тепловой поток на поверхности кожи соответственно). При достижении температуры $50 \pm 0,5^\circ\text{C}$ возникает ожог II степени с вероятностью 0,5.

1.3. Медицинские критерии

В качестве медицинских критериев термических ожогов приняты ожоги I, II, III, IIIA, IV степени [4]. В зарубежных стандартных методах в основном используется в качестве критерия ожог II степени, качественно идентифицируемый появлением волдырей на коже с вероятностью 0,5. При установлении нижних границ теплового поражения используется критерий ожога I степени, идентифицируемый как покраснение кожи с вероятностью 0,5. При установлении безопасной зоны теплового поражения используется качественный критерий "порог болевого ощущения". По температурному критерию (4) вероятность ожога не рассчитывается, а в зависимости от значения критерия поражения различают ожоги слабой, средней и сильной тяжести.

2. Анализ методов оценки теплового поражения

Для прогнозирования зон теплового поражения людей в ЧС применяются различные отечественные и зарубежные методы, представляющие количественные зависимости между термодинамическими (энергетическими и температурными) и медицинскими критериями.



2.1. Метод ТРР

Достоверность и большой объем экспериментальных исследований по воспроизведению ожогов II степени послужили основой создания стандартного инструментального метода оценки теплозащитных свойств материалов ТРР (Thermal Protective Performance) [6–8].

Благодаря простоте аппаратного оформления, воспроизводимости результатов, реализации различных механизмов нагрева кожного покрова метод ТРР получил широкое распространение не только в промышленных стандартах США для оценки теплозащитных свойств материалов специальной одежды, но и в международных стандартах, например [8].

Схема установки для использования метода ТРР приведена на рис. 1.

Для моделирования заданного количества тепловой энергии, передаваемого излучением, исполь-

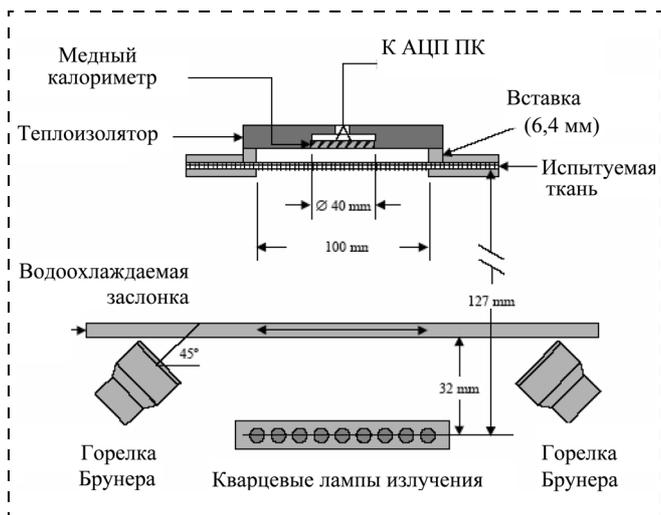


Рис. 1. Схема установки для применения метода ТРР

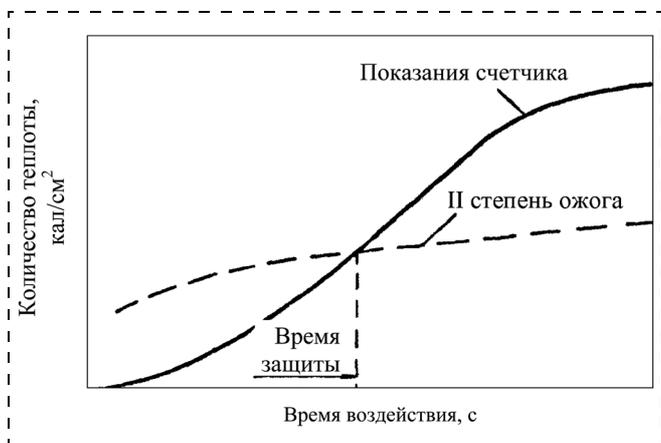


Рис. 2. Измерение критического значения тепловой энергии в методе ТРР

зуется блок из девяти кварцевых ламп с нагревательными элементами и переменным напряжением электрического питания для регулирования интенсивности излучения. Для создания конвективного теплового потока используются две горелки с регулируемым расходом газа. Эти источники изолированы от образца материала водоохлаждаемой заслонкой, которая используется для точного регулирования времени экспозиции. Имитатор кожного покрова — калориметр с зачерненной поверхностью, используется для определения интенсивности излучения и измерения количества тепловой энергии, проходящей через образец ткани.

Оценка теплозащитных свойств образцов ткани на установке ТРР происходит следующим образом. Испытуемый образец подвергается воздействию теплового потока плотностью $2 \text{ ккал/см}^2 \cdot \text{с}^*$, имитирующей излучение реального пламени, и с помощью калориметра регистрируется суммарное количество теплоты, проходящей через единицу площади образца ткани за период теплового воздействия, как показано на рис. 2.

В точке пересечения графика прошедшей теплоты с графиком тепловой энергии, вызывающей ожог II степени, ордината соответствует критическому значению тепловой энергии, а абсцисса — времени защитного действия.

В методе ТРР (по оценке теплозащитных свойств) могут оцениваться теплозащитные свойства не только материала покровного слоя одежды, но и образцов многослойных пакетов средств защиты для персонала МЧС. Кроме того, установка для применения метода ТРР позволяет имитировать воздействие реальных потоков теплового излучения на открытые участки кожного покрова.

Следует отметить, что при оценке теплозащитных свойств одежды тепловой поток может передаваться к поверхности имитатора кожи различными механизмами теплообмена — излучением, конвекцией, конденсацией паров влаги и продуктами термического разложения материалов покровного слоя. При этом плотность теплового потока изменяется во времени и из экспериментальных данных рассчитывается ее среднее интегральное значение. Такой подход очевидно правилен, так как результаты лабораторных испытаний адекватны оценкам защитных свойств специальной одежды на манекене и последствиям воздействия тепловых потоков на открытые участки кожи.

Результаты экспериментальных исследований теплозащитных свойств материалов методом ТРР обрабатываются в виде линейных зависимостей $\ln \tau = f(\ln q)$, как показано на рис. 3. Авторами до-

*1 ккал = 4,1868 Дж.

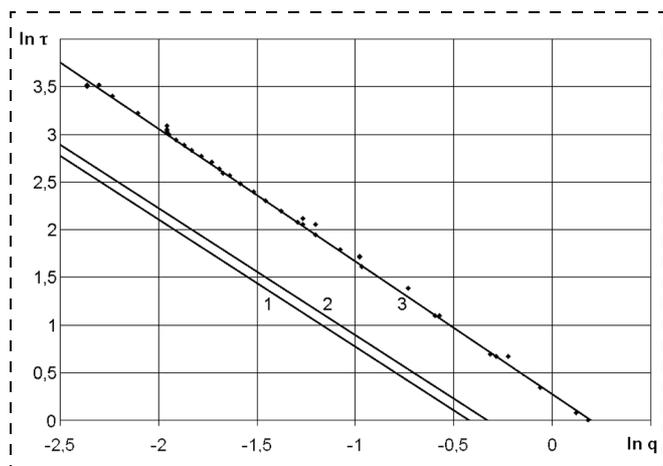


Рис. 3. Зоны теплового поражения кожи:
1 — порог болевого ощущения, 2 — ожог I степени, 3 — ожог II степени

полнительно показаны результаты работ [6—9, 18] в виде точек на графике этой зависимости.

Линейную зависимость времени воздействия теплового потока τ от его плотности q в логарифмических координатах можно аппроксимировать формулой

$$\ln \tau = \ln \tau_0 + k \ln q, \quad (10)$$

где τ_0 — время воздействия (с) теплового потока плотностью, равной единице ($\ln q = 0$); k — тангенс угла наклона прямых на рис. 3.

Минимизируя критерий адекватности в виде суммы квадратов отклонений экспериментальных данных и расчетных значений по формуле (10), можно определить постоянные коэффициенты. Их значения равны:

$$\ln \tau_0 = 0,3189, \tau_0 = 1,3757, k = -1,336 \approx -4/3. \quad (11)$$

Подставив значения k в уравнение (10), после потенцирования получаем выражение

$$\tau_0 = q^{4/3} \tau. \quad (12)$$

Сравнивая выражения (12) и (2), можно записать, что численные значения τ_0 (с) и I (Дж/м²) равны, т. е.

$$\tau_0 = I = \text{const}. \quad (13)$$

Следовательно, для заданных степени термического поражения и вероятности индекс облучения является постоянной величиной, инвариантной ко времени воздействия теплового потока. Полученный на основании обработки экспериментальных результатов методом ТРР вывод согласуется с энергетическим критерием (2) и расчетными данными метода пробит-функции.

Для данных, представленных на рис. 3, индекс облучения является постоянной величиной, рав-

ной 1,3757 кал/см² ($I = 200$ Дж/м²), при появлении ожога II степени с вероятностью $p = 0,5$ зависимость (10) можно представить в виде

$$\ln \tau = \ln I - 4/3 \ln q. \quad (14)$$

2.2. Метод пробит-функций

Метод ТРР не применяется для прогнозирования термических ожогов различной вероятности.

Впервые количественная зависимость между вероятностью возникновения ожогов различной тяжести и логарифмом индекса тепловой энергии была получена Эйзенбергом И. А. с соавторами [9] на основе анализа теплового воздействия огненных шаров атомных взрывов, справедливая при условии $1 \text{ с} \leq \tau \leq 60 \text{ с}$. Однако эта зависимость, называемая пробит-функцией, получена только для летального исхода.

Авторами работы [14] для нормального распределения случайной величины логарифма индекса облучения получена пробит-функция для ожога II степени

$$t_0 = -16,4 + 2,99 \ln I_0, \quad (15)$$

где t_0 — нормированное значение логарифма индекса облучения; I_0 — индекс облучения у поверхности биообъекта.

Для вероятности 0,5 ($t_0 = 0$) из работы (9) следует:

$$I_0 = 240 \text{ Дж/м}^2. \quad (16)$$

Сравнивая выражения (14) и (16), различие в значениях I и I_0 можно объяснить тем, что в I входит значение поглощенной энергии теплового потока, а в I_0 — падающего потока. Очевидно

$$I = \varepsilon I_0, \quad q = \varepsilon q_0, \quad (17)$$

где ε — интегральная степень черноты кожного покрова, которая зависит от спектра источника теплового излучения.

$$\varepsilon = q/q_0. \quad (18)$$

Интегральная степень черноты равна отношению поверхностной плотности потока интегрального излучения данного тела к его величине для абсолютного черного тела при той же температуре [15].

Степень черноты, отражательная и пропускательная способности особенно важны при определении степени и глубины прогрева кожи после воздействия энергии в интервале различных длин волн. Источниками энергии могут быть атомный взрыв, инфракрасные и вольфрамовые лампы накаливания, дуговые лампы с угольными электродами, газоразрядные лампы, открытый огонь при крупномасштабном горении углеводородного и ракетного топлива.



Очевидно, что для каждого источника и био-объекта необходимо рассчитывать интегральную степень черноты кожи в диапазоне волн излучения источника. Экспериментально установлено, что степень черноты кожи человека в видимой части спектра равна 0,5, в инфракрасной — 0,99 [16]. Интегральная степень черноты кожи молочных поросят, наиболее близких по свойствам к коже человека, равна 0,61.

При расчете ε в формулах (17) необходимо учитывать, что значение I_0 , входящее в пробит-функции, получено при обработке данных атомных взрывов. В работе [17] приведены сравнительные спектры излучения абсолютно черного тела при температуре 6000 °С, светового излучения ядерных взрывов и газоразрядных ксеноновых ламп. Они практически идентичны и распределение энергии излучения в диапазоне длин волн УФ света составляет 9...10 %, видимой части спектра — 30...40 %, ИК области — 50...60 %. Оценка интегральной степени черноты кожи для этих источников лежит в диапазоне 0,8...0,86. Если принять среднее значение $\varepsilon = 0,83$, то индексы поглощенной кожей облучения для вероятности возникновения ожогов 0,5, полученные экспериментально методом ТРР (см. рис. 3) и расчетом по пробит-функции (15), совпадают.

2.3. Метод критической температуры

Как отмечалось выше, кроме данных о количестве пострадавших и степени теплового поражения, для выбора стратегии лечения медикам необходима дополнительная информация по температуре и глубине повреждения ткани.

Применение критерия теплового поражения (4) дает информацию по температуре только на одной глубине от поверхности кожи. Для расчета температурного поля в кожном покрове человека авторами предлагается трехслойная тепловая модель, описанная в разделе 1.2 и представленная на рис. 4, но с учетом объемного поглощения теплового излучения по закону Бугера [15]:

$$c_p \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) + q k e^{-kx}, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq z_1 & \quad \lambda = \lambda_1, & c = c_1 & \quad \rho = \rho_1 \\ z_1 < x \leq z_1 + z_2 & \quad \lambda = \lambda_2, & c = c_2 & \quad \rho = \rho_2 \\ z_1 + z_2 < x \leq z_3 & \quad \lambda = \lambda_3, & c = c_3 & \quad \rho = \rho_3, \end{aligned} \quad (20)$$

где $\lambda_1, c_1, \rho_1; \lambda_2, c_2, \rho_2; \lambda_3, c_3, \rho_3$ — коэффициенты теплопроводности, теплоемкости и плотности структурных слоев кожи соответственно; $z_1, z_2 - z_1, z_3 - z_2$ — толщина эпидермиса, дермы, подкожной

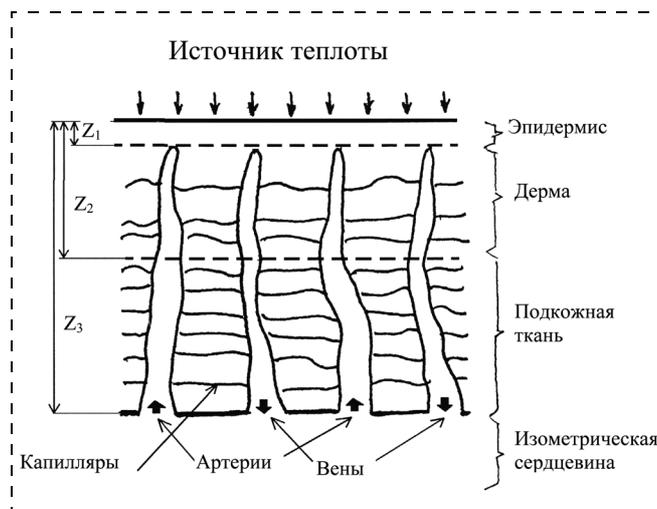


Рис. 4. Тепловая модель кожи

ткани соответственно; k — коэффициент ослабления излучения.

$$\tau = 0; T(x, 0) = T_0 = 32,5 \text{ °C}; \quad (21)$$

$$x = 0; \frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = 0; x = z_3; \frac{\partial T(z_3, \tau)}{\partial x} = 0. \quad (22)$$

Задача (19)—(20) с начальными и граничными условиями (21)—(22) решена методом конечных разностей.

Вычислительный эксперимент по предлагаемой модели позволяет рассчитывать температурное поле в структурных слоях кожи при задании на поверхности теплового потока излучения и времени его воздействия.

Сравнение результатов расчета по предлагаемой модели с экспериментальными данными по температуре основного слоя кожи (на границе "эпидермис—дерма") представлено в таблице. Сравнительные данные приведены для различных значений плотности теплового потока излучения на поверхности кожи при постоянной величине индекса облучения 200 Дж/м².

Как видно из табличных данных, значения температуры основного слоя, измеренные эксперимен-

Плотность теплового потока, кал/(см ² ·с)	Время нагрева, с	Температура основного слоя, °С	
		Экспериментальные данные [6—8, 18—20]	Вычислительный эксперимент
0,305	6,7	57,7	57,54
0,226	10	55,7	55,93
0,13	21	54,2	54,18
0,1	30	53,6	53,56

тально и рассчитанные по предлагаемой модели, практически совпадают при воспроизведении ожогов II степени с вероятностью 0,5. Для других вероятностей ожога II степени значения температуры основного слоя в литературе отсутствуют. Их значения могут быть рассчитаны по предлагаемой авторами модели.

Таким образом, анализ многообразных критериев, методов и моделей оценки пожарного риска позволяет выделить перспективные подходы в совершенствовании методов оценки теплового поражения человека в ЧС.

Например, авторами предлагаются возможные варианты и алгоритмы оценки теплового поражения как открытых участков кожи, так и под защитной одеждой.

3. Алгоритмы оценки теплового поражения человека

Оценка теплового поражения человека складывается из трех этапов. На первом — для отделения зон поражения выбираются медицинские критерии поражения. Это могут быть различные степени ожогов или различные вероятности одной или той же степени поражения. На втором — для каждой границы зоны поражения рассчитывается индекс тепловой энергии. На третьем — для конкретной аварийной ситуации применяются известные или разрабатываются новые методы расчета расстояния каждой границы зоны от центра опасного источника.

3.1. Зоны поражения

Пространство вокруг высокотемпературного источника тепловой энергии условно разделяется на опасные зоны в зависимости от тяжести теплового поражения.

Предлагается два варианта разделения зон поражения. *В первом варианте* в качестве критериев разделения зон применяются ожоги I и II степени с вероятностью 0,5 [21]. Первая зона располагается от опасного источника до границы ожога II степени. Эта зона считается опасной. Вторая, промежуточная зона располагается между ожогами II и I степени. Третья, безопасная зона находится за границей ожога I степени.

Во втором варианте каждая из зон отличается вероятностью возникновения ожога II степени. Например, можно все пространство вокруг опасного источника разделить на 13 зон. Первая зона располагается непосредственно вокруг источника. Вероятность поражения в этой зоне равна 99 %. В следующей за ней, второй зоне вероятность поражения составляет 95 %. В последующих девяти зонах шаг изменения вероятности принимается 10 %. В предпоследней зоне вероятность поражения

равна 5 %, в последней — 1 %. За последней зоной располагается безопасное пространство.

3.2. Тепловое поражение открытых участков кожи

При воздействии интенсивных тепловых потоков в первую очередь поражению подвергаются открытые участки кожи. При пожарах разлития и огненных шарах основным поражающим фактором является тепловое излучение [1]. В ГОСТ Р 12.3.047—98 [22] приводится метод расчета времени горения и плотности теплового потока излучения на различных расстояниях от центра опасного источника. В предлагаемом алгоритме оценки теплового поражения открытых участков кожного покрова после выбора критерия ожога II степени по методу ТРР (13) или пробит-функции (15) определяется индекс облучения для каждой зоны. По известному времени теплового воздействия из индекса облучения (2) рассчитывается плотность облучения.

Далее задача сводится к определению таких расстояний до границ зон поражения, на которых плотность облучения, рассчитанная по формулам [18], соответствует индексу облучения на границе каждой зоны. Однако необходимо учитывать, что в формуле для расчета плотности облучения в зависимости от расстояния присутствует коэффициент пропускания атмосферы, который также зависит от расстояния и рассчитывается по определенной формуле.

Поэтому предлагаются приближенные численные методы расчета расстояний до границ зон поражения — метод последовательных приближений и метод половинного деления. В качестве первого приближения коэффициент пропускания принимается равным 1. На каждом шаге итерации разница двух приближений делится пополам. Итерационный процесс заканчивается по достижении заданной точности вычислений, например, 0,5 м. Автоматизированный компьютерный расчет по предлагаемому методу занимает менее одной секунды после введения всего одного значения переменной: радиуса пролива сжиженного углеводородного газа (СУГ) при пожарах разлития или массы аварийного выброса топлива при горении огненных шаров.

В статье [23] предлагается расстояние до границ зон поражения аппроксимировать полиномом 10-го порядка. Сравнительные расчеты по автоматизированному методу и аппроксимирующему полиному не выявили увеличения точности по экспресс-методу [23]. Кроме того, в экспресс-методе для конкретного аварийного выброса массы топлива необходимо для предлагаемой градации зон поражения дополнительно задавать около сотни коэффициентов полинома с шестью значащими цифрами после запятой, что существенно снижает оперативность получения информации в ЧС.



3.3. Поражение кожи под одеждой

Алгоритм оценки теплового поражения кожи под одеждой отличается от аналогичного алгоритма для открытой кожи тем, что необходимо оценивать критическое количество тепловой энергии, поглощенной кожей или ее имитатором для каждого образца многочисленных пакетов материалов защитной одежды.

Возможны три подхода в решении данной проблемы:

- в экспериментальном подходе для каждого образца одежды для плотности теплового потока излучения, фиксируемого в аварийной ситуации, методом ТРР измеряется время, в течение которого возникает ожог II степени с заданной вероятностью; таким образом определяются теплозащитные свойства одежды и границы зон поражения;
- в теоретическом подходе необходима математическая модель, содержащая уравнения переноса массы, энергии, импульса для многослойной системы капиллярно-пористых материалов с воздушными зазорами, что является практически неразрешимой задачей;
- в расчетно-экспериментальном методе можно выделить основные механизмы теплопередачи от одежды к кожному покрову — конвекцией, теплопроводностью, излучением, массопереносом и количественно оценивать их опытным путем. Созданная таким образом база данных для типовых материалов одежды и их комплектации используется в дальнейшем для разработки расчетно-экспериментального метода оценки теплозащитных свойств материалов.

Выводы

1. Проведен анализ отечественных и зарубежных методов оценки теплового поражения людей в чрезвычайных ситуациях.

2. Разработана трехслойная математическая модель кожного покрова человека с различными теплофизическими и оптическими свойствами слоев для расчета температурного поля кожи при нагреве тепловым излучением.

3. Предлагается автоматизированный алгоритм прогнозирования зон теплового поражения человека методами ТРР и пробит-функций.

Список литературы

1. **Маршал В.** Основные опасности химических производств. — М.: Мир, 1989. — 671 с.
2. **Суржиков С. Т.** Полуэмпирическая модель динамики и излучения крупномасштабных огневых шаров, образующихся при авариях ракет // Теплофизика высоких температур. — 1977. — Т. 15. — № 6. — С. 932—939.
3. **Действие** ядерного оружия: Пер. с англ. — М.: Воениздат, 1963. — 674 с.
4. **Термические** и радиационные ожоги / Под ред. Л. И. Герасимовой, Г. И. Назаренко. — М.: Медицина, 2005. — 124 с.
5. **Stoll A. M., Greene L. C.** Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation // J. Appl. Physiol. — 1959. — Vol. 14. — P. 373.
6. **ASTM Standard D 4108**, Standard test method for thermal protective performance of material for clothing by open flame method. American society for testing and materials, Philadelphia, PA, 1994.
7. **Behnke W. P.** Predicting Flash Fire Protection of Clothing from Laboratory Test Using Second — degree Burn to Rate Performance // Fire and materials. — 1984. — Vol. 8. — P. 53—63.
8. **International Organization for standardization.** Clothing for protection against heat and flame — determination of heat transmission on exposure to both flame and radiant heat / ISO Standard 17492. Geneva, Switzerland, 2003.
9. **Eisenberg N. A., Lynch C. J., Breeding.** Vulnerability model: A simulation system for assessing damage resulting marine spills // U. S. Bureau of mines, RI 3867. — Feb. — 1946. — P. 167.
10. **Бессмертный Б. С.** Математическая статистика в клинической профилактической и экспериментальной медицине. — М.: Медицина, 1967. — 303 с.
11. **Henriques F. C., Moritz A. R.** Studies of thermal injury. I. The conduction of heat to and throw skin and the temperatures attained therein. A theoretical and experimental investigation // Am. J. Pathol. — 1947. — V. 23. — P. 531—549.
12. **Moritz A. R., Henriques F. C.** Study of thermal injury. II. The relative importance of time and source temperature in the causation of cutaneous burns // Am. J. Pathol. — 1947. — V. 23. — P. 695—720.
13. **Enalejev R. Sh., Kachalkin W. A.** Mathematical Simulation of Heat and Mass Transfer Process in Skin Cover at Burn Injury // Annals of the New York Academy of Science. — 1998. — Vol. 858. — P. 30—35.
14. **Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Хайруллин И. Р., Качалкин В. А.** Критерии опасности теплового поражения человека // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 8. — С. 40—43.
15. **Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С.** Теплопередача. — М.: Энергия, 1975. — 486 с.
16. **Hardy J. D., Stoll A. M.** // J. Appl. Physiol. — 1954. — V. 7. — P. 210—211.
17. **Григорьев Б. А.** Импульсный нагрев излучениями. Т. I. Характеристики импульсного облучения и лучистого нагрева. — М.: Наука, 1974. — 319 с.
18. **Stoll M. A., Chianta A. M.** Method and Rating System for Evolution of Thermal Protection // Aerospace Medicine, November, 1969.
19. **Столл А.** Теплообмен в биотехнике // Успехи теплопередачи. Пер. с англ. — М.: Мир, 1970. — 358 с.
20. **Abeles F. J.** Project Fires, volume 2: Protective Ensemble Performance Standards, Phase 1B, NASA-George C. Marshall Space Flight Center, Alabama. — May, 1980.
21. **Qian Fend, Hu Zhano-yan, Zhu Zhen-kang.** The Establishment of the Mathematical Model of the 2nd Degree Burn Injury of Human Tissues and its Application // Proceedings of the 2005 IEEF Engineering in Medical and Biology 27th Annual Conference. Shanghai, China, 2005. — P. 2918—2921.
22. **ГОСТ Р 12.3.047—98.** Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
23. **Шебеко Ю. Н., Гордиенко Д. М., Дешевых Ю. И.** и др. Экспресс-метод определения условной вероятности поражения человека тепловым излучением при пожарах на наружных технологических установках // Пожарная безопасность. — 2006. — № 5. — С. 73—76.



УДК 628.747

В. М. Макаров, канд. пед. наук,
Муниципальное учреждение "Городская служба спасения" г. Тулы
e-mail: rmatzn@scoter.tulatelecom.ru

Обеспечение безопасности людей, находящихся на верхних этажах зданий в чрезвычайных ситуациях

Безопасность людей, находящихся на верхних этажах зданий в чрезвычайных ситуациях, является актуальной проблемой современности. Исследования этого вопроса достигли серьезного прогресса. Вместе с тем количество жертв при эвакуации огромно. Недостаточно изучается вопрос применения альпинистских технологий.

Ключевые слова: комплексное влияние высоты, альпинистские технологии, самоспасатели, средства массовой эвакуации людей.

Makarov V. M. Provision of security of people who are on high floors of buildings during emergency situations

Security of people, who are on high floors of buildings during emergency situations is very burning now days. Great results were achieved in scientific researches of this problem. But at the same time the number of victims is enormous during an evacuation. The problem of mountaineering equipment has not been analyzed yet.

Keywords: complex influence of height, mountaineering technologies, self-rescue teams, means of mass evacuation of people.

Проблема эвакуации людей с верхних этажей зданий остается достаточно актуальной. Оказавшись по разным причинам заблокированными, даже опытные, подготовленные люди не могут найти выхода из сложившейся ситуации. Примеров таких ситуаций много — это обрушения, взрывы, землетрясения, пожары и т. д. Особое место здесь занимают пожары, особенно в жилом секторе. Так, по данным работы [1] в современных условиях реформирования жилищно-коммунального хозяйства, когда жилищная сфера деятельности уходит из сферы государственного контроля в частный бизнес, особо остро стоит вопрос обеспечения безопасности жизнедеятельности человека. Наиболее тревожной проблемой в этом аспекте является пожарная безопасность, так как "3/4 всех пожаров, зарегистрированных в России, происходит в жилом секторе. При этих пожарах погибают около 90 % всех жертв пожаров" [5]. Свой значимый вклад в эту печальную статистику вносит комплексное

влияние высоты. Поэтому актуальным является необходимость исследования причин и поиск путей решения данной проблемы. Один из таких путей — применение альпинистских технологий.

Специальные профессиональные службы не могут, порой, оказать быструю необходимую помощь. Иногда они не имеют возможности подъехать к месту чрезвычайного происшествия (ЧС) из-за того, что вся территория вокруг ЧС заставлена машинами. И это не исключение, а правило. Иногда не могут применить имеющееся обычное оснащение из-за сложного вертикального рельефа или нагромождения конструкций и наконец, не могут эффективно работать выше 20-го этажа из-за того, что нет высотных эвакуационных средств или они недоступны, как во многих городах России. Вот тогда выходом из сложившейся ситуации является применение альпинистских технологий. Разработки снаряжения в этой области, многолетний опыт безопасного практического применения и отработанные методики, заимствованные из спорта, дают право на полноправное существование данного метода обеспечения безопасности на высоте [4].

Учения, проведенные в ноябре 2008 г. в г. Туле на 22-х этажном здании, показали, что использование альпинистских технологий дает надежную гарантию успешного проведения эвакуации людей, практически с любой высоты. С момента пристегивания к спусковой веревке до отстегивания, пострадавший находится на страховке, практически в безопасности. Причем такая эвакуация может проходить как в режиме самоспасения, так и с использованием спасательных подразделений.

Для самоспасения выпускается достаточное количество средств эвакуации с высот: "Самоспасатель 7", "Самоспасатель 11", "Самоспасатель Школа", "Самоспасатель "Барс" и т. д. На наш взгляд, наиболее удачный самоспасатель "Барс", на котором самоспасение проходит в автоматическом режиме. За годы работы муниципального учреждения "Городская служба спасения" г. Тулы, которому в этом году 10 лет, работникам службы пришлось апробировать эти изделия, поскольку из 1500...1600 выездов за год более трети занимают выезды с применением альпинистского снаряжения. Практика



показала две болевые точки этих устройств. Первая — это отсутствие надежных точек закрепления на высоте. Эта проблема была подробно описана в газете "Спасатель" № 2 от 11—20 января 2006 г. Вторая — психологический барьер, который необходимо преодолевать человеку при выходе на вертикаль до нагрузки веревки [3]. (К сожалению, приходилось наблюдать как на презентации само-спасателя "Барс" девушка, представляющая изделие, так и не смогла выйти за обрез окна). Здесь определяющую роль играет комплексное влияние высоты. При ЧС в результате аффекта нарушается контроль над действиями, человек утрачивает самообладание, происходят значительные изменения сознания личности. Возбуждение, нарастающее в подкорковых узлах, ведет к дезорганизации мышления. Человека захватывают отрицательные эмоции: страх, отчаяние, после чего он утрачивает контроль над собой, не осознавая свои действия [2]. Поэтому необходимо максимально облегчить преодоление такого психологического барьера.

Эвакуация людей с верхних этажей зданий с использованием спасательных подразделений, конечно, более эффективна. Спасательные подразделения обеспечены достаточным количеством средств массовой эвакуации людей с высоты: "Комплект спасательный групповой КСГ-1", "СЛИП эвакуатор Качели" и т. д. Эти изделия зарекомендовали себя самым положительным образом. Но одна из главных проблем, присущая и первой группе устройств, остается — это отсутствие надежных точек закрепления на высоте.

Предстояло решить задачу создания переносного, быстросъемного устройства, которое позволит крепить его по месту ЧС или вблизи его, где находятся спасаемые люди, и ускорить их эвакуацию. При этом нагрузки на устройство должны быть, в основном, по вертикали, точка крепления спусковых устройств должна быть удобной и приподнятой над плоскостью выхода и, наконец, устройство должно иметь нечто вроде лесенки, привычной для спасаемых и дающей возможность опереться на нее до нагрузки спусковой веревки, что дает возможность преодолеть психологический барьер. И такое устройство было создано и названо "Опора" (рис. 1 — см. 2-ю стр. обложки). Устройство "Опора" защищено патентом № 2337735.

Начиная с 2005 г., устройство "Опора" с успехом применяется городской службой спасения г. Тулы для организации спусков. За эти годы проводились учебные эвакуации учащихся школ г. Тулы №№ 61 (рис. 2, 3 — см. 2-ю стр. обложки), 55, 54, 19, 34, 17,

областного детского дома, Тульского государственного педагогического университета им. Л. Н. Толстого, больницы им. Ванькина, военного госпиталя, офиса банка России, высотного здания (22-й этаж) и т. д.

Устройство закреплялось как в проеме окон (см. рис. 2), так и на крыше зданий (рис. 4 — см. 2-ю стр. обложки). При этом использовались как различные комбинации спусковых устройств, закрепляемых на "Опоре", так и само устройство в качестве спускового.

Положительные результаты испытаний дают повод надеяться, что такими простыми, дешевыми и надежными устройствами будут оснащены аварийно-спасательные формирования, верхние этажи подъездов жилых домов и просто квартиры жителей "высоток", решивших для себя обеспечить эвакуацию в самых непредвиденных ситуациях.

Для использования в условиях высоких температур создано специальное универсальное спусковое устройство, дающее возможность работать как на веревках, так и на тросах. Оно может работать как совместно с "Опорой", так и с использованием других точек закрепления. В устройстве удалось частично разделить функции торможения, основной опоры и изменения направления движения для организации непрерывной эвакуации людей. Подана заявка на изобретение.

В заключение следует сказать, что устройство "Опора" имеет еще ряд прикладных назначений, касающихся физической и психологической подготовки спортсменов и спасателей. Однако основным направлением использования изделия, безусловно, является эвакуация людей с верхних этажей зданий, где нет подъездов к месту ЧС техники, где нет возможности применения средств спасения из-за больших высот, где можно вести эвакуацию людей в режиме "самоспасения" до прибытия спасателей. Не исключается возможность работы устройства "Опора" в комплексе с другими спусковыми устройствами.

Список литературы

1. **Иконникова М. В.** Психологическая сторона проблемы безопасности человека во время пожара в жилом секторе // Безопасность жизнедеятельности. 2008. — № 10. — С. 39—40.
2. **Леонтьев А. Н.** Потребности, мотивы, эмоции. — М., 1971.
3. **Макаров В. М., Стулов В. В.** Применение индивидуальных и групповых спусковых устройств и средств доставки веревки: учебное пособие. — Тула: ТАИИ, 2008. — 60 с.
4. **Макаров В. М., Аксенов В. П., Шербакова В. А.** Снаряжение для спортивно-оздоровительного туризма. — Тула: ПФ Селена, 2007. — 268 с.
5. **Пожары в России и в мире.** Статистика, анализ, прогнозы / Под ред. Н. Н. Брушлинского. — М.: Академия ГПС, 2002.



УДК 656.225.073.436:662.68

В. Г. Попов, д-р техн. наук, проф., **С. В. Петров**, асп.,
Московский государственный университет путей сообщения
e-mail: petrov.miit@gmail.com)

Метод оценки аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам

Сформулированы задачи управления безопасностью при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом. Приведена иерархическая структура отказов на железнодорожном транспорте. Предложены формулы для расчета рисков, оценки материальных потерь и эколого-экономического ущерба. Дан пример оценки рисков при перевозке нефтепродуктов по конкретному маршруту.

Ключевые слова: окружающая среда, нефть, нефтепродукты, риск, ущерб, эколого-экономическая оценка риска.

Popov V. G., Petrov S. V. Method of the estimation of emergency risk by transportation oil and mineral oil on railways

Problems of management by safety by transportation mineral oil by rail are formulated. The hierarchical structure of refusals on railway transportation is resulted. Formulas for calculation of risks, estimations of material losses and ecological and economic damage are offered. The example of estimation of risks by transportation mineral oil on a concrete route is set.

Keywords: the environment, oil, mineral oil, risk, damage, ecological and economic estimation of risk.

Основную долю в структуре опасных грузов, транспортируемых по железным дорогам, занимают нефтеналивные грузы (сырая нефть, дизельное топливо и мазут и т. д.). Доля нефтепродуктов в общем объеме грузов, перевозимых железнодорожным транспортом, составляет около 20 % (порядка 300 млн т), причем ежегодно, только на экспорт перевозится более 40 млн т нефти. По данным Межведомственной комиссии по экологической безопасности России, около 30 % аварийных происшествий на железнодорожном транспорте связано с разливами нефтепродуктов [1].

Так в мае 1996 г. на станции Мыслец Горьковской железной дороги произошло крушение грузового поезда с опрокидыванием 23 вагонов-цистерн, разливом фенола и дизельного топлива с возгоранием последнего. Более 100 человек получили отравление средней и легкой степени тяжести, были

загрязнены почва, грунтовые воды и водоемы на значительной территории, причинен очень большой материальный ущерб в основном за счет проведения природоохранных мероприятий [1].

В июне 2005 г. на перегоне Зубцов—Аристово Октябрьской железной дороги в результате крушения грузового поезда сошли с рельсов 26 вагонов-цистерн с мазутом. При этом на грунт вылилось более 780 т мазута, значительная часть которого попала в реки Гостижа и Вазуза, и одновременно возникла угроза загрязнением мазутом водохранилищ, из которых питьевая вода забирается для Москвы [1].

Перевозки нефти и нефтепродуктов по железным дорогам сопряжены с опасностью возникновения аварийных происшествий, последствиями которых могут быть проливы различного масштаба, а при неблагоприятных стечениях обстоятельств — пожары и взрывы, приводящие к значительным материальным потерям, загрязнению местности и поражению токсичными веществами значительного количества людей.

Проблема обеспечения безопасной среды обитания при возникновении чрезвычайных ситуаций при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам распадается на две разноуровневые задачи.

Задача высшего уровня связана с управлением безопасностью движения на железнодорожном транспорте в целом, она должна обеспечивать анализ принятых и прогноз принимаемых управленческих решений в сфере безопасности и их влияния на безопасность движения на основе некоторой общей количественной оценки уровня безопасности движения [2].

Задача более низкого уровня связана с анализом, оценкой и управлением аварийными рисками при движении поездов с нефтепродуктами по конкретному маршруту. Решение этой задачи, с одной стороны, позволит разрабатывать организационно-технические мероприятия по предупреждению и уменьшению последствий чрезвычайных ситуаций при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам с целью сохранения безопасной среды обитания, с другой стороны, даст возможность грузоперевозчикам, страхователям и страховщи-



кам грузов оценивать и предвидеть возможные убытки от аварийных происшествий [3].

Задача, связанная с оценкой аварийного риска при движении поезда по конкретному маршруту, определяется бифуркационной природой крушений, аварий, сходов или столкновений грузовых поездов и требует использования апостериорного статистического анализа для количественной оценки вероятности их возникновения [4].

Будем рассматривать все опасные состояния (отказы объектов) социотехнической системы железнодорожного транспорта (СТСЖДТ) за несколько лет работы, которые приводят к сходам и столкновениям грузовых поездов с другими грузовыми или пассажирскими поездами и имеют последствия крушения, аварии, сходы (столкновения) поездов без последствий крушения и аварии — особого брака в работе.

К *крушениям* поездов относят [5] столкновения пассажирских и грузовых поездов с другими поездами в результате которых: погибли или получили тяжкие телесные повреждения люди; поврежден подвижной состав до степени исключения из инвентаря.

К *авариям* относят [5] столкновения пассажирских и грузовых поездов с другими поездами, в результате которых поврежден подвижной состав в объемах текущего, деповского или капитального ремонтов.

К *особым случаям брака в работе* относят [5] столкновения пассажирских и грузовых поездов

с другими поездами, не имеющие последствий, указанных в определениях крушений и аварий.

Анализ вероятности возникновения аварийных происшествий при перевозке нефти и нефтепродуктов по железным дорогам осуществлялся за период с 1996 по 2008 гг. на основании данных Департамента безопасности движения ОАО "РЖД".

При разработке методической части оценки риска для грузовых поездов принимались во внимание перечисленные ниже положения [3]:

1. Аварийные происшествия проявляются в виде двух групп последовательных событий A_j^l и B_i .

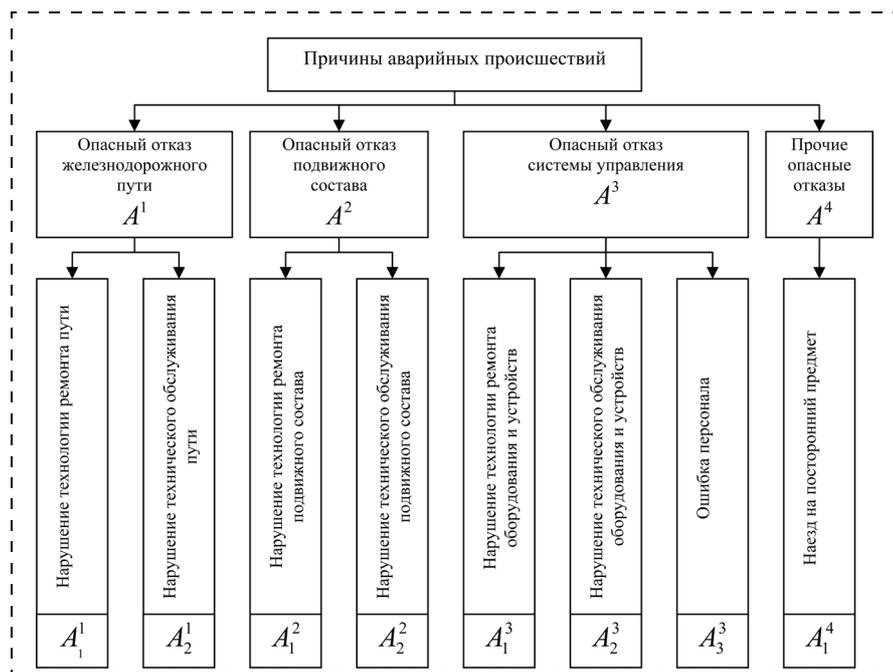
2. Группа первоначальных событий A_j^l представляет собой опасные отказы j -го вида ($j = 1, 2, \dots, J$) l -го класса ($l = 1, 2, \dots, L$) отказов объектов СТСЖДТ, являющихся причиной сходов (столкновений) грузового поезда при поездной работе (см. рисунок). События A_j^l представляют собой полную группу несовместных событий. Другими словами, только одно событие A_j^l может служить причиной схода (столкновения) поезда при поездной работе.

3. Вторая группа событий B_i представляет собой события, одно из которых возникает с определенной вероятностью после наступления события A_j^l и проявляется как сход (столкновение) грузового поезда при поездной работе с i -м видом последствий (B_1 — крушение; B_2 — авария; B_3 — особый брак в работе).

Определим общесетевое количество аварийных происшествий при поездной работе грузовых поездов с нефтью и нефтепродуктами с i -м видом последствий из-за j -го вида опасного отказа l -го класса объектов СТСЖДТ (число событий $B_i|A_j^l$) за анализируемый период K (K — число анализируемых лет):

$$N_{B_i|A_j^l} = \sum_{k=1}^K N_k^{B_i|A_j^l},$$

где $N_k^{B_i|A_j^l}$ — количество аварийных происшествий при поездной работе грузовых поездов с нефтью и нефтепродуктами с i -м ви-



Иерархия отказов социотехнической системы железнодорожного транспорта



дом последствий из-за j -го вида опасного отказа l -го класса за k -й год.

Тогда вероятность появления события A_j^l ($j = 1, 2, \dots, N$), ($l = 1, 2, \dots, L$) из полной группы несовместных событий

$$P(A_j^l) = \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l} / \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^3 N_{B_i|A_j^l}.$$

Определим общесетевое среднее время поездки грузового поезда с нефтью и нефтепродуктами за анализируемый период:

$$\bar{T} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \frac{D_k}{Q_k \bar{V}_{\text{уч},k}},$$

где D_k — поездо-километры в грузовом движении за год, поездо · км/год; Q_k — число отправленных грузовых поездов за год, единицы/год; $\bar{V}_{\text{уч},k}$ — общесетевая средняя участковая скорость грузового поезда за год, км/ч.

Число событий $B_i|A_j^l$, приходящихся на один грузовой поезд, определим по формуле:

$$Z(B_i|A_j^l) = \frac{N_{B_i|A_j^l}}{\sum_{k=1}^K Q_k}.$$

Тогда общесетевая интенсивность возникновения событий $B_i|A_j^l$, приходящихся на один час поездки поезда, определяется по формуле [3]:

$$\lambda_{B_i|A_j^l} = \frac{Z(B_i|A_j^l)}{\bar{T}}.$$

Для некоторых событий $B_i|A_j^l$, которые не произошли за весь срок испытаний, приходится использовать точечные оценки $\lambda_{B_i|A_j^l}$ в соответствии с рекомендациями МЭК [6].

В данном расчете

$$\lambda_{B_i|A_j^l} = \frac{1}{3\bar{T} \sum_{k=1}^K Q_k}.$$

Исходя из предположения, что вероятность того, что за время $t \leq T$ (t — момент времени при движении по маршруту; T — время движения по всему маршруту) движения поезда про сети железных дорог

не произойдет событие $B_i|A_j^l$, не зависит от предыстории функционирования железнодорожного транспорта, можно получить следующие формулы для расчета общесетевого аварийного риска возникновения событий $B_i|A_j^l$, B_i ($B_i = \bigcup_{j=1}^J B_i|A_j^l$) и B

($B = \bigcup_{i=1}^3 B_i$) за время $t \leq T$ движения грузового поезда:

$$R(B_i|A_j^l) = 1 - \exp(-\lambda_{B_i|A_j^l} T);$$

$$R(B_i) = \sum_{j=1}^J P(A_j^l) R(B_i|A_j^l);$$

$$R(B) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^J P(A_j^l) R(B_i|A_j^l).$$

Вероятности $P(A_j^l)$ являются "субъективными", априорными вероятностями, так как причина сходов (столкновений) поездов A_j^l устанавливается путем экспертных оценок в ходе служебного расследования обстоятельств аварийного происшествия с поездом.

Поэтому группу событий A_j^l можно рассматривать как группу "гипотез", которые порождают события B_i . Применяя теорию Байеса, на основании теоремы умножения вероятностей можно получить вероятности

$$P(A_j^l|B_i) = \frac{P(A_j^l)P(B_i|A_j^l)}{\sum_{j=1}^J \sum_{l=1}^L P(A_j^l)P(B_i|A_j^l)},$$

которые можно интерпретировать как апостериорные (с учетом результатов натурального эксперимента) вероятности того, что события A_j^l порождают именно события B_i . Найдя максимум вероятности $A_j^l|B_i$, можно установить, какие события A_j^l с максимальной вероятностью приводят к событиям B_i .

Уровни безопасности движения на различных железных дорогах сильно отличаются. Очевидно, что и оценка аварийного риска при движении по определенной железной дороге должна зависеть от состояния безопасности именно на этой дороге.



Для оценки интенсивностей возникновения событий $B_i|A_j^l$, приходящихся на один час поездки поезда по m -й железной дороге, воспользуемся соотношением:

$$\lambda_{B_i|A_j^l}^m = \mu_m \lambda_{B_i|A_j^l},$$

где μ_m — нормируемый интегральный показатель безопасности движения по m -й железной дороге, определяемый по формуле

$$\mu_m = \frac{M \bar{g}_m}{\sum_{m=1} \bar{g}_m},$$

где \bar{g}_m — среднее значение интегрального показателя безопасности движения для m -й железной дороги за анализируемый период:

$$\bar{g}_m = \frac{n_m^k}{q_m^k},$$

где n_m^k — количество аварийных случаев на m -й железной дороге за k лет; q_m^k — объем работы на m -й железной дороге за k лет, млрд т · км брутто; M — количество железных дорог-филиалов ОАО "РЖД".

Тогда аварийный риск возникновения событий $B_i|A_j^l$, B_i и B при движении грузового поезда по конкретному маршруту (по участкам железных дорог m_1, m_2, \dots, m_L за время $t \leq T_{m_1} + T_{m_2} + \dots + T_{m_L}$, где m_l — некоторые числа интервала от 1 до M) можно рассчитать по формулам:

$$R_M(B_i|A_j^l) = 1 - \exp\left(-\sum_{m_l} \lambda_{B_i|A_j^l}^{m_l} T_{m_l}\right);$$

$$R_M(B_i) = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J R_M(B_i|A_j^l);$$

$$R_M(B) = \sum_{i=1}^3 R_M(B_i).$$

Совокупную экономическую оценку материальных потерь от последствий аварийного риска при

движении поезда с нефтепродуктами по определенному маршруту можно сделать по формуле:

$$R_M^3(B) = \sum_{i=1}^3 R_M(B_i) Y(B_i),$$

где $Y(B_i)$ — средняя величина материального ущерба от наступления событий B_i , руб.

Размер материального ущерба определяется стоимостью утраченного груза, поврежденного железнодорожного пути и подвижного состава, перерывом в графике движения поездов.

Практическая невозможность прогнозных оценок ущербов от возникновения событий B_i и B при движении грузового поезда заставляет также обращаться к использованию консервативных допущений и статистических данных по определению средней величины ущерба. Используя метод дисконтирования [7] и данные работы [8], можно записать:

$$Y(B_i) = Y_0(B_i)(1 + r)^n,$$

где $Y_0(B_i)$ — средняя величина ущерба в ценах 2000 г. (крушение — $2 \cdot 10^3$ тыс. руб., авария — $5 \cdot 10^2$ тыс. руб., особый случай брака в работе — 7 тыс. руб.) [8]; r — норма дисконтирования ($r = 0,1 \dots 0,12$); $n = \Gamma - 2000$ лет, здесь Γ — год анализа риска.

Особую проблему представляет собой оценка $Y(B_i)$ — средней величины экологического ущерба от наступления событий B_i при перевозке нефти и нефтепродуктов из-за непредсказуемых масштабов экологических последствий, обусловленных различными сценариями развития аварийных происшествий.

Апостериорный анализ сценариев развития аварийных происшествий с грузовыми поездами, перевозящими нефть и нефтепродукты, после их схода или столкновения, показывает, что можно выделить, как минимум, три возможных сценария [4]:

1 — разгерметизация котла вагона-цистерны, утечка и пролив нефти и нефтепродукта на грунт и в водные объекты;

2 — разгерметизация котла вагона-цистерны, утечка нефти и нефтепродукта с его воспламенением;

3 — без разгерметизации котла вагона-цистерны.

Тогда оценку экологического риска возникновения события B_i при перевозке нефти и нефтепродуктов по заданному маршруту можно определить по формуле:

$$R_{\text{эк}}(B_i) = R_M(B_i) \sum_{n=1}^3 P_n(B_i) Y_n(B_i),$$

Аварийный риск при перевозке нефти и мазута по заданному маршруту (1/поезд)

$R_M(B_1)$	$R_M(B_2)$	$R_M(B_3)$	$R_M(B)$
$4,7423 \cdot 10^{-5}$	$2,7099 \cdot 10^{-5}$	$1,2398 \cdot 10^{-4}$	$1,985 \cdot 10^{-4}$

где $P_n(B_i)$ — вероятность реализации n -го ($n = 1, 2, 3$) сценария развития аварийного происшествия, квалифицируемого как событие B_i , для грузовых поездов, перевозящих нефть и нефтепродукты; $Y_n(B_i)$ — экологический ущерб от реализации n -го сценария аварийного происшествия.

Для расчета $Y_n(B_i)$ с использованием известных методик [9, 10] принимались консервативные допущения, обеспечивающие максимальную оценку возможных ущербов. Вероятность попадания нефти или нефтепродуктов на грунт или в водоем определялась в зависимости от массы, площади возможного загрязнения, расстояния от места возможного аварийного происшествия до водоема, относительной протяженности водоемов вдоль маршрута следования поезда.

В качестве примера, в таблице представлена оценка аварийного риска при перевозке 1500 т нефти и 1500 т мазута по маршруту — ст. Татьяна Приволжской ж. д. (Волгоградский нефтеперерабатывающий завод) — ст. Грушевая Северо-Кавказской ж. д. (нефтебаза АО "Черномортранснефть"), протяженностью 1001 км.

Интерпретировать аварийный риск $R_M(B)$ можно так — при регулярных перевозках каждый пяти тысячный грузовой поезд попадет в аварийное происшествие с любыми возможными последствиями B_i .

Установлено, что совокупная экономическая оценка риска материальных потерь от аварийных происшествий при перевозке нефти и нефтепродуктов по данному маршруту $R_M^э(B)$ на 2008 г. составляет примерно 350 руб./поезд. Оценка же риска экологических потерь от последствий аварийных происшествий при перевозке нефти и нефтепродуктов по данному маршруту по величине на порядок больше, вследствие большого объема перевозимых нефтепродуктов, консервативности принятых допущений и экологической уязвимости района расположения маршрута.

Разработанные методы экономической и экологической оценок риска аварийных происшествий при перевозке нефти и нефтепродуктов по опре-

деленному маршруту на железнодорожном транспорте с концептуальной точки зрения являются завершенными. В то же время имеются значительные возможности по их дальнейшему совершенствованию при условии накопления соответствующего статистического материала.

Все эти методы могут служить основой для оценки нетто-премии при страховании ответственности грузоперевозчиков, экспедиторов и других участников перевозочного процесса, а также для выработки управленческих решений, направленных на снижение аварийного риска при перевозке нефти и нефтепродуктов на железнодорожном транспорте, обеспечения безопасной среды обитания.

Список литературы

1. Соколов Ю. И. Вопросы безопасности транспортировки опасных грузов // Проблемы анализа риска. — 2009. — Т. 6. — № 1.
2. Попов В. Г., Сухов Ф. И. Индекс прогноз и индекс отклик // Мир транспорта. — 2007. — № 3.
3. Попов В. Г. Метод оценки уровня безопасности движения и аварийного риска при перевозке грузов по железным дорогам // Труды НПК "Государственный подход к обеспечению безопасности перевозок и страхованию рисков на железных дорогах с применением логистических технологий". — М., 2008.
4. Попов В. Г., Петров С. В. К вопросу оценки аварийного риска при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте // Труды VI НПК "Безопасность движения поездов". — М., 2005.
5. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов: Учебное пособие для вузов. — М.: ВИНТИ РАН, 1999.
6. Стандарт МЭК. Испытания аппаратуры на надежность. Часть 4. Методы определительных точечных оценок и доверительных границ по результатам определительных испытаний аппаратуры на надежность. Публикация 605-4. — 1-е изд. — М., 1986.
7. Легасов В. А., Демин В. Ф., Шевелев Я. В. Дисконтирование и компромисс между поколениями // Проблемы анализа риска. — 2005. — Т. 2. — № 2.
8. Красковский А. Е. Экономические механизмы управления безопасностью движения // Железнодорожный транспорт. — 2002. — № 5.
9. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах: Серия 27. Выпуск 1 / Колл. авт. — М.: Госгортехнадзор России. 2000. — 96 с.
10. Приказ Госкомэкологии РФ от 05.03.1997 № 90 "Об утверждении методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу" // Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов. — М., 1997.
11. Расчет выброса вредных веществ в атмосферу при свободном горении нефти и нефтепродуктов: Методика. — Самара: Самарский областной комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ, 1996.

Г. П. Павлихин, д-р техн. наук, проф., В. С. Ванаев, канд. техн. наук, доц.,
А. Ф. Козьяков, канд. техн. наук, проф.,
МГТУ им. Н. Э. Баумана
e-mail: E9@mx.bmstu.ru

История кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана в период 1959—1967 годы. Гладких Петр Андреевич (1906—1980)

Продолжение публикаций "Безопасность жизнедеятельности", № 10, 2008 и № 3, 5, 2009 по истории кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приведены сведения о Гладких П. А., ставшим четвертым заведующим кафедрой "Техника безопасности" МВТУ им. Н. Э. Баумана после Синева П. И., Скороходова Н. И. и Кушвида П. Г., а также информация о функционировании кафедры в период с 1959 по 1967 год.

Ключевые слова: техника безопасности, кафедра, жизнедеятельность, экология, промышленная безопасность, охрана труда, безопасность труда.

Pavlihin G. P., Vanaev V. S., Kozjakov A. F.
The history of chair "Ecology and Industrial safety" MSTU of name N. E. Bauman (1959—1967). Gladkikh Peter Andreevich (1906—1980).

There are the continuations of the articles from "Safety of activity", N 10, 2008 and N 3, 5 2009 about the chair's history "Ecology and Industrial safety" MSTU of name N. E. Bauman. Information about Gladkikh P. A. as fourth chair's manager "Safety (laws)" MSTU of name N. E. Bauman after Sinev P. I., Skorokhodov N. I. and Kushvid P. G. and too information about functioning of the chair in period with 1959 to 1967 year is given.

Keywords: safety (laws), chair, activity, ecology, industrial safety, protection of labour, occupational safety.

Гладких Петр Андреевич [1—3] был зачислен на должность заведующего кафедрой "Техника безопасности" 1 июля 1959 года как избранный по конкурсу. Он занимал это место по 12 октября 1966 года, до ухода на пенсию.

Краткие биографические данные

П. А. Гладких родился 5 мая 1906 года в селе Крутой Лог Шебекинского района Белгородской области [4]. Родители происходили из крестьян. В 1922 году он окончил Трудовую школу в г. Белгороде, а в 1924 г. Харьковскую профшколу.



Гладких Петр Андреевич (1906—1980)

С 1924 по 1927 год Гладких П. А. работал техником на Харьковской сельскохозяйственной опытной станции. С 1927 по 1929 год учился в Воронежском лесном институте. В 1929 году переведен на второй курс автомобильного факультета Московского Института Инженеров Транспорта НКПС, преобразованный в декабре 1930 года в автомобильно-дорожный институт, который он окончил в 1932 году по дорожно-строительной специальности.

С мая 1932 года по ноябрь 1933 года он работал в одном из районов Колымского края, в системе Дальстрой — ОГПУ в качестве начальника изыскательской партии. В ноябре 1933 года был мобилизован на срочную военную службу в Тихоокеанский военно-морской флот, где служил краснофлотцем и одновременно выполнял инженерные работы по авиационному строительству. После демобилизации был направлен в полярную авиацию Главсевморпути и работал в Обской авиагруппе в качестве старшего инженера с 1935 по 1937 год.

С 1937 по 1939 год П. А. Гладких работал старшим инженером в Ленинградском авиационном институте, где одновременно слушал курс специальных дисциплин. С 1939 по 1941 год преподавал механику в строительном техникуме в г. Махачкала. В марте 1941 года мобилизован в систему МВД СССР, где работал по март 1945 года в качестве главного инженера ряда авиационных объектов. В 1945 году переведен на строительство газопровода Саратов—Москва, по окончании строительства которого направлен в качестве главного инженера строительства Одесского нефтеперерабатывающего завода. В феврале 1948 года П. А. Гладких направлен в Москву во ВНИИСтройнефть, где работал в должности старшего научного сотрудника по август 1955 года.

За свою трудовую деятельность Петр Андреевич был награжден двумя орденами "Знак почета": в 1942 году за строительство объектов МВД и в 1948 году за строительство газопровода "Саратов—Москва", а также двумя медалями "За трудовую доблесть" и "За оборону Москвы".

В 1949 году он был командирован в Академию нефтяной промышленности. Выписка из Положения об Академии нефтяной промышленности, утвержденного на основании Постановления Совета Министров СССР № 3448 от 13 августа 1950 года Министерством нефтяной промышленности (21.IX.1950) и Министерством высшего образования (27.IX.1950), гласит: "Слушатели, выполнившие учебный план по всем предметам и защитив-

шие аттестационную работу в Государственной Экзаменационной Комиссии и сдавшие экзамен по одному из иностранных языков в объеме программы кандидатских испытаний, получают право защиты диссертаций по специальности без сдачи кандидатских минимумов". По окончании Академии в 1952 году П. А. Гладких вернулся во ВНИИСтройнефть, где занимался главным образом исследованием колебаний на компрессорных и насосных установках предприятий нефтяной и химической промышленности. В том же году он защитил диссертацию на тему "Вибрации трубопроводов на компрессорных станциях" [5]. Решением Совета Московского ордена Трудового Красного Знамени нефтяного института им. акад. И. М. Губкина от 1 июля 1952 года (протокол № 15) Гладких Петру Андреевичу была присуждена ученая степень кандидата технических наук. После этого Решением Высшей Аттестационной Комиссии от 24 декабря 1955 года (протокол № 27) он был утвержден в ученом звании старшего научного сотрудника по специальности "Строительство предприятий нефтяной промышленности". В апреле 1955 года П. А. Гладких был избран по конкурсу доцентом кафедры "Техника безопасности" Московского химико-технологического института имени Д. И. Менделеева, где проработал до 1959 года. Решением Высшей Аттестационной Комиссии от 13 октября 1956 года (протокол № 8/п) Гладких Петр Андреевич был утвержден в ученом звании доцента по кафедре "Техника безопасности" (курс строительного дела).

Авторы данной статьи обнаружили в Российской государственной библиотеке пять монографических публикаций П. А. Гладких за период с 1955 по 1959 год по профилю его работы.

1. Исследование влияния буферных емкостей на вибрации трубопроводов (на компрессорных станциях), 1955 [6].

2. Предупреждение и устранение вибраций на компрессорных станциях предприятий нефтяной промышленности, 1955 (1956 второе издание) [7, 8].

3. Влияние вибрации магистральных газопроводов на компрессорных станциях, 1957 [9].

4. Вибрация оборудования компрессорных станций, 1958 [10].

5. Вибрации в трубопроводах и методы их устранения, 1959 (совместно с С. А. Хачатурян) [11].

Кроме того, он принял участие в работе над "Справочником по транспорту газов" под редакцией К. С. Зарембо, изданного в 1954 году Гостоптехиздатом. Второе издание "Справочника по транспорту горючих газов" вышло в том же издательстве в 1962 году.



Работа на кафедре "Техника безопасности" МВТУ им. Баумана (01.07.1959—12.10.1966)

В 1959 году выходит приказ Главного Управления политехнических и машиностроительных высших учебных заведений Министерства высшего образования СССР № 304 от 11 июня 1959 года об утверждении кандидата технических наук, доцента ГЛАДКИХ Петра Андреевича заведующим кафедрой "Техника безопасности" Московского высшего технического училища им. Баумана как избранного по конкурсу. Выписка из соответствующего приказа № 841лс по Московскому ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени высшему техническому училищу имени Баумана от 26 июня 1959 г. гласит:

"ГЛАДКИХ Петра Андреевича 1906 года рождения, канд. техн. наук, доцента, с 1 июля 1959 года зачислить на должность зав. кафедрой техники безопасности ... как избранного по конкурсу, стаж педработы в ВУЗах свыше 10 лет.

Основание: Приказ Гл. Управ. политехн. и машиностр. ВУЗов № 304 от 11/VI-59 г."

Смена руководства на кафедре "Техника безопасности" в июле 1959 года проходила параллельно смене руководства Училища. В соответствии с приказом Министерства высшего и среднего специального образования СССР от 23 июня 1959 г. №№ 1-к и 2-к состоялась сдача и прием дел высшего технического училища им. Баумана бывшим директором училища доктором технических наук профессором Д. А. Прокошкиным вновь назначенному директору училища — доктору технических наук, профессору Л. П. Лазареву [12, 13]. Видимо, именно этой перестроечной ситуацией можно объяснить отсутствие отчета о работе кафедры за 1959/1960 учебный год. Произошли и структурные изменения в училище, коснувшиеся кафедры. Кафедра "Техника безопасности" под индексом АМ-12 была включена в структуру факультета "Автоматизации и механизации производства", в состав которого входили 13 кафедр, из которых 9 были профилирующие и 4 общеучилищные, в том числе и АМ-12 [14].

Судя по отчету [15], кафедра испытывала серьезные трудности с кадровым составом, который на 1960/1961 учебный год предусматривал всего пять человек: зав. кафедрой, два старших преподавателя и два ассистента. Фактически из общего числа сотрудников только трое были преподавателями и несли учебную нагрузку: доцент, кандидат технических наук Гладких П. А., преподаватели Сальков В. В. и Фадин В. С. Кроме того, в штате состояли:

зав. лабораторией Куликова К. С. и механик Кишонков А. К. Штатный состав мог выполнить только 75 % учебной нагрузки. Остальная нагрузка выполнялась приглашенными преподавателями по почасовой оплате.

Несмотря на нехватку педагогических кадров на кафедре в конце 1960 года впервые начинаются серьезные научно-исследовательские работы. Кафедра ведет хозяйственную тему по заданию Госкомитета по химии при Совете Министров СССР: "Рациональное проектирование обвязки нагнетательных установок с целью предупреждения колебаний и повышения КПД". Эта работа была включена в число важнейших тем МВТУ. Исследования проводились как в лабораторных, так и в натуральных условиях непосредственно в промышленности, например, на заводе п/я № 16 Горьковского экономического района. В результате исследований были разработаны и рекомендованы к внедрению гасители пульсаций давления для различных газов. Гасители были установлены на многих машинах компрессорных станций [16].

С 1 января 1961 года зав. кафедрой П. А. Гладких готовится к защите докторской диссертации на тему "Исследование и устранение пульсаций давления в газопроводах" [17] в Институте нефтехимической и газовой промышленности и 7 июня 1962 года успешно защищает ее. Решением Высшей Аттестационной Комиссии от 19 января 1963 г. (протокол № 2) Гладких Петру Андреевичу присуждена ученая степень доктора технических наук. А полгода спустя Решением Высшей Аттестационной Комиссии от 10 июля 1963 г. (протокол № 31/п) Гладких Петр Андреевич утвержден в ученном звании профессора по кафедре "Техника безопасности".

С 1961/1962 учебного года утвержденный и фактический штатный состав кафедры включал в себя уже семь человек: зав. кафедрой — 1, ст. преподаватель — 2, ассистент — 1, зав. лабораторией — 1, механик — 1, ст. препаратор — 1. Почасовой фонд выполнялся преподавателями из других организаций.

Деятельность сотрудников кафедры включала в себя:

- учебно-лекционную нагрузку;
- дипломное проектирование;
- участие в ГЭК (государственная экзаменационная комиссия);
- лабораторные занятия;
- научно-исследовательскую работу.

Учебная нагрузка и лекционное консультирование охватывало практически все факультеты: автома-

тизации и механизации (АМ), машиностроительный (М), приборостроительный (П), транспортный (Т), энергомашиностроения (Э), вечерний (Веч.).

Участие в ГЭК распространялось на факультеты АМ и Э.

К этому времени кафедра получила помещение в размере 35 м². Появилась возможность проводить полноценные лабораторные работы:

- 1) по светотехнике — измерение естественного и искусственного освещения и сравнение его с существующими нормами;
- 2) по вибрации — измерение параметров колебаний и сравнение их с существующими нормами;
- 3) по электробезопасности — реакция организма человека на действие различных токов и определение электрического сопротивления тела человека;
- 4) по электробезопасности — определение эффективности защитного действия заземления;
- 5) по шуму — определение уровней различных шумов и сопоставление их с допустимыми нормами.

Основное направление научной работы кафедры было "Устранение колебаний нагнетательных установок". Эти работы проводились как в теоретическом плане, так и в условиях промышленного производства. Результаты этих работ были внедрены на многих промышленных объектах в городах Дзержинске, Стерлитамаке, Саратове, Грозном, Ефремове и др. [18].

Руководителем научных тем был П. А. Гладких, исполнителями — В. С. Фадин, В. В. Сальков, Д. М. Крыгин, А. К. Кишонков. По результатам исследовательской и педагогической работы был опубликован ряд научных и методических материалов, среди которых две монографии [19, 20] (см. 3-ю стр. обложки).

В 1962 году на кафедре начала действовать аспирантура. Об этом важнейшем событии в научно-педагогической жизни кафедры так говорится в отчете [21]: "На кафедре впервые организована аспирантура, в настоящее время имеется один постоянный аспирант целевого назначения и один прикрепляется от института строительных и дорожных машин. В предстоящем учебном году намечено принятие двух новых аспирантов". Аспирантура станет "кузницей" по подготовке преподавательских кадров по технике безопасности.

Кафедра активно участвует в комиссии Министерства высшего и среднего специального образования по пересмотру программ по "Основам техники безопасности и противопожарной техники" для машиностроительных вузов. Были составлены конспекты лекций по программе, утвержденной

Учебно-методическим управлением по вузам Министерства высшего и среднего специального образования СССР 13 августа 1962 года.

За 1962/1963 учебный год [22, 23] кадровый состав кафедры несколько стабилизировался. Помимо штатных сотрудников: Фадина В. С., Барбинова Ф. А., Логунова В. М. и Лукиной К. В. прошли по конкурсу:

- 1) в должности профессора — зав. кафедрой Гладких П. А.;
- 2) в должности доцента — ст. преподаватель Сальков В. В.;
- 3) в должности ст. преподавателя — Петров Е. А.;
- 4) в должности ассистента — Крицкий В. И.;
- 5) в должности доцента — Дубинин М. М.;
- 6) в должности доцента — Туманов Б. В.

Два последних были представителями из промышленности.

Научно-педагогический курс кафедры оставался тем же. В связи с выделением площади для кафедры в 65 м² с сентября 1962 года было увеличено число лабораторных работ. К уже имеющимся прибавились лабораторные работы:

- 1) по метеорологическим условиям — определение относительной влажности и скорости движения воздуха;
- 2) определение вспышки паров керосина и масла прибором Мартенс—Пенского;
- 3) определение температуры вспышки газоздушных смесей;
- 4) определение уровня шумов различных технологических процессов;
- 5) изменение вибрации установки при различных режимах работы. Определение условий резонанса.

По рекомендации Министерства высшего и среднего специального образования на кафедре:

- 1) организован авторский коллектив для написания учебника "Основы техники безопасности и противопожарной техники" для машиностроительных и механических специальностей вузов;
- 2) составлены методические указания "Основы техники безопасности и противопожарной техники" для вечерних механических факультетов.

Учебные годы 1963/1964 [24, 25] и 1964/1965 [26, 27] характеризуются интенсивной учебно-педагогической и научно-исследовательской работой кафедры. Существенно увеличивается количество часов учебных и лабораторных занятий, дипломного консультирования, научно-исследовательских работ. Помимо уже существующего штатного состава в 1964 году в коллектив приходят Бекаревич А. М. и Варварин К. Я., а в 1965 году — Иванов Б. В.



В качестве научного направления, помимо "Устранения колебаний нагнетательных установок", кафедра начинает более широко заниматься вопросами разработки мероприятий по улучшению условий труда на различных промышленных предприятиях и борьбы с производственными шумами.

В 1964 году в аспирантуру кафедры "Техника безопасности" поступают Гужас Д. Р. и Козьяков А. Ф., последний из которых в настоящее время является профессором той же кафедры. В 1965 году аспиранткой кафедры стала Пышкина Э. П., которая сейчас тоже профессор кафедры. В это же время поступает в аспирантуру И. В. Ипатов. Руководителем всех аспирантов являлся профессор П. А. Гладких. Вновь поступившие аспиранты не только занимались диссертациями, но принимали самое активное участие в хозяйственной тематике кафедры.

Кафедра строит широкие и долговременные планы подготовки профессиональных кадров [28, 29, 30]. В 1965 году защищается первый аспирант кафедры Паньков Л. А. [30], который закончил работу над диссертацией на тему "Исследование условий закрепления заготовок при механической обработке" в 1964 году [31].

Сотрудники кафедры постоянно публикуют большое количество статей, методических материалов, учебников, монографий и др. Например, в 1966 году вышло учебное пособие, написанное коллективом авторов "Основы техники безопасности и противопожарной техники в машиностроении" под редакцией П. А. Гладких [32] (см. 3-ю стр. обложки), которое стало основным учебным пособием для машиностроительных вузов и факультетов, сменив учебник "Техника безопасности в машиностроении" П. И. Синева 1949 года выпуска.

В том же году вышла в свет монография П. А. Гладких "Борьба с вибрацией и шумом в машиностроении", которая явилась фактически первым пособием для машиностроительных вузов по шуму и вибрации [33].

Приказом Министерства высшего и среднего специального образования СССР № 273 от 20 сентября 1965 г. курс "Основы техники безопасности и противопожарной техники", изучаемый в высших учебных заведениях, был переименован в курс "Охрана труда". Этим же приказом определено и содержание нового курса, который должен был состоять из следующих разделов:

- основы законодательства по охране труда;
- основы техники безопасности;
- производственная санитария и гигиена труда в промышленности;

основы пожарной профилактики.

Требовалось новое учебное пособие по курсу "Охрана труда", работу над которым кафедра планировала закончить к 1 августа 1968 года [34, лист 5].

Как видно, жизнь на кафедре развивалась достаточно активно. И ни что не предвещало в разгар этой активной деятельности появления на имя ректора МВТУ им. Баумана Г. А. Николаева от зав. кафедрой АМ-12 Гладких Петра Андреевича заявления такого содержания: "Прошу освободить меня от работы в МВТУ им. Баумана с 10 октября 1966 года в связи с переходом на пенсию с выплатой компенсации за очередной отпуск (за 1965—1966 уч. год)". Последовал приказ:

ПРИКАЗ

по МВТУ им. Баумана

10 октября 1966 № 1862/пе

§ 1

ГЛАДКИХ П. А. — д. т. н. профессора зав. кафедрой АМ-12 с 12 октября 1966 г. освободить от занимаемой должности, в связи с уходом на пенсию.

Основание: л/з с рез. Проректора по учебной работе.

§ 2

За многолетнюю плодотворную работу в Училище ГЛАДКИХ П. А. объявляю БЛАГОДАРНОСТЬ.

РЕКТОР МВТУ

Г. НИКОЛАЕВ

Трудно сказать, что заставило проф. Гладких П. А. уйти из МВТУ в расцвете сил. Это исключительно личное дело.

Известно, что в дальнейшем Петр Андреевич переезжает в Ялту. Сразу начинает преподавать в Севастопольском приборостроительном институте. В 1971 году выходит его монография "Борьба с шумом и вибрацией в судостроении" [35] (см. 3-ю стр. обложки). В 1980 году П. А. Гладких умер. Его кончина нелепа и мистична. Человек, который практически всю сознательную жизнь преподавал технику безопасности, погиб в результате прикосновения к электронагревательному прибору, находясь в ванной. В учебнике под его редакцией [32] этому вопросу посвящена глава "Опасность поражения электрическим током и меры предупреждения электротравматизма". Произошла роковая случайность, *Reductio ad absurdum*¹.

¹ Лат. [*редукцио ад абсурдум*] доведенная до нелепости. Редукция [лат. *reducere* приводить обратно, возвращать; приводить в известное состояние]. Абсурд [лат. *absurdum*] — бессмыслица, нелепость.

Кафедра в период 10.12.1966—28.02.1967 "Техника безопасности" — "Охрана труда"

Уход Гладких П. А. из МВТУ 12 октября 1966 года стал неожиданностью и для кафедры, и для факультета, и для ректората. Многочисленному из того, что было намечено в планах кафедры и задумано сотрудниками, не суждено было реализоваться. Следующий зав. кафедрой Юдин Е. Я. был назначен приказом только с 1 марта 1967 года. В течение четырех с половиной месяцев после ухода П. А. Гладких исполнял обязанности заведующего кафедрой **Иванов Борис Владимирович**. Мы располагаем о нем очень незначительной информацией. По некоторым не проверенным данным он был 1907 года рождения и защитил диссертацию по военной тематике еще до войны. На кафедру "Техника безопасности" он пришел, скорее всего, где-то в 1965 году и был в это время единственным кандидатом наук.

Говорить о динамике в развитии кафедры в течение четырех месяцев совершенно бессмысленно. Зато можно остановиться и рассмотреть временной срез жизни педагогического коллектива, в его конкретном статическом состоянии.

К новому календарному 1967 году коллектив кафедры состоял из следующего личного состава сотрудников:

1. Иванов Борис Владимирович — и. о. зав. кафедрой,
2. Барбинов Федор Алексеевич — зав. лабораторией,
3. Бекаревич Александр Михайлович — ассистент,
4. Бочарский Илларион Михайлович — преподаватель, к. т. н.,
5. Варварин Константин Яковлевич — ст. преподаватель,
6. Дубинин Михаил Михайлович — доцент,
7. Евсеев Валентин Степанович — ассистент,
8. Кишонков А. К. — механик,
9. Крицкий Василий Иванович — и. о. доцента,
10. Крыгин Д. М. — учебный мастер,
11. Логунов Вячеслав Михайлович — учебный мастер,
12. Лукина Клавдия Владимировна — секретарь кафедры,
13. Петров Евгений Андреевич — доцент,
14. Сальков В. В. — ст. преподаватель,
15. Туманов Борис Владимирович — доцент,
16. Фадин Вадим Семенович — ст. преподаватель.

В аспирантуре кафедры числились пять аспирантов: Д. Р. Гужас, А. Ф. Козьяков, Э. П. Пышкина, В. В. Гриднев и И. В. Ипатов.

Главным событием этого короткого промежутка времени в жизни кафедры является факт ее переименования. В развитие Приказа Министерства высшего и среднего специального образования СССР № 273 от 20 сентября 1965 года о переименовании курса "Основы техники безопасности и противопожарной техники" в курс "Охрана труда" в МВТУ выходит приказ № 196/у от 24/XII.1966 г., в свете которого кафедра "Техника безопасности" становится кафедрой "Охрана труда". Об этом можно получить информацию из Отчета о научно-исследовательской работе кафедры АМ-12 за 1966 год, подписанного и. о. кафедрой Ивановым Б. В. 12.01.67 г. [36].

Основным направлением научно-исследовательских работ кафедры "Охрана труда" МВТУ им. Баумана становится уменьшение шума и вибрации машин и аппаратов. Основанием для такой ориентации тематики НИР было постановление Совета Министров СССР от 2 февраля 1960 года за № 114 "О мерах по ограничению шума в промышленности". Кафедра "Охрана труда" проводила в рамках хоздоговоров работы по изысканию практических мероприятий по снижению шума и вибрации машин на нескольких машиностроительных заводах. В связи с развитием газовой промышленности большое значение приобрел вопрос снижения шума и вибрации на компрессорных станциях магистральных газопроводов. В виброшумовой тематике были заняты:

Иванов Б. В. — Исследование шума и вибраций трубопроводов компрессорных станций;

Варварин К. Я. — Исследование и разработка предложений по снижению шума специальных машин";

Козьяков А. Ф. — Исследование шума в цехах п/я б;

Гужас Д. Р. — Исследования шума на компрессорной станции.

Другим направлением НИР на кафедре были работы по конструированию и внедрению прямооточных клапанов для газокompрессоров типа 10ГК. Новые прямооточные клапаны имели значительно меньшее газодинамическое сопротивление, позволяли увеличить рабочий объем цилиндров, а также уменьшить шум и вибрацию в трубопроводах. Этими работами занимался Дубинин М. М. в рамках темы "Исследование применения прямооточных клапанов".

Среди прочих научно-исследовательских работ, которые проводились на кафедре в это время, целесообразно отметить "Исследование безопасно-



сти труда при порошково-плазменной технологии" (совместно с кафедрой М-7). В этой работе принимали участие Крицкий В. И. и Евсеев В. С.

В порядке выполнения постановления ЦК КПСС и Совета Министров СССР от 3 октября 1966 г. за № 729 "О мерах по улучшению подготовки специалистов и совершенствованию руководства высшим и средним специальным образованием в стране" руководством МВТУ в 1966 году выделена в распоряжение кафедры АМ-12 учебная площадь в размере 90 м², что улучшило условия для проведения лабораторных работ по курсу "Охрана труда". Коллектив кафедры в том же году провел необходимую работу по установке учебного оборудования и размещению приборов в полученном помещении.

План выполнения госбюджетной НИР по теме МВТУ-1 "Научные основы учебного процесса", планировавшейся под руководством П. А. Гладких, претерпел изменения. С октября по декабрь 1966 года тема выполнялась и. о. зав. кафедрой к. т. н. Ивановым Б. В. по новому плану, утвержденному проректором МВТУ по учебной работе. В рамках плана были определены научные основы учебного процесса — два психофизических закона: закон Вебера—Фехнера и закон обратной связи. Был проведен анализ существующего учебного процесса. На 1967 год было запланировано завершение анализа учебного процесса во втузе вообще и, в частности, предполагалось схематично разработать вариант системы подготовки инженеров по вопросам охраны труда.

Это были планы, которым в некоторой степени не суждено было быть выполненными. Конечно, кафедра — это коллектив. Но коллектив, возглавляемый заведующим, лидером. Новый лидер — новые порядки, новые планы. Как говорится, новая метла по-новому метет.

Список литературы

1. **Промышленный мир** в окружающей среде — это сфера деятельности кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана, отметившей в прошлом году свое 60-летие. Об истории кафедры ... рассказывает профессор А. Ф. Козьяков // Бауманец. Газета Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. — 1999. № 2 (3356). — 27 марта. — С. 7.
2. **Козьяков А. Ф.** К 65-летию кафедры "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана // Безопасность жизнедеятельности. — 2003. — № 1. — С. 3—6.
3. **Белов С. В., Тупов В. В., Козьяков А. Ф., Спиридонов В. С.** Становление и развитие научной деятельности кафедры "Экология и промышленная безопасность" // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. — № 11. — С. 2—7.
4. **Архив МГТУ им. Н. Э. Баумана.** Отдел кадров. Арх. № 19. Личное дело № 189 Гладких Петр Андреевич (43 листа. Начато 1/VII-59 г. Окончено 12.X-66 г.).
5. **Гладких П. А.** Вибрации трубопроводов на компрессорных станциях. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — М.: Моск. нефт. ин-т им. акад. И. М. Губкина, 1952. — 11 с.: литогр. изд. (на правах рукописи).
6. **Гладких П. А.** Исследование влияния буферных емкостей на вибрации трубопроводов (на компрессорных станциях) — М.: Акад. Наук СССР. Ин-т техн.-экон. информации. Периодич. информация. Тема № 27. № К-55-139, 1955. — 20 с.
7. **Гладких П. А.** Предупреждение и устранение вибраций трубопроводов на компрессорных станциях предприятий нефтяной промышленности — М., ОНТИ: М-во строительства предприятий нефт. пром-ти СССР. Техн. упр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т по Строительству "ВНИИСтройнефть", лаборатория прочности строит. конструкций, 1955. — 20 с.
8. **Гладких П. А.** Предупреждение и устранение вибраций трубопроводов на компрессорных станциях предприятий нефтяной промышленности. 2-е изд. переработ. и доп. — М., Отд. науч.-техн. информации. М-во строительства предприятий нефт. пром-ти СССР. Техн. упр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т по Строительству ВНИИСтройнефть. Науч. сообщение, 1956. — 24 с.
9. **Гладких П. А.** Влияние вибрации магистральных газопроводов на компрессорных станциях. — М., Гостехника СССР. Акад. Наук СССР. Филиал Всесоюз. ин-та науч. и техн. информации. Передовой науч.-техн. и производ. опыт. Тема 24. Теплосиловые установки и тепловые сети (№ Э-57-38/19), 1957. — 22 с.
10. **Гладких П. А.** Вибрация оборудования компрессорных станций. — М., Гостоптехиздат, 1958. — 106 с.
11. **Гладких П. А., Хачатурян С. А.** Вибрации в трубопроводах и методы их устранения. — Машгиз, 1959. — 243 с.
12. **ЦАГМ (Центральный архив города Москвы).** Фонд № 1992. Опись № 4. Дело № 904. (На 69 листах). Министерство высшего образования СССР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Акт приема-сдачи дел бывшим директором училища Прокошкиным Д. А. директору училища Лазареву Л. П. от 21 июля 1959 года (с приложением).
13. **Федоров И. Б., Павлихин Г. П.** Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана. 175 лет. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. — 352 с.
14. **ЦАГМ (Центральный архив города Москвы).** Фонд № 1992. Опись № 4. Дело № 1067. (На 27 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Факультет автоматизации и механизации производства. Отчет о работе факультета за 1961/1962 учебный год.
15. **ЦАГМ (Центральный архив города Москвы).** Фонд № 1992. Опись № 4. Дело № 996. (На 6 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра техники безопасности. Отчет о работе кафедры за 1960/1961 учебный год.
16. **ЦАГМ (Центральный архив города Москвы).** Фонд № 1992. Опись № 4. Дело № 1068. (На 27 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Факультет автоматизации и механизации производства. Отчет о научно-исследовательской работе факультета за 1961 г.

17. **Гладких П. А.** Исследование и устранение пульсаций давления в газопроводах. Автореферат дисс. на соискание ученой степени д-ра техн. наук. — М.: М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1962. — 25 с.: библиогр. в конце кн. (на правах рукописи).
18. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1092. (На 2 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1961 год.
19. **Гладких П. А.** Устранение пульсаций давления в газопроводах. — М.: Гостоптехиздат, 1962. — 110 с. с илл. Библиогр.: с. 108—109 (47 назв.).
20. **Гладких П. А., Хачатурян С. А.** Предупреждение и устранение колебаний нагнетательных установок. — М.: "Машиностроение", 1964. — 275 с. Библиогр.: с. 270—272 (63 назв.).
21. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1091. (На 6 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о работе кафедры за 1961/1962 учебный год.
22. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1225. (На 12 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о работе кафедры за 1962/1963 учебный год.
23. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1226. (На 3 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1962 год.
24. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1366. (На 6 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о работе кафедры за 1963/1964 учебный год.
25. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1367. (На 7 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1963 год.
26. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1503. (На 10 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). План и отчет о работе кафедры за 1964/1965 учебный год.
27. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1504. (На 7 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1964 год.
28. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1652. (На 1 листе). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). Перспективный план научно-исследовательской работы кафедры на 1965/1975 гг.
29. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1653. (На 11 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). План и отчет о работе кафедры за 1965/1966 учебный год.
30. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1654. (На 6 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). План и отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1965 год.
31. **Паньков Л. А.** Исследование условий закрепления заготовок при механической обработке. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — М.: М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР. МВТУ им. Н. Э. Баумана, 1964. — 15 с.
32. **Акулин Д. Ф., Власов А. Ф., Гладких П. А., Духанин Ю. А., Туманов Б. В.** Основы техники безопасности и противопожарной техники в машиностроении / Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для машиностроительных вузов и факультетов / Под ред. д-ра техн. наук проф. П. А. Гладких. — М.: Издательство "Машиностроение", 1966. — 288 с.
33. **Гладких П. А.** Борьба с вибрацией и шумом в машиностроении. — М.: "Машиностроение", 1966. — 100 с.
34. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1842. (На 13 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). План и отчет о работе кафедры за 1966/1967 учебный год.
35. **Гладких П. А.** Борьба с шумом и вибрацией в судостроении. — Л.: "Судостроение", 1971. — 176 с. с илл. Библиогр.: с. 173—174 (44 назв.).
36. **ЦАГМ** (Центральный архив города Москвы). Фонд № 1992. Описание № 4. Дело № 1843. (На 15 листах). Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР. Московское высшее техническое училище им. Баумана. Кафедра полупроводников и электровакуумного машиностроения (АМ-12). План и отчет о научно-исследовательской работе кафедры за 1966 год.

А. Ф. Козьяков, канд. техн. наук, проф., **Е. Н. Симакова**,
МГТУ им. Н. Э. Баумана
e-mail: E9@mx.bmstu.ru

О новом федеральном законе "О внесении изменений в статью 16 ФЗ "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации"

31 декабря 2008 года был опубликован новый Федеральный закон № 309-ФЗ, вносящий целый ряд изменений в следующие документы: Федеральные законы "Об охране окружающей среды", "О недрах", "О государственной границе Российской Федерации", законы Российской Федерации "О ветеринарии" и "Об учреждениях и органах, исполняющих уголовные наказания в виде лишения свободы", "Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан", Федеральные законы "О космической деятельности", "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера", "О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах", "Об особо охраняемых природных территориях", "О животном мире", "О благотворительной деятельности и благотворительных организациях", "Об архитектурной деятельности в Российской Федерации", "Об использовании атомной энергии", "Об экологической экспертизе", "О соглашениях о разделе продукции", "О мелиорации земель", "О погребении и похоронном деле", "О профессиональных союзах, их правах и гарантиях деятельности", "Об энергоснабжении", "О государственном регулировании в области добычи и использовании угля, об особенностях социальной защиты работников организаций угольной промышленности", "О науке и государственной научно-технической политике", "Об основах туристской деятельности в Российской Федерации", "Об оружии", Воздушный Кодекс Российской Федерации, Федеральные законы "О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами", "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", "О безопасности гидротехнических сооружений", "О семеноводстве", "О садоводческих, огороднических и дачных некоммерче-

ских объединениях граждан", "О лекарственных средствах", "Об отходах производства и потребления", "О государственном регулировании обеспечения плодородия земель", "О государственном контроле за осуществлением международных автомобильных перевозок и об ответственности за нарушения порядка их выполнения", "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения", "О газоснабжении в Российской Федерации", "О гарантии прав коренных малочисленных народов Российской Федерации", "Об охране озера Байкал", "Об охране атмосферного воздуха", "О качестве и безопасности пищевых продуктов", "О социально-экологических программах реабилитации радиационно-загрязненных участков территорий", "О лицензировании отдельных видов деятельности", Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях, Трудовой Кодекс Российской Федерации, Федеральный закон "Об обязательном страховании владельцев транспортных средств", Таможенный и Градостроительный Кодексы Российской Федерации.

Все перечисленные выше законодательные акты (кроме двух последних) были введены в действие до появления основного природоохранного федерального закона "Об окружающей среде" и поэтому оказались не связаны с ним терминологически. Указанный закон в качестве основного понятия ввел понятие окружающей среды как совокупности компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов, а также антропогенных объектов. Одновременно этот закон дает понятие природной среды, как совокупности компонентов природной среды, природных и природно-антропогенных объектов. Таким образом, первое понятие более широкое нежели второе и более полно отражает реальную среду обитания

человека. Как известно, до 2003 г. в стране действовал Федеральный закон "Об охране окружающей природной среды" 1992 г., на котором и базировалось большинство перечисленных выше законодательных актов, а в целом ряде случаев в них делались соответствующие ссылки на этот закон. Поэтому указанные ссылки были повсеместно изъяты, а вместо термина "окружающая природная среда" во всех перечисленных выше законодательных актах введен термин "окружающая среда".

Что касается закона "Об охране окружающей среды", то изменения в нем согласно Федеральному закону № 309-ФЗ минимальны. В статье 16 "Плата за негативное воздействие на окружающую среду" в пункт 1, где говорится о формах платы за негативное воздействие, внесено уточнение, что указанные формы определяются "настоящим Федеральным законом, иными Федеральными законами". Ранее ссылки на ФЗ "Об охране окружающей среды" не было, хотя именно в нем установлены принципы экономического регулирования в рассматриваемой в этом законе области. Такого рода конкретизация безусловно имела смысл. Второе уточнение статьи 16 того же закона касается порядка начисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду, которая устанавливается, согласно принятому закону № 309-ФЗ Правительством Российской Федерации (ранее было законодательством РФ). Таким образом, было учтено принятие в 2003 г. подзаконного акта — Постановления Правительства РФ "О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные водные объекты, размещение отходов производства и потребления" (12.06.03 № 344).

Большое число изменений внесено в ФЗ "О недрах", в котором поправки с момента его принятия вносились уже 10 раз. Кроме терминологической коррекции, о которой говорилось выше, изменен пункт 6 статьи 10. Теперь он утвержден в следующей редакции: "Принятое в соответствии с законодательством субъекта Российской Федерации решение органа государственной власти субъекта Российской Федерации:

о предоставлении по результатам аукциона права на разведку и добычу общераспространенных полезных ископаемых или на геологическое изучение, разведку и добычу общераспространенных полезных ископаемых на участках недр, содержащих ме-

сторождения общераспространенных полезных ископаемых, или участках недр местного значения;

о предоставлении права пользования участком недр местного значения для строительства и эксплуатации подземных сооружений местного значения, не связанных с добычей полезных ископаемых;

о предоставлении права пользования участком недр, содержащим месторождение общераспространенных полезных ископаемых, для разведки и добычи общераспространенных полезных ископаемых открытого месторождения при установлении факта его открытия пользователем недр, выполнявшим работы по геологическому изучению такого участка недр, за исключением проведения указанных работ в соответствии с государственным контрактом;

о предоставлении права краткосрочного (сроком до одного года) пользования участком недр, содержащим месторождение общераспространенных полезных ископаемых, для осуществления юридическим лицом (оператором) деятельности на участке недр, содержащем месторождение общераспространенных полезных ископаемых, право пользования которым досрочно прекращено".

Принята новая редакция статьи 11. Теперь ее первая часть излагается в следующем виде: "Предоставление недр в пользование, в том числе предоставление их в пользование органами государственной власти субъектов Российской Федерации, оформляется специальным государственным разрешением в виде лицензии, включающей установленной формы бланк с Государственным гербом Российской Федерации, а также текстовые, графические и иные приложения, являющиеся неотъемлемой составной частью лицензии и определяющие основные условия пользования недрами".

Часть шестая той же статьи принята в следующей редакции: "Предоставление земельного участка для проведения работ, связанных с геологическим изучением и иным использованием недр, осуществляется в порядке, установленном законодательством Российской Федерации, после утверждения проекта проведения указанных работ".

Часть девятая статьи 16 дополнена предложением следующего содержания: "Форма бланка лицензии на пользование недрами устанавливается федеральным органом управления государственным фондом недр".

Изменен текст части пятой статьи 17. Теперь он дается в следующей редакции: "Порядок переоформления лицензий на пользование участками недр устанавливается федеральным органом



управления государственным фондом недр, а порядок переоформления лицензий на пользование участками недр, содержащими месторождения общераспространенных полезных ископаемых, или участками недр местного значения, участками недр местного значения для строительства и эксплуатации подземных сооружений местного значения, не связанных с добычей полезных ископаемых, законодательством субъекта Российской Федерации".

Таким образом, можно констатировать, что вопросы предоставления права на разведку и добычу полезных ископаемых, переоформления лицензий на пользование участками недр прописаны с учетом внесенных уточнений достаточно подробно и не допускают двойственного толкования и разного рода злоупотреблений.

Обращает на себя внимание появление в тексте Федерального закона "О недрах" новой статьи 19¹: "Разведка и добыча общераспространенных полезных ископаемых и подземных вод пользователями недр, осуществляющими разведку и добычу иных видов полезных ископаемых, в границах предоставленных им горных отводов.

Пользователи недр, осуществляющие разведку и добычу полезных ископаемых или по совмещенной лицензии геологическое изучение, разведку и добычу полезных ископаемых, в границах предоставленных им в соответствии с настоящим Законом горных отводов имеют право на основании утвержденного технического проекта для собственных нужд осуществлять добычу общераспространенных полезных ископаемых в порядке, установленном соответствующими органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

Пользователи недр, осуществляющие разведку и добычу полезных ископаемых или по совмещенной лицензии геологическое изучение, разведку и добычу полезных ископаемых, в границах предоставленных им в соответствии с настоящим Законом горных отводов имеют право на основании утвержденного технического проекта для собственных нужд осуществлять добычу подземных вод (для технологического обеспечения водой) в порядке, установленном федеральным органом управления государственным фондом недр".

Статья 23² закона "О недрах" дополнена частью второй и третьей следующего содержания:

"Технические проекты и вносимые в них изменения до утверждения подлежат согласованию с комиссией, которая создается федеральным органом управления государственным фондом недр и в состав которой включаются представители органов

государственного горного надзора и органов исполнительной власти в области охраны окружающей среды.

Порядок подготовки, согласования и утверждения технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых и иной проектной документации на выполнение работ, связанных с использованием участками недр, устанавливается Правительством Российской Федерации по видам полезных ископаемых и видам пользования недрами".

Учитывая остроту вопроса, связанного с застройкой мест залегания полезных ископаемых, уточнен текст части второй статьи 25. Теперь он дается в следующей редакции: "Застройка площадей залегания полезных ископаемых, а также размещение в местах их залегания подземных сооружений допускается с разрешения федерального органа управления государственным фондом недр или его территориального органа. Разрешение на строительство объектов, строительство, реконструкция или капитальный ремонт которых планируется в целях выполнения работ, связанных с использованием недрами, в соответствии с лицензией на пользование недрами и проектом проведения указанных работ выдается федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальным органом".

В Федеральном законе "Об экологической экспертизе" кардинально изменен пункт четыре статьи 11 "Объекты государственной экологической экспертизы федерального уровня". Теперь он изложен в следующем виде: "Материалы обоснования лицензий на осуществление отдельных видов деятельности, которые оказывают негативное воздействие на окружающую среду и лицензирование которых осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 8 августа 2001 года № 128-ФЗ "О лицензировании отдельных видов деятельности" ... (за исключением материалов обоснования лицензий на осуществление деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов) и законодательством в области использования атомной энергии федеральными органами исполнительной власти".

Значительные изменения внесены в текст Федерального закона "Об отходах производства и потребления". В статье 1 "Общие положения" исключено понятие "опасные отходы" и уточнено понятие "обращение с отходами". Оно определено как "деятельность по сбору, накоплению, использованию, обезвреживанию, транспортированию, разме-

щению отходов". Таким образом, из этого понятия исключена деятельность, связанная с образованием отходов, т. е. проведение собственно технологических процессов, что представляется совершенно логичным. Кроме того, статья 1 дополнена определениями понятий "сбор отходов", "накопление отходов", "транспортирование отходов", что исключает различные толкования термина "обращение с отходами".

Пункт 2 статьи 2 "Правила регулирования в области обращения с отходами" теперь включает отношения не только в области обращения с радиоактивными отходами, но и с биологическими отходами и отходами лечебно-профилактических учреждений.

Пункт 3 статьи 4 "Отходы как объект права собственника" изложен в новой редакции: "Собственник отходов I—IV класса опасности вправе отчуждать эти отходы в собственность другому лицу, передавать ему, оставаясь собственником, право владения, пользования или распоряжения этими отходами, если у такого лица имеется лицензия на осуществление деятельности по использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов не меньшего класса опасности".

Исключив из текста закона "Об отходах производства и потребления" понятие "опасные отходы" законодатели ввели в главу 1 дополнительную статью 4 "Классы опасности отходов" следующего содержания: "Отходы в зависимости от степени негативного воздействия на окружающую среду подразделяются в соответствии с критериями, установленными федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим государственное регулирование в области охраны окружающей среды, на пять классов опасности:

I класс — чрезвычайно опасные отходы;

II класс — высокоопасные отходы;

III класс — умеренно опасные отходы;

IV класс — малоопасные отходы;

V класс — практически неопасные отходы".

Соответственно в статьях 5, 14 и 15 термин "опасные отходы" заменен словами "отходы I—IV класса опасности".

В новой редакции изложена статья 9 "Лицензирование деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов": "Лицензирование деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов осуществляется в соответствии с Федеральным законом от 8 августа

2001 года № 128-ФЗ "О лицензировании отдельных видов деятельности".

Пункт 3 статьи 14 дан в новой редакции: "На отходы I—IV класса опасности должен быть составлен паспорт. Паспорт отходов I—IV класса опасности составляется на основании данных о составе и свойствах этих отходов, оценки их опасности. Порядок паспортизации, а также типовые формы паспортов определяет Правительство Российской Федерации".

Пункты 3 и 4 статьи 18 подверглись коррекции и изложены теперь следующим образом:

"3. Индивидуальные предприниматели и юридические лица, в результате хозяйственной и иной деятельности которых образуются отходы (за исключением субъектов малого и среднего предпринимательства), разрабатывают проекты нормативов образования отходов и лимитов на их размещение. Субъекты малого и среднего предпринимательства, в результате хозяйственной и иной деятельности которых образуются отходы, представляют в уполномоченные федеральные органы исполнительной власти или органы исполнительной власти субъекта Российской Федерации в соответствии с их компетенцией отчетность об образовании, использовании, обезвреживании, о размещении отходов в уведомительном порядке.

4. Порядок разработки и утверждения нормативов образования отходов и лимитов на их размещение, представления и контроля отчетности об образовании, использовании, обезвреживании, о размещении отходов (за исключением статистической отчетности) устанавливает федеральный орган исполнительной власти в области обращения с отходами".

В Федеральном законе "Об охране атмосферного воздуха" в статье 5 "Полномочия органов государственной власти Российской Федерации в области охраны атмосферного воздуха" исключен абзац, касающийся порядка определения и взимания платы за загрязнения атмосферного воздуха, а также размещения вреда, причиненного здоровью граждан и окружающей среде загрязнением атмосферного воздуха и вредными физическими воздействиями на него.

В Федеральном законе "О лицензировании отдельных видов деятельности" статья 18 дополнена пунктами 9 и 10 следующего содержания:

"9. Юридическое лицо или индивидуальный предприниматель, осуществляющие на территориях двух и более субъектов Российской Федерации один и тот же вид хозяйственной или иной деятель-



ности, в случае необходимости получения в соответствии с законодательством Российской Федерации лицензии на осуществление деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов I—IV класса опасности получает в территориальном органе федерального органа исполнительной власти в области обращения с отходами, определяемом федеральным органом исполнительной власти в области обращения с отходами, лицензию на право ее осуществления на территории всех указанных в этой лицензии субъектов Российской Федерации.

10. Указанная в пункте 9 настоящей статьи лицензия подлежит регистрации в территориальных органах федерального органа исполнительной власти в области обращения с отходами по месту осуществления деятельности, которые осуществляют контроль за соблюдением лицензиатом при осуществлении этой деятельности соответствующих лицензионных требований и условий".

В заключительной статье Федерального закона "О внесении изменений в статью 16 ФЗ "Об охране окружающей среды" и отдельные законодательные акты Российской Федерации" устанавливаются сроки вступления его в силу: по истечении 10 дней с момента опубликования. Исключения составляют поправки в Федеральные законы "Об отходах производства и потребления", "О лицензировании отдельных видов деятельности" и в Таможенный Кодекс РФ. Новая редакция последнего вводится через месяц после опубликования рассматриваемого закона, новая редакция ФЗ "О лицензировании отдельных видов деятельности" через 180 дней. Что касается поправок в ФЗ "Об отходах производ-

ства и потребления", то срок их введения установлен разный для разных поправок вплоть до 01.01.2010 г.

Кроме того, в заключительной статье Федерального закона № 309-ФЗ даются разъяснения в отношении лицензий на пользование недрами и объектов, связанных с размещением и обезвреживанием отходов, которые введены в эксплуатацию или разрешение на строительство которых выдано до дня вступления в силу настоящего Федерального закона. В обоих случаях новая редакция указанного закона на них не распространяется. То же имеет место применительно к государственной экологической экспертизе материалов обоснования лицензий на осуществление деятельности по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортированию, размещению отходов, процедура проведения которой начата до дня вступления в силу настоящего Федерального закона, проводится до ее завершения в установленном законодательством Российской Федерации порядке.

Отметим также, что "До утверждения Правительством Российской Федерации порядка, предусмотренного частью третьей статьи 23² Закона Российской Федерации от 21 февраля 1992 года № 2395-1 "О недрах" (в редакции настоящего Федерального закона), при подготовке, согласовании и утверждении технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых и иной проектной документации на осуществление работ, связанных с использованием участками недр, применяются нормативные правовые акты и нормативные технические документы, действующие на день вступления в силу настоящего Федерального закона".

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 *Е. В. Комиссарова*.

Сдано в набор 09.07.09. Подписано в печать 24.08.09. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 7,75. Заказ 742.

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.