



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

11(119)
2010

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.
СОРОКИН Ю. Г.
ТЕТЕРИН И. М.
ТИШКОВ К. Н.
УШАКОВ И. Б.
ФЕДОРОВ М. П.
ЧЕРЕШНЕВ В. А.
АНТОНОВ Б. И.
(директор издательства)

Главный редактор

РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора

ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь

ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

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

- Зинкин В. Н., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В., Солдатов С. К., Алексеенко М. С.** Исследование эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от шума на основе оценки потенциальной ненадежности профессиональной деятельности авиационных специалистов 2
- Склеменов Г. Ж.** Проблемы и их решения в вопросах аттестации рабочих мест по условиям труда с последующей сертификацией организации работ по охране труда. 6
- Юдина Э. И.** Анализ и оценка вероятности возникновения производственного травматизма на ОАО "ММК". 11

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

- Давлетшина Г. И., Фридланд С. В.** Влияние минерального состава питьевой воды на здоровье населения города Магнитогорска. 15

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Старжинский В. Н., Гагарин Д. Р.** К расчету излучения шума обрабатываемой заготовкой при пилении древесины круглыми пилами. 20

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Александров А. А., Емельянов В. Ю., Кирпичников В. Н.** Результаты испытаний установки рекуперации паров нефтепродуктов "ЭРЕСТ" на АЗС в Москве 25
- Громова В. С., Борисова И. В., Шушпанов А. Г.** Некоторые аспекты отдаленных последствий загрязнения окружающей среды хлорорганическими пестицидами. 29
- Кулагина Т. А., Козин О. А.** Разработка экоэффективных способов утилизации отходов радиохимических производств. 31
- Попов В. Г., Боровков Ю. Н.** Эмиссия парниковых газов на железнодорожном транспорте России 39

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Тучкова О. А., Качалкин В. А., Осипова Л. Э.** Пределы огнестойкости элементов строительных конструкций при пожарах в нефтегазовом комплексе. 44

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- Шаврак Е. И., Гурьева Т. О.** Исследование тенденций изменения качества воды в Цимлянском водохранилище 51

Приложение. Белов С. В., Симакова Е. Н. Ноксология. Учебное пособие. Выпуск 6

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 625.098

В. Н. Зинкин, д-р мед. наук, проф., **Ю. А. Кукушкин**, д-р техн. наук, проф.,
А. В. Богомолов, д-р техн. наук, проф., **С. К. Солдатов**, д-р мед. наук, проф.,
М. С. Алексеенко, Государственный научно-исследовательский испытательный
институт военной медицины Минобороны России, г. Москва
E-mail: a.v.bogomolov@gmail.com

Исследование эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от шума на основе оценки потенциальной ненадежности профессиональной деятельности авиационных специалистов

Описаны особенности использования оценок потенциальной ненадежности профессиональной деятельности авиационных специалистов для анализа эффективности средств индивидуальной и коллективной защиты от шума.

Ключевые слова: средства индивидуальной и коллективной защиты от шума, надежность деятельности специалистов, акустическая эффективность.

Zinkin V. N., Kukushkin Yu. A., Bogomolov A. V., Soldatov S. K., Alekseenko M. S.
Probe of efficiency of means of individual and collective protection against noise on the basis of an estimation of potential unreliability of professional work of aviation experts

Features of use of estimations of potential unreliability of professional work of aviation experts for the analysis of efficiency of means of individual and collective protection against noise are described.

Keywords: means of individual and collective protection against noise, reliability of activity of experts, acoustic efficiency.

Несмотря на определенные меры, принимаемые по борьбе с шумом, количество специалистов различных профессий, подвергающихся его некомпенсированному воздействию, не уменьшается. На рабочих местах, где организационно-техническими мероприятиями не удастся добиться снижения уровня шума до нормативных величин или это невозможно по технико-эксплуатационным соображениям, в соответствии с ГОСТ 12.1.003—83, ГОСТ Р 12.4.212—99 с [1, 2] следует причинять средства защиты от шума.

Известно, что вследствие воздействия шума снижается не только работоспособность [6], но и

функциональная надежность профессиональной деятельности [10, 11]. Согласно словарю [9] надежность человека-оператора — это его свойство сохранять способность осуществлять определенную деятельность с требуемым качеством в течение требуемого интервала времени, сохраняя требуемый уровень производительности. Нарушение деятельности является событием, имеющим определенную вероятность. Эта вероятность — потенциальная ненадежность действий (ПНД) — используется в качестве меры степени влияния шума на надежность деятельности [4, 12]. Количественной основой этой меры является риск возникновения неблагоприятного эффекта (срыв деятельности, ошибочные действия и т. п.).

В особо неблагоприятной шумовой обстановке работают специалисты инженерно-технического состава (ИТС) ВВС, принимающие участие в обслуживании самолетов при прогонке и регулировке двигателей и находящиеся в ближнем звуковом поле. Результаты гигиенических исследований свидетельствуют о том, что уровни звукового давления (УЗД) на рабочих местах ИТС при обслуживании летательных аппаратов в октавных полосах инфразвукового диапазона колебались от 95 до 104 дБ, превышая предельно допустимые уровни (ПДУ) на 1...19 дБ, а в звуковом диапазоне они составили 96...123 дБ, превышая ПДУ на 2...45 дБ [4, 5]. Это обстоятельство является причиной ряда авиационных инцидентов, происходящих вследствие ошибочных действий ИТС, обусловленных снижением их работоспособности вследствие некомпенсированного влияния авиационного шума.

Поэтому актуальной является задача разработки технологии исследования эффективности средств коллективной и индивидуальной защиты от шума с использованием математических моделей, устанавливающих связь между УЗД, воздействующего

на человека, и надежностью его профессиональной деятельности.

Исследование проводилось в двух направлениях:

1. Оценка акустической эффективности сооружений, в которых ИТС пребывает между вылетами летательных аппаратов в течение летной смены — помещений для размещения авиационных техников (ПАТ), одно из предназначений которых обладать свойствами средства коллективной защиты (СКЗ) от шума.

2. Оценка акустической эффективности средств индивидуальной защиты (СИЗ) от шума — экспериментальных образцов противошумных наушников, предназначенных для защиты органа слуха ИТС.

Методы исследования акустической эффективности

При оценки эффективности СКЗ от шума проводили измерения уровня шума снаружи и внутри ПАТ во время полетов на аэродроме. Исследовали три варианта обшивки ПАТ (помещение $4,7 \times 2,9 \times 2,4$ м с шестью окнами $0,8 \times 1,05$ м каждое; дверь $0,8 \times 2,0$ м):

- вариант 1 — внешний лист — сталь 0,55 мм; далее — теплоизоляционный материал толщиной 50 мм и деревянная панель из вагонки толщиной 12,5 мм;
- вариант 2 — внутренняя обшивка представлена звукопоглощающими материалами (панели из древесины толщиной 12,5 мм и пластиковые панели ВМЛ-25 толщиной 5 мм);
- вариант 3 — использована конструкция наружной стенки, состоящей из стального листа толщиной 0,55 мм, демпфированного вибропоглощающего покрытия ВМЛ-25 толщиной 5 мм и панели, выполненной из древесины толщиной 12,5 мм с воздушным промежутком, заполненным звукопоглощающим матом толщиной 50 мм; крепление стального листа и панели к рамной конструкции исключало возникновение акустических мостиков.

Оценка потенциальной ненадежности действий осуществлялась по следующей модели [4]:

$$\text{ПНД} = \begin{cases} 0,5 - \Phi \left[\frac{L - 134,02}{42} \right], & \text{если } L \leq 111,33; \\ 0,5 + \Phi \left[\frac{L - 116,03}{8,67} \right], & \text{если } L > 111,33, \end{cases}$$

где L — уровень шума; Φ — функция Лапласа.

При оценке акустической эффективности СИЗ от шума в данной работе использовали экспериментальный образец противошумных наушников, разработанный для ВВС. Он отличается от существующих использованием нового материала —

наполнителя чашек наушников и способом обработки внутренней поверхности чашек. Эффективность защитных свойств данного образца СИЗ от шума оценивали по двум методикам.

В первой в качестве критерия использовалась величина ПНД. Для этого проводились измерения УЗД на рабочих местах ИТС, а величину УЗД в подчашечном пространстве экспериментального образца наушников получали расчетным методом. Для этого определяли разницу между УЗД, измеренным на рабочем месте, и расчетной величиной акустической эффективности (SNR_{84}) экспериментального образца СИЗ по ГОСТ Р 12.4.212—99 [2] на основании результатов, полученных в лабораторных условиях упрощенным методом [3]. Полученную величину УЗД в подчашечном пространстве использовали для расчета оценки ПНД по модели [10].

По второй методике исследовали работоспособность ИТС до и после летной смены. Исходя из особенностей труда ИТС, который связан с выполнением умственно-логических операций, всем лицам, входящим в опытную и контрольную группы, предлагалось выполнить бланковую методику "сложение с переключением" и корректурную пробу [7, 8]. Эти методики позволяют оценить выработку и перестройку умственных навыков, оперативную память, переключаемость внимания, продуктивность, устойчивость концентрации внимания и темп психических процессов. Результаты выполнения методик оценивались по пяти показателям:

ИПВ — интегральный показатель внимания, балл;

ПСВ1 — количество сложений, произведенных двумя способами за 10 мин;

ПСВ2 — количество ошибок (ошибки переключения и ошибки сложения);

ПСВ3 — относительная частота ошибок, %;

ПСВ4 — интегральная оценка производительности, ед.

Показатель ИПВ оценивался по результатам выполнения корректурной пробы, а показатели ПСВ1 — ПСВ4 — по результатам выполнения методики "сложение с переключением".

В исследовании работоспособности приняли участие 18 авиационных механиков и техников самолетов. В день проведения полетов обследовали по шесть человек, три человека из которых всю летную смену использовали СИЗ, а другие трое работали без использования СИЗ. За время испытаний было выполнено 36 человеко-исследований. При анализе результатов в контрольную группу были включены специалисты ИТС, отработавшие летную смену без СИЗ от шума, а в основную — специалисты, использовавшие СИЗ.



Результаты исследования акустической эффективности СКЗ от шума

Для оценки звукоизолирующих свойств помещений для размещения авиационных техников в качестве источника шума рассматривался истребитель Су-25. Акустические измерения проводили снаружи и внутри ПАТ при работающих двигателях самолета. Результаты акустических измерений представлены в табл. 1. Как видно, первый вариант ПАТ практически не обладает акустической эффективностью, так как УЗД в помещении составил 126 дБА, а снаружи — 128 дБА (то есть фактически не является СКЗ от авиационного шума). Близкие значения между величиной общего УЗД и уровнем звука указывают на то, что в спектре авиационного шума высоко- и среднечастотные шумы доминируют по УЗД.

Пребывание инженерно-технического состава в ПАТ первого варианта не устранит неблагоприятное действие авиационного шума — оценка ПНД составляет 0,88 ед., что позволяет прогнозировать высокую вероятность ошибочных действий ИТС (величина ПНД при расположении ИТС вне ПАТ составляет 0,92 ед.).

Модернизация ПАТ по улучшению звукоизолирующих свойств наружных стенок (вариант 2) привела к существенному — до 76 дБА — снижению уровня шума внутри помещений. Использование материалов для внутренней обшивки помещений увеличило поглощение шума на 52 дБА и привело к уменьшению уровня шума ниже допустимой величины. Оценка ПНД уменьшилась на порядок и составила 0,08 ед.

Расчеты, выполненные на основании экспериментальных данных, показывают, что внутри ПАТ третьего варианта уровень звука уменьшится еще больше и составит уже 55 дБА, т. е. он снизится по отношению к второму варианту ПАТ еще на 21 дБА (см. табл. 1). Снижение уровня шума привело к уменьшению ПНД до 0,03 ед. Следовательно, данный вариант ПАТ еще более перспективен для оптимизации условий труда на рабочих местах ИТС при обеспечении полетов на аэродроме.

Таблица 1
Моделирование акустической обстановки в помещениях стартового домика для создания средства коллективной защиты ИТС от шума

Место измерения	Общий УЗД, дБ	Уровень звука, дБА
Фон аэродрома	130	128
Внутри ПАТ первого варианта	127	126
Внутри ПАТ второго варианта	103	76
Внутри ПАТ третьего варианта	82	55

Результаты исследования эффективности СИЗ от шума

Для оценки эффективности экспериментального образца СИЗ — противושумных наушников — были проведены лабораторные исследования, позволявшие определить их акустическую эффективность регламентированным ГОСТ Р 12.4.213—99 [3] упрощенным методом (табл. 2).

На основании результатов лабораторных исследований с использованием объективной оценки качества поглощения звука противושумными наушниками (см. табл. 2) были рассчитаны критерии при эффективности защиты 84 %, которые рекомендуют применять для отбора или сравнения противושумных наушников, а также определяют требования минимально приемлемого поглощения шума [2]: H_{84} — значение поглощения высокочастотного шума; M_{84} — значение поглощения среднечастотного шума; L_{84} — значение поглощения низкочастотного шума; SNR_{84} — одиночный параметр поглощения шума (табл. 3).

Учитывая, что разность между общим УЗД и уровнем звука авиационного шума не превышала 2 дБ

Таблица 2
Акустическая эффективность экспериментального образца противושумных наушников

Исследуемый параметр	Среднегеометрические частоты в октавных полосах, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Поглощение звука, дБ	22	24	33	45	55	45	37	33

Таблица 3
Расчетные значения показателей поглощения шума для экспериментального образца противושумных наушников при эффективности защиты 84 %

Наименование	Расчетные значения показателей для различных образцов СИЗ, дБ			
	H_{84}	M_{84}	L_{84}	SNR_{84}
Чашка наушников экспериментального образца	33	33	29	34

Таблица 4
Прогнозирование влияния образцов экспериментальных наушников на ПНД в зависимости от удаления от Су-25 с работающими двигателями

Расстояние места измерения от Су-25, м	Без использования СИЗ от шума		С использованием СИЗ от шума	
	Общий УЗД, дБ	ПНД, ед.	Общий УЗД, дБ	ПНД, ед.
15	130	0,92	96	0,18
30	110	0,28	76	0,09
45	100	0,21	66	0,05

Результаты исследования работоспособности ИТС ($M \pm m$)

Показатель	Контрольная группа (ИТС, не использовавшие СИЗ)			Основная группа (ИТС, использовавшие СИЗ)		
	До летной смены	После летной смены	Δ	До летной смены	После летной смены	Δ
ИПВ, балл	$9,3 \pm 2,9$	$5,9 \pm 0,7$	$3,4 \pm 2,3$	$12,1 \pm 3,2$	$3,5 \pm 2,0$	$8,6 \pm 2,1^*$
ПСВ1, ед.	$373,6 \pm 22,4$	$393,8 \pm 18,8$	$-20,2 \pm 7,6$	$345,7 \pm 12,6$	$408,7 \pm 12,4$	$-63,0 \pm 10,5^*$
ПСВ2, ед.	$10,2 \pm 5,9$	$10,6 \pm 5,9$	$-0,4 \pm 0,4$	$4,3 \pm 0,9$	$3,1 \pm 0,4$	$1,2 \pm 0,5^*$
ПСВ3, %	$0,07 \pm 0,04$	$0,06 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,01$	$0,03 \pm 0,04$	$0,02 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,01$
ПСВ4, ед.	$6,9 \pm 0,8$	$7,2 \pm 0,5$	$-0,3 \pm 0,3$	$6,4 \pm 0,3$	$8,0 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,4^*$

Примечание: Δ — разность между абсолютными значениями величин до и после летной смены; * — случаи, для которых уровень значимости нулевой гипотезы о равенстве средних значений показателя в группах $p \leq 0,05$.

(см. табл. 1), А-корректированный УЗД, действующий при ношении этого образца СИЗ, можно вычислить как разность между величиной общего УЗД и показателя SNR_{84} для экспериментального образца противошумных наушников, который составил 34 дБ (см. табл. 3). В табл. 4 приведены оценки ПНД при разных УЗД на рабочих местах ИТС.

Из табл. 4 следует, что использование рассматриваемого образца противошумного наушника приведет к снижению ПНД. Особенно хорошо это видно при высоких УЗД. Так, при УЗД 130 дБ можно ожидать снижения оценки ПНД до 0,18 ед. (то есть практически в пять раз), а при более низких УЗД (110...100 дБ) снижение оценки ПНД составит не более 17 %.

Подтверждением эффективного влияния рассматриваемого образца экспериментальных противошумных наушников на оценку ПНД являются результаты исследования работоспособности ИТС, которые приведены в табл. 5. Уровни шума на рабочих местах ИТС при обслуживании летательных аппаратов находились в диапазоне 100...110 дБА.

С помощью методики "Корректирующая проба" выявлено достоверное ($p \leq 0,05$) увеличение величины ИПВ в основной группе на 8,62 балла по сравнению с контрольной — 3,39 балла. Из этого следует, что использование СИЗ привело к улучшению качества внимания: количество ошибок стало значительно меньше, а общее число выполненных заданий увеличилось.

В обеих группах до начала рабочего дня производительность сложений была практически одинаковой и составила соответственно около 19 и 17 сложений в 1 мин, что соответствует среднему уровню работоспособности. Величина ПСВ1 в основной группе после работы увеличилась на 63,0 сложения, в то время как в контрольной она оказалась достоверно ($p \leq 0,05$) ниже на 20,2. Такая реакция связана как с эффектом вработываемости, так и с улучшением показателей перестройки умственных навыков и оперативной памяти у ИТС основной группы за счет снижения воздействия шума.

Поэтому утомляемость, которая непосредственно влияет на качество выполнения этого теста, у ИТС при применении экспериментального образца СИЗ была выражена слабее.

По показателю ПСВ2 отмечено значимое ($p \leq 0,05$) различие между группами ИТС. Так, в контрольной группе выявлено увеличение ошибок на 0,4 ед. и снижение их числа в опытной на 1,2 ед. Стоит отметить, что в последней группе при повторном тестировании ошибки переключения практически отсутствовали, а в контрольной группе их число заметно увеличивалось.

Динамика показателя ПСВ3 также отражает общую тенденцию возникновения ошибочных действий, однако достоверных различий средних арифметических значений этого показателя между группами выявлено не было.

Значимое ($p \leq 0,05$) увеличение величины показателя ПСВ4 в основной группе ИТС после работы по сравнению с контрольной указывало на более высокий уровень умственной работоспособности.

* * *

Результаты исследования позволяют сделать заключение о прикладной значимости математической модели расчета вероятности ПНД, целесообразности ее использования для оценивания ПНД технического состава при воздействии авиационного шума, образующегося на рабочих местах при обслуживании летательных аппаратов, и в качестве критерия для оценки качества средств коллективной и индивидуальной защиты от шума.

Список литературы

- ГОСТ 12.1.003—83 ССБТ Шум. Общие требования безопасности.
- ГОСТ Р 12.4.212—99 Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Оценка результирующего значения А-корректированных уровней звукового давления при использовании средств индивидуальной защиты от шума.



3. ГОСТ Р 12.4.213—99 Средства индивидуальной защиты органа слуха. Противошумы. Упрощенный метод измерения акустической эффективности противошумных наушников для оценки качества.
4. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В. и др. Гигиеническая оценка акустической обстановки на рабочих местах инженерно-технического состава // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — № 12. — С. 6—8.
5. Зинкин В. Н., Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В. и др. Гигиеническая оценка условий труда работников "шумовых" профессий авиаремонтных заводов // Медицина труда и промышленная экология. — 2008. — № 4.
6. Измеров Н. Ф., Суворов Г. А., Прокопенко Л. В. Человек и шум. — М.: ГЕОТАР-МЕД, 2001. — 384 с.
7. Кукушкин Ю. А., Солдатов С. К., Зинкин В. Н., Богомолов А. В. и др. Методика оценивания умственной работоспособности и надежности профессиональной деятельности специалистов, подвергающихся воздействию авиаци-

онного шума // Биомедицинская радиоэлектроника. — № 1—2. — 2008.

8. Руководство по профессиональному психологическому отбору кандидатов в Высшие военные авиационные училища летчиков и штурманов — М.: Воениздат, 1982. — 92 с.
9. Словарь физиологических терминов. — М.: Наука, 1987. — 447 с.
10. Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А., Зинкин В. Н., Богомолов А. В. и др. Методическое обеспечение оценивания и прогнозирования работоспособности операторов, подвергающихся воздействию авиационного шума // Безопасность жизнедеятельности. — 2006. — № 4. — С. 11—20.
11. Ушаков И. Б., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В. Физиология труда и надежность деятельности человека. — М.: Наука, 2008. — 317 с.
12. Ушаков И. Б., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В., Карпов В. Н. Потенциальная ненадежность действий оператора как характеристика степени влияния физико-химических факторов условий деятельности // Безопасность жизнедеятельности. — 2001. — № 1. — С. 24—29.

УДК 331.108.43

Г. Ж. Склеменов, Департамент труда и занятости населения Краснодарского края
E-mail: sklemenov@mail.ru

Проблемы и их решения в вопросах аттестации рабочих мест по условиям труда с последующей сертификацией организации работ по охране труда

Рассмотрены пути решения возникающих проблем при организации проведения подтверждения соответствия организации работ по охране труда государственным нормативным требованиям охраны труда. Проведен анализ часто допускаемых нарушений при предоставлении работникам компенсаций за тяжелую работу, работу с вредными и (или) опасными условиями труда. Изучены проблемы, возникающие при проведении аттестации рабочих мест по условиям труда.

Ключевые слова: охрана труда, требования охраны труда, аттестация рабочих мест по условиям труда, сертификация организации работ по охране труда, вредные и (или) опасные условия труда, средства индивидуальной защиты (СИЗ).

Sklemenov G. Zh. Problems and their decisions in questions of assessment of workplaces in accordance with working conditions with the subsequent certification of the organization of works on the labour safety

The article covers the question of the decision of problems arising at carrying out confirmation of accordance of the organisation of works on a labour safety to the state standard requirements. In this article the

following is carried out: analysis of often occurring violations with granting to workers of compensation for heavy work, the work with harmful and (or) dangerous working conditions. investigation of the problems arising at carrying out certification of workplaces in accordance with working conditions.

Keywords: labor safety, labour safety requirements, assessment of workplaces in accordance with working conditions, harmful and (or) dangerous working conditions, personal protection equipment (PPE), certification of the works organization on the labor safety.

Сегодня Краснодарский край является одним из динамично развивающихся и стратегически важных регионов страны, обладающий богатыми ресурсами и высоким инвестиционным потенциалом.

Государственное управление охраной труда на территории края осуществляется департаментом труда и занятости населения Краснодарского края в рамках федеральных законов и постановлений Правительства Российской Федерации. Задачей органов государственной власти является создание условий для обеспечения гарантированных Кон-

ституцией Российской Федерации прав граждан на достойное существование.

Одним из приоритетных направлений в сфере охраны труда является разработка территориальных целевых программ улучшения условий и охраны труда; организация проведения в установленном порядке обучения по охране труда работников; организация проведения подтверждения соответствия организации работ по охране труда государственным нормативным требованиям охраны труда; оценка качества проведения аттестации рабочих мест по условиям труда и правильности предоставления работникам компенсаций за тяжелую работу, работу с вредными и (или) опасными условиями труда.

При реализации данных направлений некоторые аспекты создания безопасных условий труда неоднозначно трактуются, что вызывает затруднение при их выполнении.

Оценка правильности предоставления работникам компенсаций за тяжелую работу, работу с вредными и (или) опасными условиями труда

Согласно конституции РФ "Каждый имеет право на труд в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены". Работник в процессе труда должен оставаться живым и здоровым и это является основной целью охраны труда.

При невыполнении работодателем норм трудового законодательства, обязывающих обеспечить безопасные условия труда, работник может использовать предусмотренные законодательством меры социальной защиты. Одним из направлений регулирования социально-трудовых отношений при работе во вредных условиях труда является реализация прав работников на компенсации, декларируемая статьей 219 Трудового кодекса РФ. Согласно этой статье, до тех пор, пока условия труда не отвечают требованиям охраны труда, работодатель обязан предоставить работнику компенсацию за работу во вредных условиях труда.

С 6 декабря 2008 г. вступило в силу постановление Правительства РФ от 29 ноября 2008 г. № 870, в соответствии с п. 1 которого "работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными и иными особыми условиями труда, по результатам аттестации рабочих мест, установлены следующие компенсации:

— сокращенная продолжительность рабочего времени — не более 36 часов в неделю в соответствии со ст. 92 Трудового кодекса РФ;

— ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск — не менее 7 календарных дней;

— повышенная оплата труда — не менее 4 % тарифной ставки, установленной для различных видов работ с нормальными условиями труда".

Наряду с данным постановлением применяются и нормативные акты Госкомтруда СССР и ВЦСПС, устанавливающие компенсации работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда, в части, не противоречащей действующему Трудовому кодексу РФ.

Например, размер повышенной оплаты труда работников по сравнению с тарифными ставками рассчитывается по результатам оценки условий труда в соответствии с Типовым положением об оценке условий труда на рабочих местах и порядке применения отраслевых перечней работ, на которых могут устанавливаться доплаты рабочим за условия труда, утвержденным еще постановлением Госкомтруда СССР и Секретариата ВЦСПС от 3 октября 1986 г. № 387/22-78. Основанием оплаты труда в повышенном размере являются Типовые перечни работ с тяжелыми и вредными, особо тяжелыми и особо вредными условиями труда, на которых могут устанавливаться доплаты рабочим за условия труда, утвержденные так же Госкомтрудом СССР и Секретариатом ВЦСПС по отраслям народного хозяйства.

Согласно этим документам доплаты за вредные условия на рабочем месте производятся не по всем превышающим предельные уровни вредным факторам, а только за вредные условия труда по факторам: химический, аэрозоли фиброгенного действия (пыль), виброакустические факторы (шум и вибрация), неионизирующие излучение (ВЧ, СВЧ), температуру воздуха (только в помещении) и тяжесть труда (только за превышения допустимых нагрузок по перемещению тяжестей). Параметры освещения, электромагнитные излучения от компьютеров, напряженность и тяжесть труда по рабочей позе, не входят в перечень условий, за которые полагается доплата к тарифной ставке в соответствии с этим документом. Но рассчитанный по этим документам размер повышенной оплаты труда должен быть не ниже, чем указано в п. 1 постановления Правительства РФ от 29 ноября 2008 г. № 870.

Размер дополнительного отпуска и сокращенный рабочий день предоставляются в соответствии со Списком производств, цехов, профессий и должностей с вредными условиями труда, работа в которых дает право на дополнительный отпуск и сокращенный рабочий день, который утвержден постановлением Госкомтруда СССР и Президиума ВЦСПС от 25 октября 1974 г. № 298/П-22. Согласно этому документу дополнительный отпуск и со-



кращенный рабочий день предоставляются по характеру выполняемой работы или по наименованию профессии (должности) без учета результатов аттестации рабочих мест по условиям труда.

На современном этапе проведение аттестации рабочих мест по условиям труда — обязательное условие для установления гарантий и компенсаций работникам за вредные и (или) опасные условия труда.

Следует отметить, что хотя рассматриваемые документы Госкомтруда СССР и Президиума ВЦСПС давно устарели, они являются пока действующими и применяются в части, не противоречащей Трудовому кодексу РФ.

Отметим ряд существенных различий в требованиях, установленных ранее действовавшими нормативными актами и в требованиях п. 1 Постановления Правительства РФ от 20 ноября 2008 г. № 870, а именно:

дополнительные дни отпуска ранее предоставлялись из расчета рабочих дней, теперь — календарных дней;

ранее устанавливался сокращенный рабочий день, теперь — сокращенная рабочая неделя.

Обращаем особое внимание на то, что сотрудниками отдела государственной экспертизы условий труда Департамента труда и занятости населения Краснодарского края при оценке качества аттестации рабочих мест по условиям труда, Порядок проведения которой утвержден приказом Минздравсоцразвития России от 31 августа 2007 г. № 569 и действует с 1 сентября 2008 г. будет проверяться правильность заполнения строки 040 карты аттестации, в которой должны быть отражены размеры компенсаций работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и (или) опасными условиями труда, которые должны быть не ниже, чем указано в п. 1 постановления Правительства РФ от 29 ноября 2008 г. № 870.

Сертификация организации работ по охране труда и методы подхода к ее реализации

Основной целью аттестации рабочих мест является улучшение и оздоровление условий труда в организации. После завершения аттестации рабочих мест и приведения условий труда к безопасным с учетом современного технического уровня, работодатель обязан приступить к подтверждению соответствия организации работ по охране труда государственным нормативным требованиям охраны труда, т. е. провести сертификацию в организации работ по охране труда, которая способствует реализации государственной социальной политики по предоставлению гарантий государства работникам на здоровые и безопасные условия

труда в соответствии с действующим законодательством.

Статьей 212 Трудового кодекса РФ за работодателем закреплена обязанность проведения аттестации рабочих мест по условиям труда с последующей сертификацией организации работ по охране труда. Объектом данной сертификации является "организация работ по охране труда" и заменять данный объект сертификации другими объектами для работодателя недопустимо. Проведение подтверждения соответствия организации работ по охране труда требованиям нормативно-правовых актов по охране труда для работодателя обязательно, но проводится данное подтверждение в форме добровольной сертификации, так как в соответствии с главой 4 Федерального закона "О техническом регулировании" от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ подтверждение соответствия на территории РФ может носить добровольный или обязательный характер. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации. Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах: принятия декларации о соответствии или обязательной сертификации. Объектами добровольного подтверждения соответствия являются продукция, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работы и услуги, а также иные объекты, в отношении которых стандартами, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования. Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом. Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть **только продукция**, выпускаемая в обращение на территории РФ, согласно номенклатуре, предусмотренной в постановлении Госстандарта России от 30 июля 2002 г. № 64.

На сегодняшний день легитимной является сертификация, в которой объект оценки соответствует требованиям статьи 212 Трудового кодекса РФ. При рассмотрении и оценке других объектов при проведении сертификации организации работ по охране труда сертификат соответствия может быть оспорен в судебном порядке.

Аттестация рабочих мест по условиям труда и качество ее проведения

В соответствии со ст. 216.1 Трудового кодекса РФ основным направлением деятельности отдела государственной экспертизы условий труда Департамента труда и занятости населения Краснодарского края является оценка качества проведения аттестации рабочих мест по условиям труда.

От качества исследований и оценок вредных производственных факторов и трудового процесса при аттестации рабочих мест по условиям труда зависят: разработка мероприятий с целью создания безопасных условий труда в организации, предоставление компенсаций работникам за тяжелую работу, работу с вредными и опасными условиями труда, поэтому на сегодняшний день актуален не сам факт проведения аттестации, а ее качество.

За 10 лет отделом государственной экспертизы условий труда Департамента труда и занятости населения Краснодарского края осуществлена оценка качества проведения аттестации более чем на 20 тысячах рабочих мест. В ходе оценки наиболее часто встречаются перечисленные ниже нарушения.

1. Отсутствие перечня всех рабочих мест с указанием опасных и вредных факторов производственной среды, подлежащих инструментальной оценке. Отсутствие в организации такого перечня приводит к отсутствию контроля со стороны членов аттестационной комиссии за проведением измерений всех потенциально вредных и опасных производственных факторов, характерных для данных рабочих мест.

Составление перечня всегда вызывало затруднение у членов комиссии, поэтому в новом Порядке, утвержденном приказом Минздравсоцразвития России от 31 августа 2007 года № 569, приводится рекомендуемая форма перечня рабочих мест с указанием всех возможных факторов условий труда, подлежащих оценке при аттестации. Следует обратить внимание, что в перечне указывается не просто наличие вредных факторов на рабочем месте, а заносится время их воздействия в часах или в процентах к продолжительности смены.

Отсутствие перечня приводит к еще одному часто встречаемому нарушению — измерены не все вредные факторы, характерные для данных рабочих мест. Вредные факторы на рабочих местах определяются исходя из технологического процесса, наличия на рабочих местах оборудования, используемого сырья и материалов, характеристики выполняемой работы, используются также результаты ранее проводившихся измерений показателей вредных и опасных факторов, а также жалобы работников.

При оценке качества аттестации рабочих мест в организациях Краснодарского края специалистами упомянутого выше отдела государственной экспертизы условий труда часто выявляется такое нарушение как отсутствие подписей членов аттестационной комиссии и работников. Это происходит, когда члены комиссии не принимают никакого участия в проведении аттестации, хотя в соответствии с Положением они должны осуществлять ме-

тодическое руководство и контроль за проведением работ. Следствием такого отношения является низкое качество аттестации. Члены аттестационной комиссии и сотрудники аттестующей организации (привлеченной для проведения замеров) должны работать совместно, и представители организации должны контролировать работу с момента издания приказа о создании комиссии и сроках проведения аттестации до выполнения последнего пункта Плана мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда, составленного по результатам аттестации. Для компетентности по этим вопросам члены комиссии должны обучиться по общим вопросам аттестации рабочих мест, что нормативно закреплено в Порядке проведения аттестации рабочих мест по условиям труда, утвержденном приказом Минздравсоцразвития России от 31.08.2007 г. № 569.

2. При проведении аттестации рабочих мест не соблюдаются методики замеров вредных производственных факторов. Так, например, в протоколах замеров интенсивности электромагнитных полей от ПЭВМ на рабочих местах, где выявлено, что напряженность электрического поля и (или) плотность магнитного потока в диапазоне низких частот превышают нормативные значения, отсутствуют замеры фоновых уровней полей промышленной частоты.

В соответствии с п. 5 приложения 3 к СанПиН 2.2.2/2.4.1340—03 "Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы", если на обследуемом рабочем месте, оборудованном ПЭВМ, интенсивность электрического и/или магнитного поля в диапазоне 5...2000 Гц превышает значения, приведенные в таблице "Допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ на рабочих местах", следует проводить измерения фоновых уровней ЭМП промышленной частоты (при выключенном оборудовании). Не выполнение этих требований методики приводит к неверному выводу о непригодности компьютера для дальнейшей эксплуатации и неправильной оценке электромагнитных полей от компьютеров — устанавливает класс вредный, вместо допустимого.

Очень часто замеры параметров микроклимата проведены только в один период года, что является нарушением методики замеров. Согласно СанПиН 2.2.4.548—96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений" замеры параметров микроклимата проводятся в холодный и теплый периоды года и т. д.

3. В протоколах оценки рабочих мест по травмобезопасности оценка проводится не по всем требованиям, приведенным в нормативно-правовых актах к оборудованию, приспособлениям, инструментам, средствам обучения и инструктажа.



Прежде чем приступить к оценке травмобезопасности, рекомендуем составить полный перечень рабочих мест с перечнем оборудования, указанного в официальных документах, и проверить фактическое наличие машин и техники на рабочих местах. Кроме этого, если выявляется оборудование, изготовленное самостоятельно организацией, но не учтенное в официальной документации, то такое оборудование также включается в перечень рабочих мест и подлежит оценке.

Перечень рабочих мест должен включать все фактически имеющееся на производственном объекте оборудование, приспособления и инструменты.

Оценка оборудования, приспособлений и инструмента по фактору травмобезопасности проводится на основе действующих и распространяющихся на них нормативно правовых актов по охране труда, государственных и отраслевых стандартов, правил устройства и безопасной эксплуатации, строительных норм и правил, методических указаний, постановлений и положений, инструкций по охране труда и других нормативных правовых актов по охране труда, утвержденных федеральными органами исполнительной власти, а также органами по труду субъектов Российской Федерации.

В протоколах должны быть отражены основные этапы оценки, которыми являются:

- проверка общей работоспособности оборудования в соответствии с регламентированными режимами, а также надежность технологического процесса;

- проверка устойчивости конструкции машины в целом и отдельных ее узлов, выявление колебаний остова или повышенной вибрации отдельных деталей;

- по каждому пункту требований действующего и распространяющегося на оцениваемое оборудование нормативного правового акта проверяется наличие соответствующего средства защиты (ограждений, сигнализации, тормозных устройств, блокировок и т. д.), а также органов управления, в том числе для аварийной остановки и специально предусмотренных средств автоматизации и механизации работ. Если по технической необходимости на одном из участков организованного рабочего места не исключено воздействие опасных факторов на обслуживающий персонал (например, движущихся или нагретых предметов), то оценивается выполнение других предусмотренных мер безопасности: наличие сигнализации, средств индивидуальной защиты, описание в инструкции по охране труда безопасных приемов работы на этом участке;

- проверка наличия, содержание и структура средств инструктажа.

При оценке травмобезопасности проверяется прохождение обучения безопасным методам и приемам работы.

4. При оценке правильности заполнения карт аттестации рабочих мест часто выявляется, что строки в них заполнены неверно. Нередко встречается, что в картах аттестации повышенная оплата труда приводится не только за тяжелую работу, работу во вредных условиях труда, но и за ненормированный рабочий день, за работу в ночную смену, за работу в сельской местности и т. д. Порядком проведения аттестации рабочих мест по условиям труда четко определено, что в строке 040 приводятся гарантии и компенсации работникам, занятым на тяжелых работах, работах с вредными и опасными условиями труда.

5. Часто встречается, что в протоколе оценки обеспеченности работников СИЗ оценивается выдача санитарной одежды, форменной одежды вместо СИЗ.

6. В картах аттестации неверно указывается необходимость выдачи молока работникам по результатам аттестации при наличии химических веществ в воздухе рабочей зоны, концентрации которых ниже предельно допустимых. В качестве основания приводятся ранее действующее постановление Минтруда России от 31 марта 2003 г. № 13 и действующий на сегодняшний день приказ Министерства здравоохранения и социального развития РФ от 16 февраля 2009 года № 45н.

Хотя в п. 7 "Норм и условий бесплатной выдачи молока или других равноценных пищевых продуктов работникам, занятым на работах с вредными условиями труда", утвержденных постановлением Минтруда России от 31 марта 2003 г. № 13, указано "при обеспечении безопасных условий труда, работодатель принимает решение о прекращении бесплатной выдачи молока с учетом мнения профсоюзного органа". В действующем приказе Минздравсоцразвития России от 16 февраля 2009 г. № 45н, устанавливающем Нормы и условия бесплатной выдачи работникам молока, четко указано: "бесплатная выдача молока или других равноценных пищевых продуктов производится работникам в дни фактической занятости на работах с вредными условиями труда, обусловленными наличием на рабочем месте вредных производственных факторов, предусмотренных Перечнем, и уровни которых превышают установленные нормативы".

7. Наименования профессий и должностей в картах аттестации часто не приведены в соответствии с ОК и ЕТКС. Согласно действующему порядку проведения аттестации рабочих мест аттестационная комиссия должна подготовить предложения по приведению наименований профессий и должностей работников в соответствие с требова-

ниями законодательства, если для этих профессий и должностей предусмотрено предоставление компенсаций работникам, либо наличие ограничений по труду (например, запрет на привлечение к вредным работам несовершеннолетних или женщин).

Поэтому наименования должностей (профессий) в картах и соответственно в трудовых книжках должны соответствовать наименованиям, содержащимся в квалификационных справочниках.

При выявлении расхождения между указанными наименованиями необходимо сообщить руководителю о необходимости внести изменения в трудовую книжку работника. Если такие изменения не будут внесены, то у работника потом возникнут проблемы с досрочным назначением трудовой пенсии по старости за работу во вредных и (или) опасных условиях труда, с предоставлением других компенсаций за работу с вредными и (или) опасными ус-

ловиями труда, а также средств индивидуальной защиты.

8. План мероприятий по улучшению условий труда, разработанный по результатам аттестации, в большинстве проверяемых организаций не утвержден руководителем организации и не согласован с руководителем профсоюза организации, не заполнены графы "источник финансирования", "ответственный за выполнение", "срок выполнения" и т. д.

В каком виде испытательные лаборатории дали свои рекомендации по улучшению условий труда, в таком виде и находится план мероприятий по улучшению и оздоровлению условий труда в организации, разработанный по результатам аттестации.

Согласно Порядку проведения аттестации рабочих мест по условиям труда конечной целью аттестации является разработка плана оздоровления условий труда с последующим его исполнением.

УДК 658.3.054

Э. И. Юдина, асп., Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

E-mail: yudina_elvira@mail.ru

Анализ и оценка вероятности возникновения производственного травматизма на ОАО "ММК"

Рассмотрены статистические данные по травматизму смертельному и с временной утратой трудоспособности на ОАО "ММК" за период 2004—2008 гг. Приведены результаты анализа производственной деятельности, а также произведен расчет профессионального риска на основе учета дней нетрудоспособности.

Ключевые слова: металлургический комбинат, производственный травматизм, несчастный случай, утрата трудоспособности, профессиональный риск.

Yudina E. I. *Analysis and assessment of the likelihood of occupational injuries in the Open Joint Stock Company "MMK"*

The statistical data on fatal accidents and temporary disability at the MMK for the period 2004—2008. Results of the analysis to productive activities, as well as a calculation of occupational exposure on the basis of disability days.

Keywords: steel works, industrial injuries, accident, disability, professional risk.

Магнитогорский металлургический комбинат (ОАО "ММК") это один из крупнейших производителей чугуна, стали, проката в России. ОАО "ММК" представляет собой металлургический комплекс с полным производственным циклом, начиная с подготовки железорудного сырья и заканчивая глубокой переработкой черных металлов. В состав ОАО "ММК" входят: горно-обогатительное производство (ГОП), доменный, электросталеплавильный (ЭСПЦ), кислородно-конверторный (ККЦ), сортовой, листопрокатные (ЛПЦ, ЛПЦ-3, ЛПЦ-4, ЛПЦ-5, ЛПЦ-7, ЛПЦ-8, ЛПЦ-9, ЛПЦ-10) цеха, цех покрытий (ЦП), участок переработки некондиционного металла (УПНМ), управление железнодорожным транспортом (УЖДТ), управление главного металлурга (УГМ), управление главного энергетика (УГЭ), центральная лаборатория комбината (ЦЛК), управление подготовки производства (УПП) и т. д. В настоящее время из состава ОАО "ММК" выведены: мартеновский цех, цех обработки литых заготовок (ЦОЛЗ), отдел военно-военизированной охраны специального предприятия (ОВВОСП), цех благоустройства (ЦБУ) и т. д.



Интенсивное производство сопровождается повышенным уровнем профессионального риска, что, в свою очередь, связано с потерями времени, выгоды, наличием социальной напряженности и т. д. Существующими нормативными документами [1–4] устанавливается необходимость проведения оценки производственного риска на промышленных предприятиях. Обзор специальной литературы показал, что существующие методики оценки риска направлены как на качественную, так и на количественную идентификацию риска. На первом этапе производится анализ уровней травматизма, а далее оцениваются вероятности травмирования.

В качестве объектов исследования выступали статистические данные производственного травматизма на ОАО "ММК" за период 2004–2008 гг.

Распределение несчастных случаев по цехам комбината с учетом выбывших из состава или перепрофилированных (рис. 1) показало, что в группе металлургических цехов большее количество несчастных случаев приходится на доменный цех, а в цехах по прокату — на ЛПЦ-5. Данное распределение обусловлено в основном уровнем механизации и сложностью технологического процесса.

Также в рассматриваемых цехах имели место групповые несчастные случаи. Процентное распределение числа пострадавших по цехам представлено на рис. 2.

В группе металлургических цехов наиболее травмоопасны доменный и мартеновский цехи. Число пострадавших в ЛПЦ-5 обусловлено групповым не-

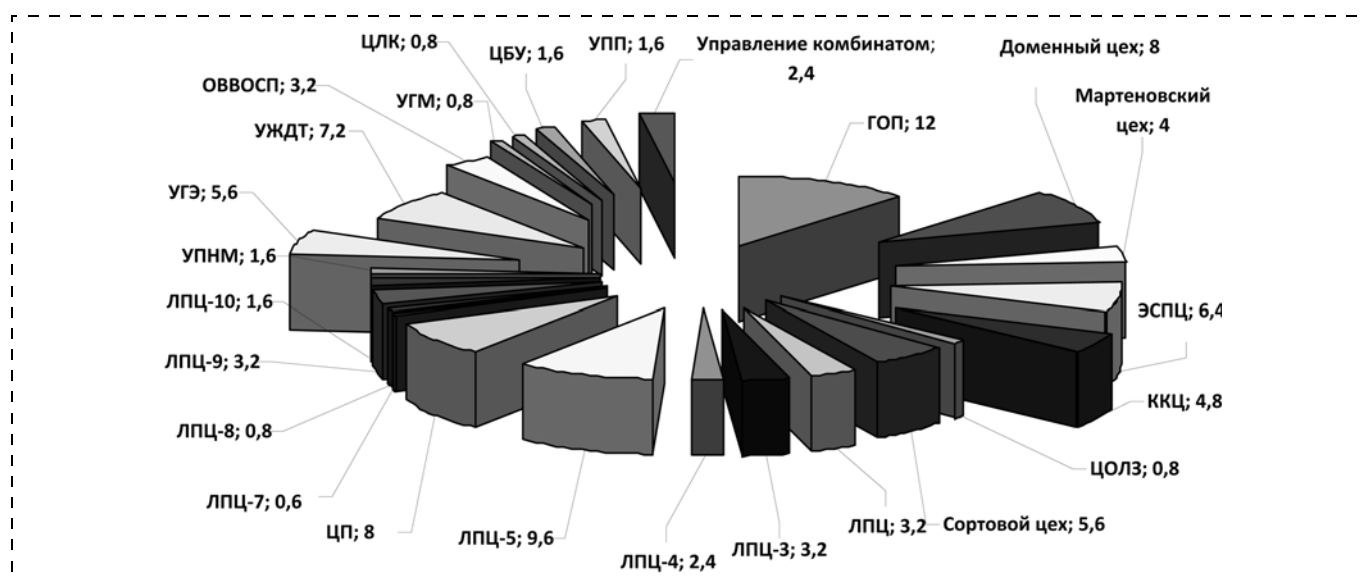


Рис. 1. Распределение несчастных случаев по цехам, %

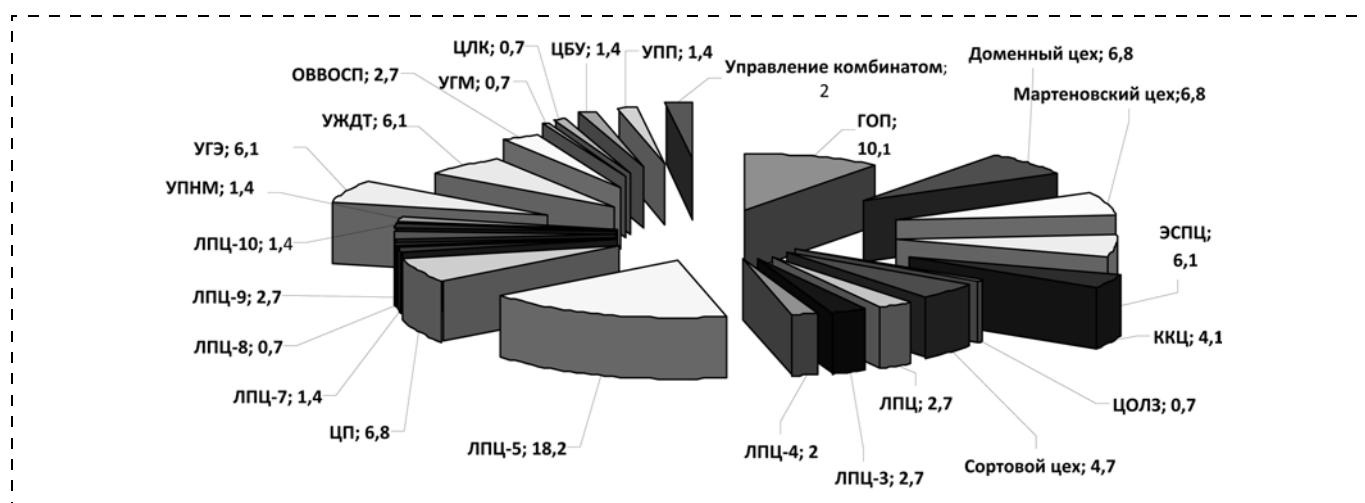


Рис. 2. Распределение числа пострадавших по цехам, %

счастливым случаем, произошедшим в 2006 г. и повлекшим за собой большое количество пострадавших.

Распределение травмирующих факторов на ОАО "ММК" за исследуемый период следующее: движущиеся, вращающиеся, разлетающиеся предметы, детали — 43 %; падение с высоты и при перемещении — 21 %; экстремальные температуры — 11 %; падения, обрушения, обвалы предметов, материалов — 11 %; электрический ток — 5 %; транспортные средства — 3 % и прочие — 6 %. Данное распределение объясняется тем, что процесс получения стального листа от переработки агломерата до нанесения покрытия связан со сложным комплексом технологических операций, сопровождающихся перемещением и пересыпкой сырья и материалов, вращением и перемещением частей оборудования. Практически весь обслуживающий персонал, при не соблюдении правил охраны труда, подвержен риску травмирования вследствие воздействия движущихся, вращающихся предметов и механизмов.

В 70 % случаев производственный травматизм зависит от человеческого фактора. Как правило, либо работник не в полной мере знает свои профессиональные обязанности или игнорирует требования охраны труда, либо руководитель не дает соответствующих инструкций, т. е. имеют место нарушения и ошибочные решения. Так, анализ результатов расследования несчастных случаев показал, что причинами травмирования являлись: неудовлетворительная организация безопасного производства работ — 35 %; неудовлетворительный контроль за производством работ — 10 %; личная неосторожность — 10 %; нарушение требований инструкций — 9 %; нахождение пострадавшего в опасной зоне — 8 %; эксплуатация неис-

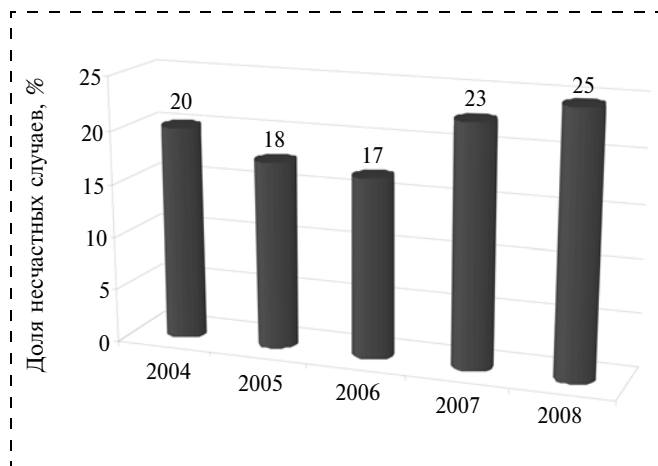


Рис. 3. Распределение несчастных случаев по годам

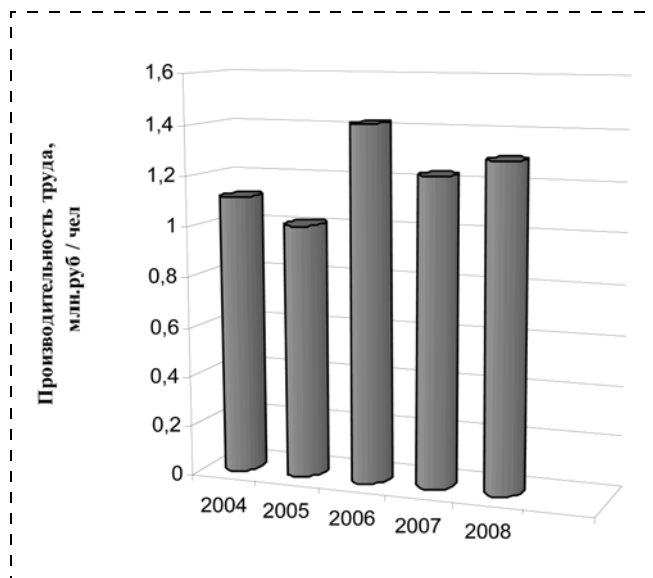


Рис. 4. Распределение производительности труда по годам

правного оборудования и инструмента — 5 %; работа без СИЗ или применение запрещенных СИЗ — 2 %. На нарушение правил дорожного движения, хулиганские действия, алкогольное опьянение, падение предметов и прочие приходится 21 % всех несчастных случаев.

Гистограммы распределения несчастных случаев и производительности на ОАО "ММК" за период 2004—2008 гг. представлена на рис. 3, 4.

Существенная особенность профессионального риска — случайный характер, который проявляется через вероятностную реализацию негативных последствий на здоровье работника. Для выявления и оценки рисков применяются качественные и количественные методы оценки [5—10 и др.].

Большинство авторов количественно описывают риск, используя следующие выражения

$$R = P_i \Pi_k, \quad (1)$$

где Π_k — k -е потери от реализации i -го происшествия; P_i — вероятность реализации i -го происшествия.

Вероятность смертельного случая определяют по формуле (2), а вероятность травмирования с учетом дней нетрудоспособности — по формуле (3)

$$P = \frac{n}{N}, \quad (2)$$

где n — число смертельных несчастных случаев; N — общее число работников.

$$P = \frac{T_{\text{нетр.дн.}}}{T_{\text{кал.р.дн.}} - T_{\text{отпуск}} - T_{\text{нетр.дн.}}}, \quad (3)$$

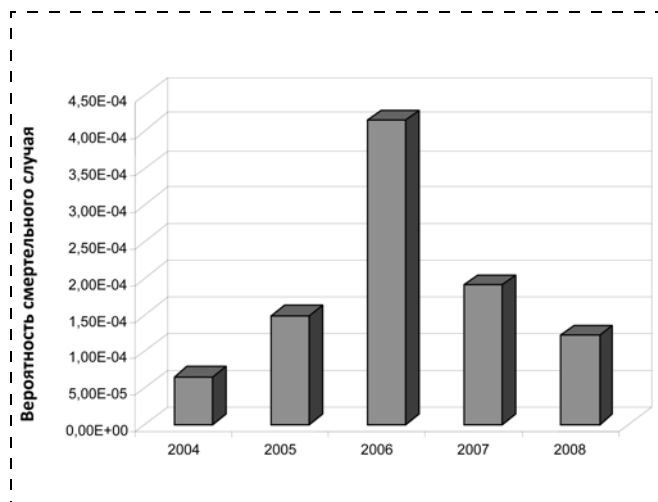


Рис. 5. Распределение вероятностей смертельного случая

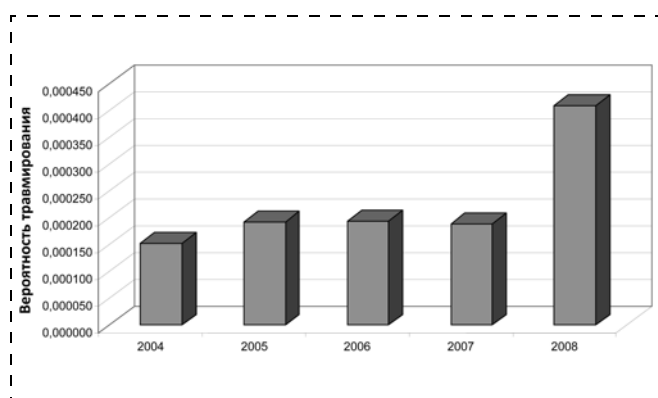


Рис. 6. Распределение вероятности травмирования

где $T_{\text{нетр.дн.}}$ — число дней нетрудоспособности; $T_{\text{отпуск}}$ — число дней отпуска; $T_{\text{кал.р.дн.}}$ — число календарных рабочих дней.

$$T_{\text{кал.р.дн.}} = 365 - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{вых}}$ — число выходных дней; $T_{\text{пр}}$ — число праздничных дней.

Распределение уровней вероятностей смертельного случая и травмирования за анализируемый период представлено на рис. 5, 6.

Анализ представленных статистических данных по ОАО "ММК" за период с 2004 по 2008 год позволяет сделать вывод о наличии профессионального риска для работников подразделений.

Сопоставление числа несчастных случаев и вероятности травмирования с уровнем производств показал, что эти показатели не взаимосвязаны (коэффициенты корреляции 0,1 и 0,16 соответственно). Это говорит об отсутствии взаимосвязи производственной деятельности и уровня травматизма.

Проведенный анализ свидетельствует о необходимости повышения уровня профессиональной безопасности и охраны здоровья работников. В зависимости от уровня опасных и вредных производственных факторов следует применять результаты аттестации рабочих мест по условиям труда для установления значимых рисков и разработки мероприятий по их управлению.

Список литературы

1. **Технический регламент** о безопасности машин и оборудования.
2. **ГОСТ Р 51344—99** Безопасность машин. Принципы оценки и определения риска. Утв. Постановлением Госстандарта РФ от 22.11.1999 № 22.11.1999 № 421-СТ.
3. **ГОСТ Р 51901—2002** Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.
4. **Требования** стандарта OHSAS 18001:2007 к системам менеджмента профессиональной безопасности и охраны здоровья.
5. **Мастрюков Б. С.** Риск в промышленной безопасности и охране труда // Безопасность жизнедеятельности. — М.: 2004. — № 5 — С. 2—7.
6. **Шлыков В. Н.** Риск как показатель производственного травматизма // Безопасность жизнедеятельности. — М.: 2008. — № 5 — С. 8—14.
7. **Асаенко И. С., Кучеренко Е. Е.** Количественная оценка профессионального риска как основа повышения безопасности труда работников химических предприятий // Безопасность труда в промышленности. — 2008. — № 7. — С. 50—53.
8. **Кукин П. П., Шлыков В. Н., Пономарев Н. Л., Сердюк Н. И.** Анализ и оценка риска производственной деятельности: Учеб. пособие. — М.: Высшая школа, 2007. — 328 с.
9. **Ковалевич О. Н.** Системы оценки риска и закон о техническом регулировании // Проблема безопасности и ЧС. — 2006. — № 1. — С. 13—23.
10. **Сулейманов М. Г., Уржумцев В. В., Черчинцев В. Д., Бикмухаметов М. Г.** Анализ факторов и оценка риска возникновения аварийных ситуаций в доменном производстве ОАО "ММК" // Безопасность жизнедеятельности. — М.: 2006. — № 9. — С. 16—21.

УДК 502.313

Г. И Давлетшина, асп., С. В. Фридланд, д-р хим. наук, Казанский государственный технологический университет (КГТУ)
E-mail: gulnara_him@maik.ru

Влияние минерального состава питьевой воды на здоровье населения города Магнитогорска

Исследованиями, описанными в настоящей работе, установлено, что население г. Магнитогорска получает недостаточное количество микроэлементов с питьевой водой. Показано влияние дефицита микроэлементного состава питьевой воды г. Магнитогорска на здоровье проживающего населения.

Ключевые слова: питьевая вода, дефицит микроэлементов, здоровье населения.

Davletshina G. I., Fridland S. V. Influence of mineral structure of drinking water on health of the population of Magnitogorsk

It was found by our researches that the population of Magnitogorsk gets an insufficient quantity of microelements from drinking water. Influence of deficiency of microelement structure of drinking water of Magnitogorsk on health of the living population is shown.

Keywords: drinking water, deficiency of microcells, health of the population.

Состояние здоровья населения является главным системообразующим фактором в системе наук о человеке и основным критерием оценки качества окружающей среды [1], а оценка влияния водного фактора на здоровье человека — одним из обязательных компонентов комплексного анализа связи факторов окружающей среды и условий жизни населения с состоянием его здоровья. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) вклад различных факторов окружающей среды в формировании здоровья составляет 25...35 %, при этом от потребления недоброкачественной питьевой воды ежегодно страдает каждый десятый житель планеты [2].

Многочисленные экспериментальные и эпидемиологические данные свидетельствуют о несомненном влиянии минерального состава питьевой воды на здоровье населения [2—5]. Физиологическую полноценность питьевой воды отражает как максимально допустимое содержание солей и их

компонентов, так и их минимально необходимые и оптимальные концентрации [6—9].

С водой человек получает 1...25 % суточной потребности химических веществ [10]. Микроэлементы (МЭ), поступающие в организм человека с водой, имеют большую физиологическую ценность, чем поступившие с продуктами питания, поскольку последние в процессе кулинарной обработки теряют некоторое их количество [11].

При изучении водного фактора на заболеваемость населения наиболее информативными показателями являются частота и распространенность отдельных нозологических форм, особенно болезней мочевыделительной, пищеварительной, сердечно-сосудистой, костно-мышечной и эндокринной систем.

Магнитогорск — индустриальный город с развитой металлургической промышленностью, отнесенный к территориям чрезвычайной экологической ситуации решением Государственной экологической экспертизы [12].

По данным социально-гигиенического мониторинга, заболеваемость населения превышает среднероссийский показатель по хроническому бронхиту, пневмониям, астме и астматическому бронхиту [12]. Перечисленные заболевания связаны не только с вредными выбросами промышленных предприятий, но и с дефицитом МЭ в питьевой воде.

Основными заболеваниями населения города Магнитогорска являются болезни эндокринной системы, расстройства питания, нарушения обмена веществ; болезни крови, кроветворных органов, анемии, язвенная болезнь желудка, атипичский дерматит и другие [13]. Уровень заболеваемости населения города Магнитогорска за 5 лет представлен в табл. 1.

Цель исследования: оценка влияния минерального состава питьевой воды на здоровье населения г. Магнитогорска.

Проведена оценка качества питьевой воды на соответствие гигиеническим требованиям [14, 15], величинам, рекомендуемым ВОЗ и другими источникам [6—9]. Ранжирование рассматриваемых



Таблица 1

Уровень заболеваемости населения Y_i г. Магнитогорска, число человек на 1000 человек за пять лет

Заболеваемость		Годы					Среднее значение $\bar{Y}$	Дисперсия воспроизводимости S_y^2
Y	Классификация по Международной классификации болезней (МКБ)	2002	2003	2004	2005	2006		
Y1	III — Болезни крови, кроветворных органов и некоторые нарушения, вовлекающие иммунный механизм	4,1	3,9	4,1	4,5	4,7	4,3	0,11
Y2	IV — Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	36,2	36,8	37,3	37,6	38,5	37,3	0,75
Y3	IX — болезни системы кровообращения	135,8	141,7	149,3	161,5	144,5	146,6	93,6
Y4	X — болезни органов дыхания	227,2	242,8	222,9	220,5	234,1	229,5	82,0
Y5	XI — болезни органов пищеварения	74,2	73,5	76,6	74,3	73,4	74,4	1,7
Y6	XIII — болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	83,1	84,2	84,9	87,0	79,0	83,6	8,8
Y7	XIV — болезни мочеполовой системы	71,7	72,7	76,0	76,9	76,9	74,8	6,1
Y8	XVII — врожденные аномалии (пороки развития, деформации и хромосомные нарушения)	0,9	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,002

МЭ осуществлялось согласно классификации Кудрина А. В. [4], согласно которой МЭ делятся на важнейшие эссенциальные МЭ и условно-эссенциальные МЭ. К важнейшим эссенциальным МЭ относятся железо, медь, цинк, марганец, хром, селен, молибден, кобальт, к условно эссенциальным — фтор, литий, никель, кремний.

Исследование состава вод в работе выполнялось методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на аппарате Optima 2000DV (Perkin Elmer).

Исследуемые объекты обеспечивают г. Магнитогорск питьевой водой. Это подземные водоисточники: Малокизильский, Верхнекизильский, Янгельский суммарной производительностью 200—220 тыс. м³/сутки. Результаты исследования качества питьевой воды представлены в табл. 2. Качество вод подземных источников, приведенных в таблице, соответствует СанПиН 2.1.4.1074—01, однако имеет обедненный солевой и микроэлементный состав согласно минимальному и оптимальному уровням, обеспечивающим физиологическую полноценность питьевой воды [6—9].

Для всех трех водозаборов по обобщенным показателям характерно минимальное содержание хлоридов и калия, оптимальное — pH и магния, выше оптимального (однако не превышающие максимального) — щелочности и бикарбонатов. Хлоридно-сульфатная минерализация и сульфаты Малокизильского и Верхнекизильского водозаборов находятся на минимальном уровне; общая минерализация (320,9 и 361,4 мг/л), жесткость общая, кальций — на оптимальном. Минерализация питьевой воды менее 500 мг/л [9] вызывает ослабление иммунной системы, рост анемии, развитие гемолитической желтухи, врожденные аномалии и дефекты развития, рак желудка.

Для Янгельского водозабора характерно превышение оптимального уровня по общей минерализации, жесткости общей, сульфаты, кальций, однако хлоридно-сульфатная минерализация находится на оптимальном уровне.

Микроэлементы играют значительную роль в адаптации организма человека к окружающей среде и оказывают действие опосредованно, изменяя деятельность ферментов, гормонов, белков, витаминов и прочих биологически активных веществ [2, 3, 5, 16—19].

Оценка влияния микроэлементного состава питьевой воды на нозологические формы заболеваний населения города Магнитогорска производилась при помощи метода многофакторного эксперимента с построением регрессионных моделей [20].

Корреляционному анализу подвергались пятилетняя динамика отдельных нозологических форм неинфекционных заболеваний населения г. Магнитогорска (см. табл. 1) в зависимости от содержания микроэлементов в питьевой воде за тот же период (см. табл. 2).

Расчет коэффициентов корреляции между отдельными видами заболеваемости и содержанием МЭ в питьевой воде автоматизировался с помощью электронных таблиц в системе Microsoft Excel. Полученные коэффициенты корреляции приведены в табл. 3. Для расчетов приняты X_i и Y_i , коэффициенты корреляции которых равны 0,7...0,9 и 0,9...0,99, что по шкале Чеддока обозначается как "высокая" и "весьма высокая" теснота связи.

Для выявленных зависимостей по формуле (1) построены линейные уравнения регрессии:

$$Y = b_0 + b_1 X_{i1} + b_2 X_{i2} + \dots + b_k X_{ik}, \quad (1)$$

где Y — расчетный уровень заболеваемости населения города Магнитогорска; X_i — содержание МЭ в питьевой воде г. Магнитогорска (см. табл. 2); b_0 ,



Таблица 2

Усредненный состав питьевой воды г. Магнитогорска за пять лет

№	Показатель	Единица измерения	Водозабор				Требования, предъявляемые к качеству питьевой воды [6—8, 11, 12]				
			М	В	Я	Среднее по водозаборам	Минимум	Оптимум	Максимум		
Обобщенные показатели качества питьевой воды											
1	рН	Ед.	7,59	7,6	7,68	7,62	6,0...6,5	6,5...8,5	8,5—9,0		
2 3	Сухой остаток Хлоридно-сульфатная минерализация	мг/дм³	320,9 83,8	361,4 101,6	660,4 270,1	447,6 151,8	100...300 —	300...600 200...400	500...1000 —		
4 5	Жесткость общая Щелочность общая	ммоль/дм³	4,7 4,0	4,2 4,1	7,16 4,5	5,4 4,2	1,5 0,5	4,3...4,6 3,5	7,0 6,5		
6 7 8 9 10 11	Бикарбонаты Хлориды Сульфаты Калий Кальций Магний	мг/дм³	242,9 24,1 59,7 0,91 62,3 19,4	251,9 23,7 77,9 1,03 54,9 19,0	276,9 97,0 173,1 2,59 84,5 36,4	258,2 48,3 103,6 1,51 67,2 24,9	30 — — 2,0 25...30 5,0	200 150...180 125...150 — 50...75 15...42	400 350 500 20,0 80...140 50...90		
Важнейшие эссенциальные МЭ											
12 13 14 15 16 17 18 19	Железо Медь Цинк Марганец Хром Селен Молибден Кобальт		мг/дм³	<0,1 <0,002 <0,005 <0,01 отс <0,001 <0,0025 <0,02	0,3 <0,002 <0,005 0,07 отс 0,003 0,003 0,04	0,15 <0,002 0,021 <0,01 отс 0,003 <0,0025 <0,02	0,18 <0,002 0,01 0,03 отс 0,002 0,003 0,03	0,1 0,05 1,0 — — — — —	— — — — — — — —	0,3...0,7 1,0 5,0 0,05...0,1 0,05 0,01 0,07 0,1	
Условно-эссенциальные МЭ											
20 21 22 23	Фториды Литий Никель Кремний			мг/дм³	0,26 <0,005 отс 6,9	0,35 0,009 отс 8,7	0,36 0,018 отс 5,2	0,32 0,011 отс 6,9	0,3...0,6 — — —	0,7 — — —	1,2...1,5 0,03 0,02...0,1 10,0

Таблица 3

Коэффициенты корреляции взаимозависимых переменных R

Заболеваемость населения (см. табл. 1)		Микроэлементы в питьевой воде г. Магнитогорска (см. табл. 2) X _i									
		Ca	Mg	Cu	Zn	F	SO ₄	Mo	Se	Co	Cl
Класс МКБ	Y _i	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
III	Y1	0,71	0,04	0,53	0,78	0,02	0,58	0,55	0,83	0,81	0,39
IV	Y2	0,97	0,11	0,31	0,87	0,37	0,80	0,40	0,44	0,76	0,79
IX	Y3	0,36	0,81	0,11	0,01	0,37	0,78	0,47	0,43	0,08	0,59
X	Y4	0,21	0,68	0,32	0,14	0,39	0,44	0,43	0,66	0,32	0,16
XI	Y5	0,23	0,37	0,92	0,24	0,24	0,42	0,69	0,08	0,71	0,02
XIII	Y6	0,48	0,91	0,24	0,80	0,62	0,11	0,92	0,10	0,67	0,03
XIV	Y7	0,78	0,29	0,08	0,62	0,17	0,97	0,01	0,53	0,45	0,76
XVII	Y8	0,07	0,18	0,15	0,36	0,09	0,41	0,13	0,85	0,10	0,18



$b_1, b_2, \dots, b_k$ — коэффициенты регрессии. Расчет коэффициентов регрессии автоматизирован с помощью программы STATGRAPHICS.

Полученные коэффициенты регрессии (b_i) проверялись на значимость с помощью t -критерия Стьюдента. Для этого с целью нахождения ошибки эксперимента находим дисперсию воспроизводимости

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}{f_y}, \quad (2)$$

где N — количество исследуемых точек; Y_i , $\bar{Y}$ — ежегодный и средний уровень заболеваемости населения; $\bar{Y} = \sum Y_i / N$; f_y — число степеней свободы — величина, показывающая, какое число связей независимых наблюдений осталось не задействовано ($f_y = N - 1$, так как одна связь использована при нахождении $\bar{Y}$).

Затем определяем значения t -критерия для каждого фактора:

$$t = \frac{|b_i| \sqrt{N}}{\sqrt{S_y^2}}. \quad (3)$$

Полученные значения сравнивали с табличным значением критерия Стьюдента $t_{\text{табл}}$, найденным при числе степеней свободы f_y и определенном уровне значимости $q = 0,05$. Если $t > t_{\text{табл}}$, то коэффициент значимо отличался от нуля, если же $t < t_{\text{табл}}$, то $b_i = 0$.

Адекватность полученных уравнений регрессии оценивали с помощью критерия Фишера (FR) при уровне значимости 0,05:

$$FR = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2}, \quad (4)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ — дисперсия адекватности;

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - Y)^2}{f_{\text{ад}}}, \quad (5)$$

где Y — расчетные значения, получаемые по уравнению (1); $f_{\text{ад}} = N - d$ — число степеней свободы; d — число значимых коэффициентов.

Полученные уравнения регрессии, индексы детерминации, дисперсии адекватности, критерии Фишера приведены в табл. 4.

Полученные уравнения регрессии адекватны ($FR_{\text{рас.}} < FR_{\text{табл.}}$). Связь между показателями надежная, установленные зависимости можно считать объективными и обоснованными. Надежность выбранной методики подтверждает факт того, что в корреляционный анализ были включены болезни органов дыхания, корреляционные связи которых с МЭ питьевой воды оказались незначительными.

У взрослого населения болезни крови коррелируют с содержанием в водопроводной воде кальция (0,71), цинка (0,78), селена (0,83), кобальта (0,81), болезни эндокринной системы с кобальтом (0,76), хлоридами (0,79), сульфатами (0,8), цинком (0,87) и кальцием (0,97), болезни системы кровообращения с магнием (0,81) и сульфатами (0,78), болезни органов пищеварения с кобальтом (0,71) и медью (0,92), болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани с цинком (0,80), магнием (0,92) и молибденом (0,92), болезни мочеполовой системы с хлоридами (0,76), кальцием (0,78) и сульфатами (0,97). Среди детского населения выявлена корреляция между врожденными аномалиями и содержанием в водопроводной воде селена (0,85).

Корреляционные зависимости между содержанием фтора в питьевой воде и заболеваемостью населения города Магнитогорска не выявлены, поскольку стоматологическая статистика не анали-

Таблица 4

Уравнения регрессии многофакторного эксперимента

Линейное уравнение регрессии	Индекс детерминации R^2	Дисперсия адекватности $S_{\text{ад}}^2$	Критический Фишера	
			$FR_{\text{расч}}$	$FR_{\text{табл}}$
$Y1 = -13,36 - 0,12Ca + 111,16Zn - 779,3Se - 9,27Co$	100,0	1,54	14,0	215,7
$Y2 = 49,03 - 0,10SO_4 - 90,03Co - 0,05Cl$	98,53	10^{-3}	$13 \cdot 10^{-3}$	19,0
$Y2 = 78,22 - 0,64Ca + 1052,8Zn$	93,72	0,645	0,86	10,1
$Y3 = 198,45 + 2,14Mg - 1,55SO_4$	61,3	1,49	$1,59 \cdot 10^{-2}$	10,1
$Y5 = 77,25 - 1892,9Cu + 2,79Co$	83,6	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-4}$	10,1
$Y6 = 146,8 - 1,83Mg - 9151,0Zn - 1662,3Mo$	99,38	4,41	0,50	19,0
$Y7 = 121,17 - 0,84Ca - 0,46SO_4 + 0,85Cl$	97,61	2,02	0,33	19,0
$Y8 = 1,1 - 136,4Se$	71,6	0,00017	0,08	7,7

зировалась, а биологическое значение фтора — это формирование зубной эмали [21, 22].

В корреляционный анализ не включены такие эссенциальные МЭ, как хром и никель — ввиду их отсутствия в питьевой воде. Хром оказывает действие на процессы кроветворения, на углеводный обмен и энергетические процессы [20, 23]. При дефиците никеля отмечается отставание в развитии, нарушается репродуктивная функция, гемопоэз, распределение других МЭ: железа, цинка и меди. Интересно отметить, что симптомы дефицита никеля во многом схожи с симптомами недостатка витамина В₁₂ [21].

Показано, что дефицит микроэлементного состава питьевой воды г. Магнитогорска влияет на заболеваемость его населения некоторыми неинфекционными заболеваниями, такими как болезнями крови, кроветворной системы и системы кровообращения; болезнями эндокринной системы, органов пищеварения, мочеполовой и костно-мышечной систем, а также врожденными аномалиями.

Список литературы

1. Сидоренко Е. Н., Захарченко М. П., Маймулов В. Г., Кутепов Е. Н. Проблемы гигиенической диагностики на современном этапе. — М., 1995. — 194 с.
2. Мудрый И. В. О влиянии минерального состава питьевой воды на здоровье населения (обзор) // Гигиена и санитария. — 1999. № 1. — С.15—18.
3. Мишина С. В., Майбородина Г. Ф. Минеральный состав питьевой воды и здоровье населения. — Новосибирск. 1985. — С.43—46.
4. Авцын А. П., Жаворонков А. А., Риш М. А., Строчкова Л. С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органопатология. — М.: Медицина, 1991. 496 с.
5. Региональные проблемы и управление здоровьем населения России / Под ред. В. Д. Белякова. — М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. — 436 с.
6. Лутай Г. Ф., Воробьева Л. В., Семенова В. В., Чурмеева М. А. Эколого-гигиеническая оценка природного качества вод и риска здоровью населения // Питьевая вода. 2005. № 5. — С. 25—26.
7. Плитман С. И. и др. К вопросу корректировки гигиенических нормативов с учетом уровня жесткости питьевой воды // Гигиена и санитария. 1989. № 7. — С. 7—9.
8. Рахманин Ю. А. и др. Экспериментальные и клинико-физиологические материалы к обоснованию нижних пределов минерализации опресненной питьевой воды // Гигиена и санитария. — 1975. — № 7. — С. 28—30.
9. **Total Dissolved Solids (TDS)** [Technical document — Chemical / Physical Parameters], September 1978 (Updated January 1991)//URL: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/tds-mdt/index-eng.php>. (дата обращения 3.05.2010).
10. Панченко Л. Ф., Маев И. В., Гуревич К. Г. Клиническая биохимия микроэлементов. — М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2004. — 368 с.
11. Пол Бергнер. Целительная сила минералов, особых питательных веществ и микроэлементов. — М.: Крон-Пресс, 1998. — 288 с.
12. Кошкина В. С. Экология и здоровье населения крупного промышленного центра черной металлургии: Монография. — Магнитогорск: МаГУ, 2004. — 205 с.
13. Сычев Ю. А., Антипанова Н. А., Кошкина В. С., Тахтина К. Н., Менухов Е. А., Волкова С. В. Гигиеническая оценка загрязнения объектов окружающей среды канцерогенными для человека химическими веществами и индикация их в биосредах человека / Сборник научных докладов Всероссийской научной конференции "Проблемы экологически обусловленных нарушений состояния здоровья населения промышленных городов Южного Урала с развитой отраслью черной металлургии (медицинские, психолого-педагогические аспекты)". Магнитогорск: МаГУ, 2004. С. 162—164. СанПиН 2.1.4.1074—01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2001. — 111 с.
15. СанПиН 2.1.4.1116—02. "Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству питьевой воды, расфасованной в емкости. Контроль качества". М.: Госкомсанэпиднадзор России, 2002. — 96 с.
16. Онищенко Г. Г. Вода и здоровье. Водоочистка. 2005. № 10. — С. 3—4.
17. **Selenium**. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality — Technical Document. April 1979 (Updated December 1992)//URL: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/selenium/index-eng.php> (дата обращения 2.06.2009).
18. **Guidelines** for drinking-water quality, 2nd ed. Volume. 2. Health criteria and other supporting information, World Health Organization, Geneva, 1996. p. 94.
19. **Zinc**. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality — Technical Document, 1979 //URL: <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/zinc/mdex-eng.php> (дата обращения 2.06.2009).
20. Snitynskyi V. V. Solohub L. I., Antoniuk H. L., Kopachuk D. M., Herasymiv M. H. Biological role of chromium in humans and animals/TW. MJ., 1999. V. 71. № 2. P. 5—9.
21. Burtis C. A., Ashwood E. R. (eds.) Tietz textbook of clinical chemistry. — Philadelphia, London, Toronto, Montreal, Sydney, Tokyo: W. B. Saunders Company, 1999. P. 982—1054.
22. Бугаев Т. М., Меркулова Н. А., Котоян М. Р., Сердюк Н. В. Влияние недостатка содержания фтора в питьевой воде на заболеваемость населения РСО-Алания. Питьевая вода. 2005. № 4. с. 29—30.
23. **Steams D. M.** Is chromium a trace essential metal?//Biofactors, 2000. V. 11. № 3. P. 149—162.

УДК 674.0:628.5

В. Н. Старжинский, д-р техн. наук, проф., **Д. Р. Гагарин**, асп.,
Уральский государственный лесотехнический университет
E-mail: demonsaab@mail.ru

К расчету излучения шума обрабатываемой заготовкой при пилении древесины круглыми пилами

Рассмотрена акустическая модель для расчета звуковой мощности, излучаемой деформированными волокнами древесины при пилении ее круглыми пилами. В основу модели положен точечный источник шума (монополь) и рассмотрен механизм возникновения шума при пульсирующей нагрузке с учетом геометрии срезаемого слоя древесины.

Ключевые слова: круглопильные станки, шум, уровни звуковой мощности, упругое деформирование древесины, сферический излучатель (монополь), производительность источника, снижение шума.

Starzhinskiy V. N., Gagarin D. R. *To calculation of noise emission by processing bar at sawing of wood with a disk saws*

The acoustic model for calculation of sound capacity, emitted by the deformed fibres of wood at sawing with round saws is offered. The dot source of noise (monopole) is put in a basis of model. The mechanism of occurrence of noise with allowance for pulsing load and geometry of cut off layer of wood is considered.

Keywords: disk saw, noise, sound capacity, elastic deforming of wood, spherical emitter (monopole), productivity of radiant, reduction of noise.

1. Круглопильные станки относятся к разряду наиболее шумного деревообрабатывающего оборудования, уровни звука на рабочих местах которых достигают 110...115 дБА) В соответствии с санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562—96 класс условий труда по шумовому фактору на рабочих местах находится в пределах 3.2...3.4, т. е. условия труда являются вредными.

Снижению шума при резании древесины круглыми пилами посвящены многие исследования как у нас в стране, так и за рубежом.

Общие выводы этих исследований можно сформулировать следующим образом:

— основной вклад в механизм шумообразования дает процесс взаимодействия пилы с обрабатываемым материалом;

— спектр шума рабочего хода имеет ярко выраженный высокочастотный характер;

— шум холостого хода носит аэродинамический характер;

— в шуме рабочего хода круглопильных станков превалирует шум механического происхождения (колебания древесины в пропиле и вибрации пильного диска).

Исследования последних 5...10 лет дали мало нового в понимании процессов шумообразования при работе круглопильных станков [1]. В работах не представлен энергетический баланс потоков звуковой энергии по частотному спектру. А это дает важную информацию о механизмах возникновения шума и его источниках. При рассмотрении процессов шумообразования анализируются только колебания пильных дисков и не учитываются процессы излучения звука, т. е. механизмы преобразования колебательной энергии в акустическую. Не рассмотрены источники шума, связанные с обрабатываемой заготовкой, не проанализированы соотношения излучаемой звуковой мощности между различными источниками в процессе пиления древесины. Это приводит к ошибочным результатам при разработке мер по снижению шума круглопильных станков.

2. Целью настоящей работы является анализ звуковой мощности, излучаемой объемными деформациями древесины в зоне резания при ее пилении.

Рассмотрим процессы возникновения шума при резании древесины круглыми пилами.

Резание — сложный технологический процесс. Сложность его обусловлена следующими обстоятельствами [2]:

— древесина и древесные материалы имеют сложную структуру и различные показатели свойств не только в пределах одной породы или вида материала, но даже в пределах одного ствола дерева или заготовки; показатели свойств также меняются в процессе резания;

— в процессе резания непрерывно изменяются параметры микрогеометрии лезвия, что приводит

к его затоплению и ухудшению оценочных показателей резания;

— протекающие при резании механические процессы создания в обрабатываемом материале напряженного состояния и деформирования вплоть до разрушения сопровождаются и осложняются процессами превращения части механической энергии, расходуемой на резание, в другие ее виды, в том числе в акустическую.

Процесс резания представляет собой механическое разрушение твердого тела — заготовки. При удалении срезаемого слоя в материале создается напряженное состояние, приводящее к деформированию этого слоя вплоть до его разрушения. Области (поля) напряжений и разрушений захватывают материал и за пределами номинальной поверхности резания.

Деформирование волокон древесины после их разрушения за пределом упругости приводят к колебаниям объема сдеформированной древесины и, как следствие, к возникновению шума.

При анализе процесса резания наибольший интерес представляет деформирование сжатием, под которым понимается перестройка структуры древесины в результате изгиба стенок ее клеток.

Закономерности деформирования древесины определяются следующими условиями: анатомическим строением древесины, ее физико-механическими свойствами, формой лезвия зуба пилы, толщиной срезаемого слоя и скоростью резания.

При резании древесины в процессе шумообразования в равной степени участвуют как режущий инструмент, так и обрабатываемый материал.

По механизму генерации звуковых волн при пилении древесины (рабочий ход) можно выделить следующие три основных источника.

А. Объемные деформации материала древесины в зоне резания. После перерезания волокон древесины высвобождается кинетическая энергия, накопленная в результате упругой деформации сжатого объема волокон, которая излучается в окружающее пространство в виде звука. Величина этого объема относительно небольшая, что позволяет представить его с акустических позиций в виде элементарного излучателя — монополя.

Б. Изгибные колебания заготовки как единого массива (пластины) из-за ее упругих свойств под действием динамических переменных сил резания.

В. Изгибные колебания инструмента (пилы) под действием сил резания.

3. В настоящей работе рассмотрен только первый из перечисленных источников шума, как наименее изученный. Сложные акустические процес-

сы и источники излучения можно свести к упрощенным моделям. Они облегчают анализ зависимостей между параметрами процесса излучения и характеристиками источника колебаний и позволяют наметить возможные пути ослабления излучения.

Естественно, что при отсутствии надежных констант при определении силовых показателей процесса резания и идеализации процессов излучения звука в предлагаемой акустической модели, аналитически получить точные значения абсолютных показателей звуковой мощности трудно.

В предлагаемой акустической модели были приняты следующие допущения:

— излучение шума производится элементарными сферическими излучателями (монополями) [3];

— в области рассматриваемых нагрузок действует закон Гука;

— колебания деформированного объема древесины происходят синфазно по поверхности древесины, участвующей в излучении звука, и его размеры в заготовке существенно меньше длин звуковых волн в воздухе;

— деформации распространяются в заготовке мгновенно.

Пульсирующая сфера (монополь) представляет собой шар, объем которого меняется по периодическому (гармоническому) закону, причем колебания всех точек его поверхности описываются одной и той же функцией времени, т. е. в любой момент времени имеют равные амплитуды и фазы [3, 4].

Пульсирующая среда служит хорошей аппроксимацией при расчете звукового поля любых источников пульсирующего типа при условии, что длина волны значительно больше размеров источника. В этом случае дифракционные явления приводят к тому, что излучение распределяется равномерно во все стороны, какова бы ни была форма пульсирующего источника.

Звуковое давление, излучаемое таким источником, определяется только объемным потоком и ничем иным [3].

Энергетически вклад в звуковое поле волновых функций более высоких порядков, возбуждаемых малым источником, пренебрежимо мал по сравнению с вкладом волновой функции нулевого порядка.

Сфера той же площади, что и площадь поверхности рассматриваемого объема сдеформированной древесины, излучает ту же звуковую мощность, если оба излучателя создают одинаковый объемный поток.



Звуковая мощность монополя P , Вт, зависит от амплитуды объемной скорости источника или, так называемой, производительности источника, равной произведению колебательной скорости поверхности источника на его площадь [3].

$$P = \frac{k^2 Q^2 \rho c}{8\pi} = \frac{k^2 (vS)^2 \rho c}{8\pi} = \frac{\rho \pi f^2 S^2 v^2}{2c}, \quad (1)$$

где $Q = vS$ — полное объемное смещение (производительность) источника, м³/с; ρ — плотность воздуха, $\rho = 1,21$ кг/м³; c — скорость звука, $c = 340$ м/с; $k = \frac{2\pi f}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{w}{c}$ — волновое число; f — частота звука, Гц; w — угловая частота, 1/с; λ — длина звуковой волны, м; v — колебательная скорость поверхности источника, м/с; $S = 4\pi r^2$ — площадь поверхности излучателя, м²; r — радиус сферы, м.

4. Важным моментом в расчете звуковой мощности в предлагаемой модели является определение размеров зоны объемной деформации древесины при резании, т. е. производительности источника.

Рассмотрим процесс пиления. Пиление древесины на круглопильных станках с нижним и верхним положением пильного вала ведут по схеме, изображенной на рис. 1. Заготовка 3 перемещается по столу 4 и надвигается на вращающуюся пилу 1 со скоростью подачи v_s . Пила закреплена на пильном валу зажимными фланцами 2.

Объемные деформации, участвующие в формировании звукового поля, расположены на боковых поверхностях распиливаемой заготовки. Дно пропила не влияет на шумовой фон, так как колебания волокон дна пропила демпфируются опилками в межзубной впадине. Таким образом, объем-

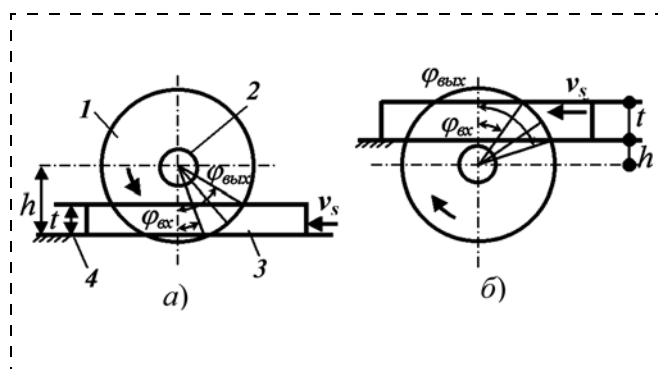


Рис. 1. Схема пиления круглой пилой:

а — с верхним расположением пилы; б — с нижним расположением пилы

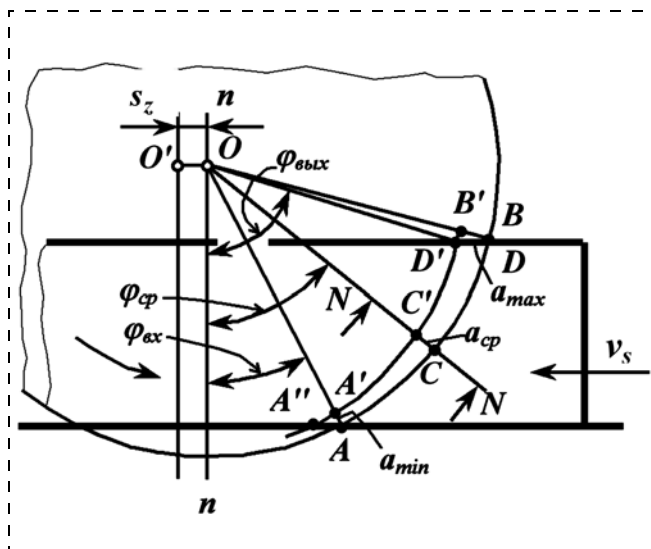


Рис. 2. К расчету толщины срезаемого слоя

ные деформации (производительность) точечного источника будут равны произведению удвоенной площади срезаемого слоя за 1 с на глубину деформации стенок пропила.

Рассмотрим геометрию срезаемого слоя древесины при верхнем положении пильного вала (рис. 2) [2].

Слой срезается по дуге AB , которую называют дугой контакта зуба с древесиной. Точка A является точкой входа, точка B — точкой выхода зуба из древесины. Средняя точка C делит дугу контакта пополам. Отмеченным точкам соответствуют угол входа $\varphi_{вх}$, угол выхода $\varphi_{вых}$ и средний угол $\varphi_{ср}$, которые отсчитываются от нормали nn в направлении подачи. Величины углов $\varphi_{вх}$ и $\varphi_{вых}$ определяются расстоянием h , радиусом пилы и высотой пропила (см. рис. 1).

Угол, соответствующий дуге резания или длине срезаемого слоя, называют углом контакта, град:

$$\varphi_{\text{конт}} = \varphi_{\text{вых}} - \varphi_{\text{вх}}. \quad (2)$$

Длина срезаемого слоя вычисляется как длина дуги контакта:

$$l = \frac{\pi D}{360} \varphi_{\text{конт}}, \quad (3)$$

где D — диаметр пилы, м.

При подаче заготовки два соседних зуба формируют разные поверхности дна пропила: предыдущий зуб — поверхность со следом $A''C'D'$, последующий зуб — поверхность со следом ACB . Расстояние между этими поверхностями по направлению подачи равно s_z . Расстояние по нор-

мали — кинематическая толщина слоя a — различно и вычисляется по формуле

$$a = s_z \sin \varphi,$$

где $s_z = v_s/nz$ — величина подачи заготовки на один зуб, м; v_s — скорость подачи, м/с; n — частота вращения пилы, с⁻¹; z — число зубьев пилы.

Частные значения толщины слоя:

минимальная (отрезок AA' при положении зуба в точке входа):

$$a_{\min} = s_z \sin \varphi_{\text{вх}};$$

максимальная (отрезок DD' примерно равен BB' — расстоянию между смежными траекториями зубьев в точке выхода):

$$a_{\max} = s_z \sin \varphi_{\text{вых}};$$

средняя (отрезок CC' на середине дуги контакта);

$$a_{\text{ср}} = s_z \sin \varphi_{\text{ср}}.$$

Величину $a_{\text{ср}}$ иногда определяют по площади боковой поверхности слоя:

$$a_{\text{ср}} = f_{\text{сл}}/l = s_z t/l. \quad (4)$$

Производительность источника

$$Q = 2la_{\text{ср}}\delta nz, \quad (5)$$

где δ — глубина деформирования стенок пропила, м; для оценочных расчетов значение величины δ можно взять из работы [2].

Подставив значение $a_{\text{ср}}$ в формулу (5), получаем

$$Q = 2s_z t \delta nz. \quad (6)$$

Лезвие зуба, двигаясь в древесине и образовывая новые поверхности, воздействует на ее микроструктурные элементы. При сжатии, растяжении и сдвиге древесины объем древесного вещества, из которого образованы микроструктурные элементы (древесные клетки), практически не изменяется; значительно меняются форма и внутренний объем самих клеток, за счет чего они деформируются.

Величина перемещения (сдвига) в стенке клетки и во всем образце древесины не превышает толщины стенки клетки (около 8 мкм). Поэтому величину δ можно принять равной 0,00001 м.

5. Подставляя формулу (6) в формулу (1) получаем звуковую мощность, излучаемую перерезан-

ными волокнами древесины, отнесенную к полосе частот в 1 Гц

$$P = \frac{k^2 \rho c (2s_z t \delta nz)^2}{8\pi} = \frac{\pi \rho f^2 Q^2}{c} = \frac{\pi \rho f^2 (s_z r \delta nz)^2}{c}, \quad (7)$$

где $2s_z t = S$ — площадь поверхности излучателя, м²; $\delta nz = v$ — колебательная скорость поверхности излучателя, м/с.

Введем пороговые параметры ($P_0 = 10^{-12}$ Вт; $S_0 = 1$ м²; $v_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с), прологарифмируем по основанию 10 и умножим на 10 уравнение (7). Получим:

$$10 \lg \frac{P}{10^{-12}} = 10 \lg \frac{\pi \rho}{c} + 10 \lg f^2 + 10 \lg \left(\frac{Q}{10^{-8}} \right)^2. \quad (8)$$

Переходя к шкале звуковых уровней, подставляя значения величин π , ρ , c имеем:

$$L_p = 20 \lg Q + 20 \lg f + 140, \quad (9)$$

где L_p — уровень звуковой мощности, дБ.

Раскрывая значения Q , получаем:

$$L_p = 20 \lg s_z + 20 \lg t + 20 \lg \delta + 20 \lg zn + 20 \lg f + 140. \quad (10)$$

Условием применимости уравнения (10) являются требования малости радиуса пульсирующего источника r по сравнению с длиной излучаемой звуковой волны λ ($r < \lambda$) [4, 5].

Поскольку площадь поверхности излучателя $S \approx 2s_z t$, то радиус эквивалентной пульсирующей сферы

$$r = \sqrt{\frac{S}{4\pi}} = \sqrt{\frac{2s_z t}{4\pi}}. \quad (11)$$

Для большинства случаев пиления на круглопильных станках это условие выполняется во всем нормируемом диапазоне частот.

Из формулы (10) следует, что при постоянной производительности источника излучаемая мощность значительно возрастает с частотой (6 дБ на октаву). На эту же величину (6 дБ) излучаемая мощность увеличивается при увеличении в 2 раза каждого из следующих параметров: подачи, высоты пропила, числа зубьев и частоты вращения пилы.

6. На рис. 3 по результатам измерений приведен график спектра звуковой мощности при работе универсального круглопильного станка Ц-6 (диаметр пилы — 500 мм; частота вращения — 2800 мин⁻¹; высота пропила $t = 40$ мм; скорость подачи заготовки

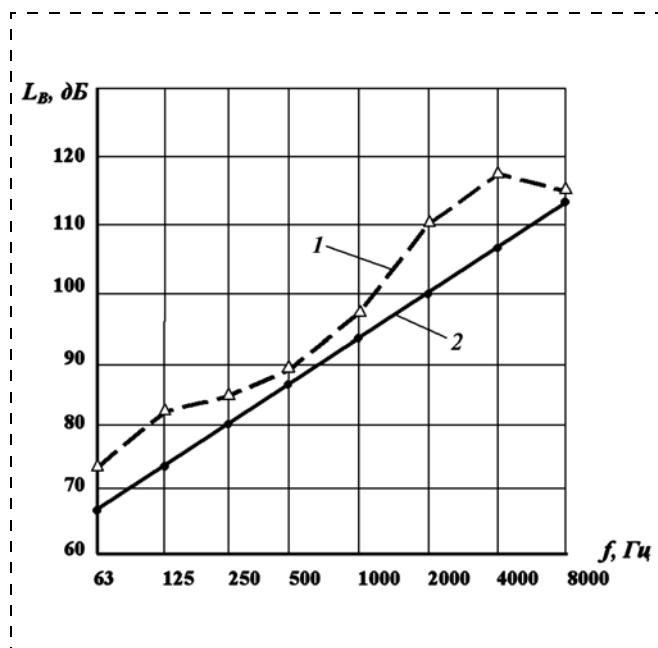


Рис. 3. График спектра звуковой мощности круглопильного станка Ц-6:

1 — спектр общей звуковой мощности при пилении; 2 — спектр звуковой мощности от перерезания волокон древесины

$v_s = 50$ м/мин). Здесь же нанесен график спектра звуковой мощности, излучаемой перерезанными волокнами древесины, рассчитанной по формуле (10).

В низко- и среднечастотной области спектра шум от упругого деформирования волокон древесины при их перерезании не является доминирующим. На высоких частотах необходимо учитывать этот источник шума (как в рассматриваемом примере), поскольку он может определять общую звуковую мощность станка.

Рекомендуемые обычно мероприятия по шумоглушению за счет демпфирования пильных станков не дадут в этом случае никакого эффекта.

Предложенный инженерный расчет позволяет прогнозировать соотношения между звуковыми мощностями различных источников шума при пилении древесины круглыми пилами и более обоснованно намечать мероприятия по снижению их шума.

Опыт многолетних работ по снижению шума круглопильных станков показывает, что для уменьшения уровня звуковой мощности необходимо снижать скорость резания и подачи, а также, по возможности, выбирать пильные диски с меньшим числом зубьев. Это приведет к снижению как шума от перерезывания волокон древесины, так и шума, излучаемого пильным диском (см. формулу (10)). Однако эти меры ограничены технологическими требованиями пиления древесины и дают недостаточный акустический эффект (порядка 5...7 дБ).

Поэтому наряду с указанными рекомендациями необходимо использование комплекса архитектурно-строительных мероприятий: звукоизолирующих кожухов и экранов, ограничивающих распространение шума на рабочее место станочника, а также звукопоглощающей облицовки ограждающих конструкций производственных помещений, где установлены станки.

Список литературы

1. Месхи Б. Ч. Улучшение условий труда операторов металлорежущих и деревообрабатывающих станков за счет снижения шума в рабочей зоне. — Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2003. — 130 с.
2. Любченко В. И. Резание древесины и древесных материалов. — М: МГУЛ, 2004. — 309 с.
3. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы. — М.: Мир, 1971. — 560 с.
4. Тюлин В. Н. Введение в теорию изучения и рассеяния звука. — М.: Наука, 1976. — 253 с.
5. Справочник по технической акустике: Пер. с нем. / Под ред. М. Хекла и Х. А. Мюллера. — Л: Судостроение, 1980. — 438 с.

АНОНС

В следующем номере журнала будет опубликована статья **И. Г. Гоголева, Т. А. Николаевой и А. М. Дроконова** "Влияние расхода охлаждающего воздуха на структуру потока и шумоизлучение турбинной ступени".

УДК. 624.9К-90

А. А. Александров, д-р тех. наук, **В. Ю. Емельянов**, МГТУ им. Н. Э. Баумана, **В. Н. Кирпичников**, канд. техн. наук, Управление экологического контроля Мосгосстройнадзора
E-mail: 72072@mail.ru

Результаты испытаний установки рекуперации паров нефтепродуктов "ЭРЕСТ" на АЗС в Москве

Приведены результаты натурных испытаний установки "ЭРЕСТ", а также фильтра ФБ-50, массово применяемого операторами АЗС в качестве "средства сокращения потерь". Даны зависимости концентрации выбрасываемых паров при "большом дыхании" при использовании данных технических средств.

Ключевые слова: рекуперация паров углеводородов; паровоздушная смесь; пары нефтепродуктов; установка рекуперации паров; системы улавливания легких фракций; газовое пространство резервуара; нефтепродуктообеспечение.

Aleksandrov A. A., Yemelyanov V. Yu., Kirpichnikov V. N. Results of nature tests of vapour recovery device of petrol or petroleum product "ECRET" at the moscow petrol station.

Here is discussed of results of natural tests of installation "ECRET" and filter FB-50 in large quantities applied by operators of the petrol station in quality of "means of reduction of losses" are resulted. Dependences of concentration of thrown out steams are resulted at "the big breath" at use of the given means.

Keywords: vapour recovery systems of hydrocarbons; a steam-air mix; steams of mineral oil; the gas station; installation pekunepaцuu steams; systems of catching of easy fractions; gas space the tank; petroleum product provisions.

Вопрос улавливания и утилизации паров нефти и нефтепродуктов на современных экологически безопасных АЗС/АЗК [1] представляет собой комплексную многоуровневую задачу, требующую безотлагательного решения для сохранения чистоты воздуха в городах и мегаполисах и повышения конкурентоспособности. Этой проблеме посвящено большое количество исследований и публикаций. Приведенные в них данные анализа количественных и качественных факторов загрязнения воздуха показывают, что задачи охраны окружаю-

щей среды и пожарной безопасности являются стратегическими. Более того, их решение невозможно без оптимизации социально-экономического эффекта.

Для решения этих задач с середины 1960—1970-х годов в сфере нефтепродуктообеспечения используются технические средства, получившие название системы улавливания легких фракций (СУЛФ). В те годы СУЛФ в основном использовались на крупных нефтебазах и являлись механическими: понтоны или газгольдеры. Иные технически более сложные системы (абсорбционные, конденсационные и т. п.) оставались одиночными экспериментальными экземплярами.

На рубеже тысячелетия, в связи с вышеуказанными причинами и увеличением стоимости добываемой нефти интерес к СУЛФ возобновился. Как результат, сегодня на рынке представлены установки рекуперации паров нефтепродуктов, различающиеся по стоимости, производительности и принципу работы [1]. Проведенный анализ показал, что, к сожалению, экономически доступные СУЛФ на сегодняшний день обладают определенными недостатками [2]. Некоторые из них сняты с производства, другие требуют значительных эксплуатационных затрат, квалифицированного обслуживающего персонала и экономически нерентабельны, третьи, несмотря на обилие сертификатов и заключений, при детальном исследовании обнаруживают нулевую эффективность, являясь по сути муляжами, четвертые ограниченно пригодны для борьбы с "малыми и большими дыханиями" (МД и БД) одновременно, пятые целесообразно использовать при большом обороте нефтепродуктов G (более 1000 м³/ч).

Одно из технических средств сокращения потерь от испарения фильтр ФБ-50 (рис. 1 — см. 2-ю стр. обложки), широко используемое в частности операторами АЗС Москвы, было протестировано авторами с участием технического персонала АЗС № 8 (ЗАО "Транс АЗС") в различных режимах эксплуатации (см. таблицу). Результаты тестирования показали, что несмотря на множество сертифика-



Концентрация углеводородов, % об.		Температура, °С		Дата	Место установки
входная	выходная	окружающей среды	паровоздушн. смеси		
4 6 7,2	4 6 7,2	+8,6	+8,1	23.04.07	На входе СУЛФ $G = 28 \text{ м}^3/\text{ч}$
30,6 31,5 33	13,5* 31,5 33	+14,6 н. д. +15,8	+19,4 +19,5 +19,7	07.05.07	На выходе из резервуара (перед СМДК-50) $G = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$

* Зафиксированное снижение концентрации является временным и прекращается через 2...3 мин. после начала слива.

тов и разрешений, данное средство сокращения потерь от испарения таковым не является.

Более чем семилетний период борьбы столичных властей за чистый воздух, несмотря на разнообразие предлагаемых технических средств, к сожалению, не привел к решению проблемы выбросов и снижению экологической и пожарной опасности АЗС в Москве и других крупных городах.

За рубежом проблема улавливания паров нефтепродуктов решается более цивилизованно. Там пошли по пути сбора паров в месте из возникновения с доставкой на нефтяные предприятия с последующей утилизацией при закачке. Цепочка транспортирования паров следующая: бензобак, резервуар АЗС, цистерна топливозаправщика, СУЛФ на нефтяном предприятии. Утилизация осуществляется на территории нефтяных предприятий, где смонтированы СУЛФ, использующие процессы либо адсорбции/абсорбции, либо компримирования + конденсации. Как следствие, это приводит к величине выбросов вредных веществ в атмосферу порядка 0,1 % от объема перерабатываемого сырья (для России этот показатель равен 0,45 %) [3].

Для России данный подход, если и применим, то только в рамках вертикально-интегрированных нефтяных компаний. Остальным независимым торговцам моторным топливом (МТ) остается использовать на АЗС, терминалах слива/налива, нефтебазах и т. д. автономные эффективные СУЛФ.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана с 2002 г. существует рабочая группа ученых, занимающихся вопросами безопасности объектов ТЭК (руководитель д-р техн. наук А. А. Александров) и связанной с ней технологией улавливания паров моторного топлива. Результатом ее работы явилась отличная от существующих технология улавливания легких фрак-

ций. Данная технология и установка, ее реализующая, получила название "ЭРЕСТ" (экобезопасная ресурсосберегающая технология).

Установка "ЭРЕСТ", изготовленная на Опытном заводе МГТУ им. Н. Э. Баумана, представляет собой проточный сепаратор открытого типа, улавливание паров углеводородов в котором осуществляется при атмосферном давлении за счет процесса конденсации с использованием низких температур [4].

По окончании организационно-разрешительных процедур установка "ЭРЕСТ" была смонтирована в Москве на АЗС № 8, принадлежащей ЗАО "Транс АЗС". Внешний вид АЗС и смонтированной установки представлен на рис. 2 (см. 2-ю стр. обложки). Натурные испытания были проведены в период с сентября 2006 по май 2007 г. Целью испытаний было оценить влияние различных факторов на эффективность улавливания паров и качество (октановое число — ОЧ) получаемого конденсата.

Определялись условия проведения технологических операций, при которых обеспечивается максимальная эффективность установки "ЭРЕСТ". Для решения поставленных задач был создан специальный измерительный стенд (рис. 3 — см. 3-ю стр. обложки), используемое метрологические обеспечение которого было проверено и сертифицировано.

Было установлено, что на процесс насыщения углеводородами газового пространства (ГП) резервуара, характеризующегося концентрацией паров, большое влияние оказывает температура приповерхностного слоя нефтепродукта.

Важным аспектом проведения любых измерений является наличие соответствующей методики выполнения измерений (МВИ). Задача определения эффективности СУЛФ осложнялась тем обстоятельством, что нужно было в режиме реального времени, в полевых условиях с минимальными трудовыми, временными и финансовыми затратами измерить концентрацию выбрасываемых паров бензина. Поскольку вопросами улавливания паров и оценкой степени эффективности работы СУЛФ стали заниматься в Москве в начале XXI века, то исторический опыт отсутствовал. В данной ситуации Департамент природопользования и охраны окружающей среды правительства Москвы (В. Н. Кирпичников) совместно с ГосНИИ Минобороны России № 25 (О. Ю. Молчанов) разработали методическое обеспечение, позволяющее с заданной степенью достоверности измерить концентрацию паров, выбрасываемых АЗС, определить массу уловленных и выброшенных паров, а также эффективность того или иного технического решения [5, 6].

Для непосредственного измерения концентраций паров углеводородов на АЗС согласно МВИ [8] использовался оптический газоанализатор ГЗИ-ПБ, реализующий ИК-спектрометрический метод определения углеводородов в газе (запись в госреестре средств измерений № 30214-05 от 30.10.2005 г.). С целью исключения влияния ветра, атмосферного воздуха на результат измерения способ подачи газа в выносной блок-зонд газоанализатора ГЗИ-ПБ был модифицирован: выносной зонд-измерительная кювета прибора герметично изолировалась от окружающей среды, анализируемая паровоздушная смесь (ПВС) через смесительный коллектор по фторопластовым трубкам поступала в зонд. Для исключения влияния ветра и влажности на результат измерения концентрации ПВС измерительная кювета после каждого измерения продувалась техническим газообразным азотом.

Абсолютная погрешность измерения концентрации паров углеводородов газоанализатором ГЗИ-ПБ составляет не более $\pm 3\%$. В результате маркетингового исследования было установлено, что именно этот прибор является единственным среди выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью приборов, позволяющим в режиме реального времени определять концентрации углеводородов на выходе из дыхательного клапана при (БД) в полевых условиях.

Кроме измерения концентрации паров бензина в ПВС определялись: объемный расход ПВС на выходе из СУЛФ при МД и БД; температура и влагосодержание входного и выходного потоков.

В процессе измерения также фиксировались следующие показатели: атмосферное давление, температура окружающей среды, влажность воздуха, время слива, плотность и температура сливаемого нефтепродукта. С помощью штатной автоматизированной измерительной системы учета нефтепродуктов "Струна-М" регистрировались: температуры бензина в резервуаре (три уровня); температура в газовом пространстве (т. е. температура выходящей ПВС); уровень взлива и объем бензина. Объем сливаемого нефтепродукта определялся по товарно-транспортной накладной.

За период тестирования установки "ЭРЕСТ" было проведено более 40 измерений сливов бензовоза на АЗС, таким образом проведена оценка эффективности работы установки "ЭРЕСТ" при БД. Отметим, что МД и "обратный выдох" за период испытаний зафиксированы не были, поскольку газовое пространство (ГП) резервуаров на АЗС № 8 сообщались между собой единой замкнутой газовой обвязкой, обуславливающей вытеснение ПВС в атмосферу с некоторой задержкой (10...30 с) после начала слива.

По завершении измерений на АЗС результаты были обработаны по методике МВИ (рис. 4 и 5).

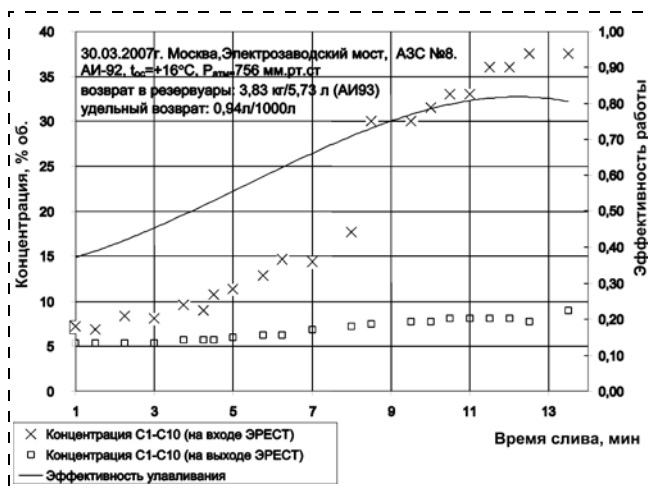


Рис. 4 Результаты измерения эффективности работы установки "ЭРЕСТ" в осенне-зимний период

Приведенные на рисунках зависимости показывают изменение объемной концентрации на выходе из дыхательного клапана АЗС для осенне-зимнего и весенне-летнего периода соответственно, что позволяет рассчитать минимальную и максимальную эффективность работы установки "ЭРЕСТ" в процессе слива. Интегральное значение эффективности равно 74,7 и 93,8 % в зимний и летний периоды соответственно. Удельное количество возвращаемого в резервуары АЗС конденсата составило 0,94 и 1,2 л на 1000 л закачиваемого топлива в зимний и летние периоды соответственно. Было установлено, что при соответствующей модернизации установки "ЭРЕСТ" возможно увеличить эффективность улавливания на 3...5 %.

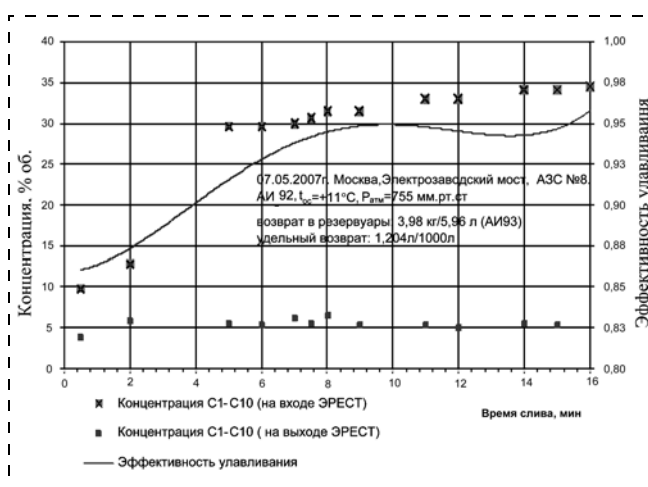


Рис. 5 Результаты измерения эффективности работы установки "ЭРЕСТ" в весенне-летний период



Несмотря на аномально теплую зиму, которая была в Москве в 2006...2007 гг. удалось установить, что летом эффективность улавливания паров выше, поскольку при температуре ГП выше $+6^{\circ}\text{C}$ качественный и количественный состав ПВС иной, чем при более низких температурах.

При осуществлении технологических операций на АЗС № 8 влияющим фактором было место расположения резервуара. Согласно существующей терминологии, данная АЗС является АЗС с наземным расположением резервуара, из-за чего закачка бензина из бензовоза в резервуары осуществляется принудительно с помощью насоса, что приводит к большой скорости закачки и объемного расхода ПВС (более $35\text{ м}^3/\text{ч}$) на выходе из дыхательного клапана.

Для проверки работы в условиях, характерных для 90 % российских АЗС, установку "ЭРЕСТ" вместе со стендом перевезли на АЗС в г. Реутово (рис. 6 — см. 3-ю сторону обложки). Там было установлено, что при сливе бензина из бензовоза в резервуар самотеком, согласно методике [6], с одновременным дополнительным оснащением топливо-раздаточного коллектора (ТРК) АЗС системой паровозврата из баков автомобилей количество возвращаемого установкой "ЭРЕСТ" бензина возрастает на 20...40 %. Эта прибавка объясняется как дополнительным количеством уловленных паров (пистолетом ТРК) из бензобака автотранспорта, так и спецификой конденсатообразования на развитых теплообменных поверхностях установки при малых расходах ПВС.

Установленный характер зависимости среднеинтегральной эффективности (см. рис. 4, 5) обусловлен двумя обстоятельствами: существованием квадратичной зависимости концентрации паров бензина по высоте ГП с одновременным нелинейным изменением площади поверхности испарения в процессе налива. Из кривых на рис. 4 и 5 также следует, что концентрация ПВС на выходе установки "ЭРЕСТ" выше верхнего концентрационного предела взрываемости паров бензина (автомобильного) с воздухом, что подтверждает взрывобезопасность данного технического решения.

Поскольку температура ГП определяет углеводородный состав ПВС и ее концентрацию, то в процессе испарения нефтепродуктов в атмосферу выделяются наиболее легкие (пусковые) фракции. Конденсация этих углеводородных фракций позволяет получить товарный бензин с ОЧ-91...93 по исследовательскому методу (по данным лабораторного анализа ОНКо ВНИИ нефтепереработки), который может в дальнейшем непосредственно реализовываться нефтетрейдером.

По оценке авторов стоимость возвращенного в товарооборот бензина с помощью установки "ЭРЕСТ" с учетом климатических условий Москвы и при розничной реализации бензина $6...7\text{ м}^3/\text{сут}$ составляет 50 тыс. руб./год. Для условий более жаркого климата (черноморское побережье Кавказа, Украина, Казахстан) данная цифра увеличится на 50...100 %. Это без учета штрафных платежей владельцев АЗС за отсутствующие или неработающие СУЛФ. Подробно методика определения суммы штрафов и порядок их взимания приведена в работе [1] и в постановлении Правительства Москвы [7].

Дополнительным преимуществом оснащения существующих АЗС/АЗК установками "ЭРЕСТ", является уменьшение санитарно-защитной зоны вокруг АЗС на 50 %. Это позволяет использовать дополнительные площадки под строительство гражданских и других объектов. В этой связи установка "ЭРЕСТ" может оказаться компромиссным решением, устраивающим всех: экологов, владельцев АЗС, авто владельцев, МЧС России и Ростехнадзор.

По результатам испытания установки "ЭРЕСТ" руководство ЗАО "Транс АЗС" в лице ген. директора В. Д. Смыкова приняло решение по завершении тестирования оставить установку "ЭРЕСТ" на АЗС № 49 в г. Реутово (см. рис. 6) и продолжить программу оснащений своих АЗС установками типа "ЭРЕСТ". Тем самым показав пример профессионального и дальновидного отношения к своему бизнесу. Можно быть уверенным, что воздух вокруг АЗС № 49 и реализуемое ей топливо будут всегда высшей пробы.

Список литературы

1. Александров А. А., Архаров И. А., Емельянов В. Ю. Деньги на ветер. Обзор действующих систем улавливания паров нефтепродуктов // Современная АЗС. — 2005. — № 10 (43). — С. 130—133; — № 11 (44) — С. 72—75.
2. Александров А. А. Обеспечение безопасности эксплуатации объектов хранения углеводородных топлив. — М.: Наука, 2007. — 149 с.
3. Абросимов А. А. Экология переработки углеводородных систем: Учебник. — М.: Химия, 2002. — 608 с.
4. Александров А. А., Архаров И. А., Емельянов В. Ю. Система улавливания легких фракций моторных топлив на автозаправочных станциях // Холодильная техника. — 2004. — № 8. — С. 30—33.
5. Методика выполнения измерений: "Определение концентрации углеводородов и объема выбросов паровоздушных смесей автомобильных бензинов, образующихся при эксплуатации АЗС".
6. Методические указания. Методика оценки эффективности функционирования системы улавливания паров автомобильных бензинов, установленных или предназначенных для установки на автозаправочных станциях / Департамент природопользования и охраны окружающей среды. — М., 2005.
7. Постановление Правительства Москвы от 22.02. 2005 г. № 94-ПП. Об утверждении Методики определения размера вреда, причиненного окружающей среде загрязнением атмосферного воздуха стационарными источниками загрязнения на территории города Москвы.

УДК 504.5:661.16-045.38

В. С. Громова, д-р биол. наук, проф, **И. В. Борисова**, **А. Г. Шушпанов**,
Орловский государственный технический университет
E-mail: bgdgtu@mail.ru

Некоторые аспекты отдаленных последствий загрязнения окружающей среды хлорорганическими пестицидами

Представлены методы определения содержания остаточных количеств хлорорганических пестицидов (ХОП) и продуктов их деградации в почвенной и воздушной среде как вокруг складов с неиспользованными пестицидами, так и на полях, обрабатываемых в прошлом комплексом ХОП. Проанализирован ионный состав водной вытяжки из почвенных образцов, отобранных на разных расстояниях от склада.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, почва, ионный состав.

Gromova V. S., Borisova I. V., Shushpanov A. G. *Some aspects of the remote consequences of environmental contamination by chlorineorganic pesticides*

Materials of definition of the maintenance of residual quantities chlorineorganic pesticides (COP) and products of their degradation in the soil and air environment both round warehouses with not used pesticides, and on the fields processed in the past by complex COP are presented. The ionic structure of a water extract from the soil samples who have been selected on different distances from a warehouse is analysed.

Keywords: chlorineorganic pesticides, soil, ionic structure.

Одна из наиболее острых проблем антропогенного загрязнения окружающей среды обусловлена поступлением в нее стойких к разложению органических ксенобиотиков, в том числе хлорорганических пестицидов (ХОП). Несмотря на то, что производство и применение этого класса пестицидов повсеместно запрещено, за исключением ДДТ, который еще применяется в некоторых странах, проблема негативного воздействия их на природные системы сохраняется, что обусловлено персистентностью этих соединений. Актуальность данной проблемы подтверждена на Стокгольмской конференции (2001), где была принята Конвенция по стойким органическим загрязнителям, признана необходимость разработки мер по снижению и предотвращению их вредного воздействия на человека и окружающую среду.

Для нашей страны наиболее актуальной является проблема, связанная с широкомасштабным

применением в прошлом и сохранением в настоящее время неиспользованных запасов ДДТ и ГХЦГ. По результатам инвентаризации, проведенной авторами по Орловской области, в настоящее время неиспользованные остатки пестицидов хранятся как в приспособленных складах, так и в несанкционированных местах. Считается, что наибольший вред природной среде наносят препараты при хранении их не только в несанкционированных местах, но и в могильниках, особенно при захоронении хорошо растворимых препаратов.

По данным, приведенным в работе [1], миграционная способность ХОП незначительна. Они в отличие от растворимых гербицидов, концентрируются в верхнем слое почвы (0...25 см). В то же время существует вторичная опасность, обусловленная способностью пестицидов при разложении образовывать токсичные газообразные хлорсодержащие продукты [2]. Поступая в атмосферу, они включаются в круговорот, поступают снова в почву с атмосферными осадками, нарушая равновесие химического состава почвенной среды. Если потенциальная опасность ХОП при хранении их в могильниках и несанкционированных местах очевидна, то экологические последствия хранения в хорошо оборудованных складах еще не изучены. Можно предположить, что это воздействие будет обусловлено летучими продуктами, выделяющимися при длительном хранении пестицидов. Наиболее агрессивное действие они оказывают будучи в хорошо растворимом состоянии.

В связи с этим цель описываемых здесь исследований состоит в изучении почвенной и воздушной среды на содержание остаточных количеств ХОП и продуктов их деградации в почве как вокруг складов с неиспользованными пестицидами, так и на полях, обрабатываемых в прошлом комплексом ХОП. Дополнительно необходимо проанализировать ионный состав водной вытяжки из почвенных образцов, отобранных на разных расстояниях от склада. В качестве основного объекта исследований принят склад, в котором в затаренном состоянии хранятся ХОП и другие виды устаревших пестицидов. Склад опечатан и представляет собой кирпичное здание в хорошем состоянии.



На расстоянии 3 м склад окружен рвом глубиной 0,75 м. Территория, на которой находится склад, имеет почву темно-серую лесную. Эта территория никогда не использовалась в сельскохозяйственном производстве. Исследования проведены в натурных и моделируемых условиях. Компостирование почвенных образцов проведено в герметичных пеналах, снабженных отводом для отбора проб газов. Аналитические методы и статистическая обработка результатов общеприняты.

Результаты исследований

Проведенные исследования показали, что в пахотном слое почвы на полях ХОП определяются только после подготовки проб разработанным авторами способом [3], позволяющим определять пестициды в прочно связанном состоянии. Обнаружены изомеры ГХЦГ (γ -ГХЦГ, β -ГХЦГ) и ДДТ (4,4 ДДТ). Концентрации составляют соответственно 0,15...0,25; 0,1...0,2; 0,35...0,50 мг/кг. В воздухе обнаружены газы: HCl (хлористый водород), SOCl_2 (фосген), HCN (цианистый водород) в концентрациях, соответственно, $0,8 \pm 0,5$; $1,5 \pm 0,3$; $2,7 \pm 0,7$ мг/м³. Моделирование условий позволило определить, что скорость распада пестицидов и выделения в воздух газообразных продуктов напрямую зависят от гидротермических условий, оптимальных для биологической активности почвы, и наличия других видов агрохимикатов — азотных удобрений и азотсодержащих гербицидов. Динамика выделения газов при компостировании почвы, содержащей остаточные количества ХОП, характеризуется ритмическими повторениями максимумов и минимумов, соответствующими динамике микробиологической деятельности. При разложении ХОП вне почвы интенсивность выделения газообразных продуктов значительно ниже, характер динамики приближается к прямой с постоянными значениями.

В почве, отобранной на разном расстоянии от склада, концентрация ХОП определяется в следовых количествах. Состав ионов в водной вытяжке различен. На расстоянии 0,5 м от склада содержание ионов

хлора и показатели жесткости значительно выше, чем в вытяжке из почвы, отобранной на расстоянии 3 м. Как видно из данных, приведенных в таблице, максимальные концентрации определяются в самых верхних слоях почвы 0...1 и 1...5 см, где наибольшее из рассмотренных проб количество ионов хлора.

Отличающиеся высокой подвижностью ионы хлора имеются даже в почвенном слое 20...25 см. Можно предположить, что вертикальная миграция их не ограничивается этой глубиной. Кислотность почвы увеличена, об этом свидетельствуют более низкие значения pH. С глубиной кислотность возрастает, что обусловлено, помимо других причин, снижением аэрации почвы. Полученные данные уже могут служить показателями деградационных процессов, происходящих в почве. Токсикологические исследования с семенами кресс-салата подтвердили этот вывод. Согласно полученным данным минимальный процент проросших семян (30 %) и максимальный процент гибели проростков (80 %) характерен для слоев 0...1 и 1...5 см. В нижних слоях количество проросших семян увеличивается до 70...80 %, но негативное воздействие среды сохраняется и носит более скрытый характер. Это подтверждается потерей жизнеспособности семян после 72-часовой экспозиции, они перестают развиваться, длина корешков не увеличивается. Зависимость между количеством проросших семян и концентрацией ионов хлора обратная, коэффициент корреляции R составляет $-0,94$. Подобная зависимость отмечается и для жесткости вытяжки — $R = -0,98$.

Заключение

Хлорорганические пестициды продолжают сохраняться в почве в виде изомеров. В основном они находятся в прочносвязанном состоянии, из которого выходят при определенных гидротермических условиях. В результате деградационных процессов остатки ХОП становятся источниками газообразных хлорсодержащих продуктов, загрязняющих атмосферный воздух. Идентичные газообразные продукты образуются и при длительном хранении ХОП на складах. Это подтверждается и измененным составом водной вытяжки из почвенных образцов, отобранных вблизи склада. Состав вытяжки характеризуется более высоким количеством ионов хлора, водорода и повышенной жесткостью. Наиболее высокие значения характерны для самых верхних слоев почвы — до 5 см, что свидетельствует о загрязнении почвы воздушным путем. Следствием изменения состава почвенной среды является увеличение ее фитотоксичности.

Проблема утилизация остатков хлорорганических пестицидов, как и других видов отходов, мо-

Значения pH, Cl^- и жесткости в водной вытяжке почвы
(в % от значений вытяжки из почвы,
отобранной на расстоянии 3 м от склада)

Глубина отбора проб, см	pH	Cl^-	Жесткость водной вытяжки
0...1	99,2	798,9	312,5
1...5	99,2	649,6	228,6
5...10	92,9	449,3	130,0
10...15	90,9	299,7	110,1
15...20	93,4	381,7	137,5
20...25	84,1	399,4	137,0

жет быть решена различными способами. По мнению авторов, этот способ должен быть экологически безопасным и экономичным, основан на биотехнологических принципах, т. е. с использованием субстратов, стимулирующих деятельность микробных сообществ, способных разлагать ХОП до конечных продуктов. Необходима также разработка способов, улавливающих и обезвреживающих токсичные летучие продукты, образующиеся при хранении ХОП.

Список литературы

1. Лунев М. И. Стойкие хлорорганические пестициды и проблемы загрязнения почв // Сб. материалов 2-ой МНК "Современные проблемы загрязнения почв". — М.: МГУ, 2007. — С. 21—24.
2. Громова В. С. О первичной и вторичной опасности пестицидов // Сб. трудов. Вып. 3. — Орел: ВНИИОТСХ, 1984. — С. 3—6.
3. Громова В. С. Способ определения хлорорганических пестицидов в почве — АС. №1385075 МКИ 01 №33/24 // Бюллетень № 12. 30.03.88.

УДК 504.03

Т. А. Кулагина¹, д-р техн. наук, проф., О. А. Козин², асп.

¹ Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

² Радиохимический завод горно-химического комбината, г. Железногорск

E-mail: v.a.kulagin@mail.ru

Разработка экоэффективных способов утилизации отходов радиохимических производств

Описана разработанная на основе комплексного анализа усовершенствованная технология обращения с труднорастворимыми отходами радиохимических производств, содержащими гидроалюмосиликат натрия. Предложенный метод контроля физических характеристик жидких радиоактивных отходов позволяет своевременно принимать меры по снижению риска возникновения радиационных аварий при подготовке жидких радиоактивных отходов к переводу их в твердое состояние и окончательное захоронение.

Ключевые слова: хранение особо токсичных жидких отходов, переработка отработавшего ядерного топлива, кавитационно-активированная вода, радиационная безопасность, экологически чистая технология.

Kulagina T. A., Kozin O. A. Development of techniques for wastes recovery from radiochemical plants

On complex analysis basis there have been developed the advanced technology of treatment with ill-dissoluble radiochemical plants wastes, containing natrium hydroaluminosilicate. Proposed method for physical characters monitoring is applying to liquid radioactive wastes, it allows taking appropriate measures for decreasing risk of radiation accident initiation in time while liquid radiochemical wastes treatment to solid state and their final burial.

Keywords: storage particularly toxic liquid wastes, waste nuclear fuel refining, cavitation-activated water, radiation safety, environmentally appropriate technology.

Введение

На всех этапах ядерно-энергетического цикла образуются различные отходы, которые делятся на газообразные, жидкие и твердые. На этапах добычи, переработки и приготовления ядерного топлива преобладают естественные радионуклиды. После выработки энергии на атомных реакторах различных типов преобладают отходы в виде искусственных радионуклидов (продуктов деления).

При существующей технологии переработки отработавшего ядерного топлива основную массу отходов (99 %) составляют наиболее вредные жидкие отходы, которые в свою очередь делятся на низко-, средне- и высокоактивные.

Достаточно большие затруднения возникают при утилизации шламов и осадков, которые получают после отстаивания низко- и среднеактивных жидких отходов. Шламы и осадки (пульпа) представляют собой полужидкую массу, содержащую остатки нерастворенных оболочек и носителей отработавшего ядерного топлива, содержащую большое количество продуктов деления. В настоя-



щее время в хранилищах-отстойниках накоплено большое количество пульпы, требуется ее очистка и перевод в твердое состояние для дальнейшего захоронения. Современная технология извлечения пульпы основана на химических процессах растворения осадков. При этом способе происходит неравномерное извлечение компонентов пульпы и образование слоя малорастворимых соединений, что значительно затрудняет обращение с осадками.

Результаты, полученные в работе [1], указывают на образование в объеме осадка в гидротермальных условиях различных минералоподобных фаз. Однако по результатам анализа отдельных проб не представляется возможным определить все фазы, присутствующие в осадках, и это вызывает трудности при их переработке. Даже в случае использования концентрированных растворов минеральных кислот не всегда удается полностью растворить осадок, что свидетельствует об образовании в емкостях труднорастворимых фаз с включением в них радионуклидов.

Добавление в размывочные растворы кислот или щелочи в концентрациях, разрешенных для работы в емкостях данного типа, не позволяет эффективно растворять компоненты пульпы. Дальнейшие комбинации реагентов не могут привести к хорошему результату, а только увеличивают коррозионную нагрузку на облицовку резервуаров, что в конечном итоге может привести к появлению дефектов в хранилищах [2].

Изучение физико-химических характеристик выдаваемых из емкости суспензий подтверждает, что в процессе взрыхления и выдачи пульпы образуются неустойчивые суспензии. В результате седиментационного разделения содержащихся в этих суспензиях частиц твердой фазы на поверхности пульпы может образоваться слой, состоящий из крупных, быстроотстаивающихся частиц твердой фазы, который в дальнейшем снижает эффективность мобилизации пульпы в емкости.

Образовавшийся на поверхности пульпы пористый слой твердой фазы обладает высокой химической устойчивостью, так как при визуальном осмотре его с помощью телекамеры было замечено, что он практически не растворяется и не разрушается в растворе, содержащем до 40 г/л азотной кислоты и до 20 % об. кислого стока производства капролактама (КСПК).

Очевидно, что применение агрессивных реагентов ограничено конструктивными особенностями хранилищ-отстойников, так как они не предназначены для ведения химических процессов. Повышение концентрации реагентов и температуры может привести к нарушению герметично-

сти хранилищ и выбросу высокотоксичных веществ в окружающую среду. Химический метод извлечения осадков полностью себя исчерпал, и дальнейшее его применение ведет к бесполезной трате химических реагентов и снижению коррозионной стойкости хранилищ. Поэтому разработка новых методов извлечения пульпы является своевременной и важной задачей.

В этой связи целесообразно использование эффектов кавитационной технологии [3], достаточно легко реализуемой, энергоэффективной и в ряде случаев не имеющей альтернативы.

Задачи и методы исследования

Целью данной работы явилось усовершенствование технологии равномерного извлечения пульпы за счет использования эффектов кавитации без изменения реагентного и температурного режима, разрешенного в существующих хранилищах. Для этого, в свою очередь, необходимо решить ряд задач:

исследовать механизм образования малорастворимых отходов энергетического цикла, возникающих при традиционной переработке пульпы;

на основании проведенных исследований разработать методику извлечения пульпы из отстойников-хранилищ при пониженном коррозионном воздействии на стенки хранилищ с использованием эффектов кавитации;

разработать методику дистанционного обнаружения малорастворимого слоя.

Для моделирования процесса нейтрализации использованы растворы следующего состава (г/дм³): кислый — HNO₃ — 30; Al — 3,0; Fe — 10,0; Cr — 2,0; Mn — 3,0; Ni — 2,0; Ca — 0,7; U — 10,0; и щелочной — NaOH — 200; SiO₂ — 3,0. Расчеты показали, что значение pH = 11 достигается при соотношении объемов кислого и щелочного растворов 1 : 0,4, при этом образуется осадок (рис. 1), состоящий из гематита (Fe₂O₃) — 31 % об., андрадита (Ca₃Fe₂Si₃O₁₂) — 9,4 %, гиббсита (Al(OH)₃) — 23 %, диурната натрия (U₂Na₂O₇) — 12,9 %, окиси хрома (Cr₂O₃) — 9,8 %, нефелина (NaAlSi₃O₈) — 0,4 %, диоксида марганца (MnO₂) — 8,1 %, бунзенита (NiO) — 4,6 %, кальцита (CaCO₃) — 7,3 %. Общий объем осадка при нейтрализации 1 м³ модельного отхода составляет 8,13 дм³. Осадок такого минерального состава использован в расчетах, имитирующих химические превращения при длительном хранении пульпы.

Изменения минерального состава осадка рассчитаны исходя из режима эксплуатации емкости при долговременном хранении пульпы в зависимости от температуры (в интервале 80...180 °С) и объема раствора, контактировавшего с осадком (25, 100, 500 и 1000 м³). Расчеты при температуре

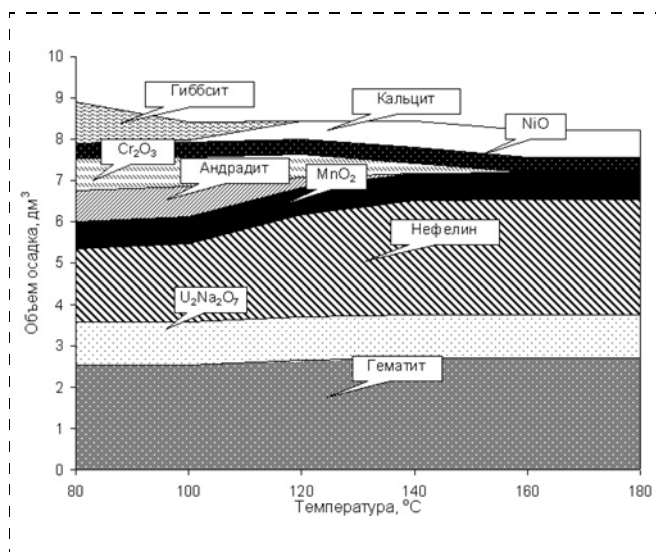


Рис. 1. Минеральный состав модельных осадков в контакте с 1000 м³ модельного раствора при температурах 80...180 °С (нижний слой пульпы)

выше 140 °С позволяют уточнить направленность развития гидротермальных преобразований. В обоих случаях состав модельного промывочного раствора соответствовал реальному химическому составу декантата¹, г/дм³: NaOH — 8; NaNO₃ — 150; Na₂CO₃ — 4; Al — 2; SiO₂ — 0,05.

В ходе лабораторных анализов определили, что основу малорастворимого осадка составляют гидроалюмосиликаты натрия (ГАСН), которые образовались в процессе смешивания и усреднения жидких щелочных среднеактивных отходов. Так, доля соединений алюминия и кремния в твердой фазе пульпы достигает 98,7 % масс.

Соединения алюминия, входящие в состав твердой фазы пульпы, имеют низкую растворимость во всех испытанных растворах. Соединения кремния умеренно растворимы (до 16,2 % за одну обработку) только в растворе азотной кислоты и кислого стока в производстве капролактама (КСПК), а в других испытанных растворах за одну обработку переходит не более 4,8 % соединений кремния. Известно, что разрушить структуру осадка гидроалюмосиликата натрия можно путем многократной обработки его горячими концентрированными растворами гидроксида натрия и азотной кислоты, что совершенно неприемлемо для конструкций существующих хранилищ.

В рамках поставленных задач исследования работу проводили с использованием нескольких

¹ Жидкость, отделенная от осадка методом декантации (сливания).

проб малорастворимой гидроалюмосиликатной (ГАСН) твердой фазы.

Для обработки пульпы при повышенной температуре использовали термостат, позволяющий поддерживать заданную температуру рабочей смеси с погрешностью не более 3 °С. Рабочие растворы готовили из химических реактивов марок "ч" и "х.ч.". Измерение объема твердой и жидкой фаз проводили после отстаивания суспензий в течение суток. В случаях, если жидкая фаза за этот период не осветлялась, время отстаивания увеличивали или раствор фильтровали через бумажный фильтр "синяя лента". Отбор жидкой фазы на анализ проводили путем декантации.

Выполнение каждого эксперимента завершали итоговым растворением оставшейся твердой фазы в концентрированной азотной кислоте, содержащей 10 г/л фторида аммония и 10 г/л пероксида водорода при температуре 95 °С и интенсивном перемешивании сжатым воздухом. При этом твердая фаза полностью растворялась за 1...5 ч. Полученный раствор подвергали химическому анализу с помощью титрометрических, фотометрических, атомно-абсорбционных и потенциометрических методов. Состав твердой фазы определяли расчетным путем по результатам анализа жидкой фазы.

С малорастворимой твердой фазой проводилось два опыта. Опыты проводили поочередно — после завершения опыта 1 начинали следующий. Такая постановка экспериментов позволила корректировать режимы обработки пульпы в последующих экспериментах.

Разрушение структуры осадка гидроалюмосиликата натрия

В промышленных условиях было решено использовать для мобилизации и растворения пульпы растворы, содержащие до 40 г/л азотной кислоты и до 20 % об. КСПК. Сначала провели первый этап обработки пульпы в емкости раствором, содержащим азотную кислоту и КСПК, и передали на переработку 132 м³ отработанного раствора.

Затем провели второй этап обработки пульпы вышеуказанным раствором и передали на переработку 55 м³ продукта. После каждого этапа обработки от верхнего слоя пульпы в емкости производился отбор пробы твердой фазы. Кроме того, после второго этапа обработки провели визуальный осмотр поверхности пульпы при помощи телекамеры. Осмотр показал, что после второго этапа обработки поверхность пульпы покрыта пористым слоем, представляющим собой набор пластин и крупных кусков твердой фазы, отличающихся между собой по форме и размеру. В отличие от осадков аморфных гидроксидов, пористый слой за



счет капиллярного эффекта практически на всю толщину был существенно обезвожен.

В лабораторных условиях изучили взаимодействие твердой фазы после первого и второго этапов обработки пульпы в емкости с водой. Обнаружили, что структура пульпы, отобранной из емкости после первого этапа обработки, за 6 ч перемешивания с водой разрушилась полностью, и ее объем после отстаивания суспензии в течение суток увеличился в 6,5 раза, а величина рН жидкой фазы равна 2,0. Структура пульпы после второго этапа обработки в результате перемешивания с водой в течение 6 ч разрушилась неполностью, т. е. осталось некоторое количество быстроотстаивающихся частиц твердой фазы. Объем твердой фазы после отстаивания суспензии в течение суток увеличился по сравнению с исходным объемом только в 2,5 раза, а величина рН жидкой фазы стала равна 1,8.

При взаимодействии гидроксидов металлов с растворами электролитов (азотная кислота, КСПК, соли металлов) на поверхности гидроксидов металлов образуются основные соли этих металлов, которые являются стабилизаторами суспензий. Наиболее устойчивая, плохо отстаивающаяся суспензия образуется при величине рН жидкой фазы равной $2,0 \pm 0,5$. Можно предположить, что после первого этапа обработки пульпы в емкости ее твердая фаза содержала существенное количество гидроксидов железа и их основных солей (табл. 1), которые способствовали разрушению структуры пульпы при взаимодействии ее с водой и существенно увеличили объем твердой фазы после отстаивания суспензии. После второго этапа обработки пульпы в емкости концентрация соединений железа в твердой фазе уменьшилась в 3,1 раза и их концентрация в твердой фазе составляла

Таблица 1
Состав пульпы в емкости после обработки ее растворами, содержащими азотную кислоту и КСПК

Компонент или показатель	Размерность	Величина показателя или концентрация компонента в пульпе после обработки	
		1-го этапа	2-го этапа
Алюминий	г/л	58,8	117,8
Марганец	г/л	6,5	8,7
Железо	г/л	54,1	17,4
Хром	г/л	1,9	0,4
Диоксид кремния	г/л	247,0	131,2
Никель	г/л	6,1	7,4
Нерастворимая в воде твердая фаза	г/л	624,8	581,1
Нитрат натрия	г/л	250,0	149,0
Плотность	г/см ³	1,559	1,478
Влажность	% масс.	43,9	50,9

5,7 % масс. Из-за малого содержания в твердой фазе пульпы стабилизаторов суспензий, она неэффективно разрушается при перемешивании с водой и ее кажущийся объем после отстаивания суспензии в течение суток увеличился только в 2,5 раза. Визуальный осмотр отобранных проб показал, что по своей консистенции они не текучи и не содержат видимой жидкой фазы. Поэтому объем взятой для анализа пульпы определяли в мерном цилиндре по объему вытесненной этой пульпой воды. После определения объема взятой для анализа пульпы ее перемешивали до получения однородной суспензии. Полученную суспензию отстаивали в течение суток. Результаты анализа проб твердой фазы приведены в табл. 1.

Результаты анализа проб пульпы показали, что верхний слой твердой фазы в емкости после первого и второго этапов обработки на 78,7 и 87,9 % масс.

Таблица 2
Результаты предварительных опытов по обработке пористого слоя пульпы реагентами

№ обработки	Растворы, использованные для обработки пульпы	Объем твердой фазы, мл		Объем декантата, мл	Концентрация в декантате, г/л			
		до обработки	после обработки		Mn	Fe	Al	SiO ₂
Опыт 1								
1	Воды	1,4	3,5	33	—	—	0,06	0,04
2	Реагент 1	3,5	6,5	38	0,04	0,25	1,80	0,02
3	Реагент 1	6,5	11,0	27	0,01	0,10	0,55	0,02
4	Реагент 1	11,0	13,0	35	<0,01	0,06	0,03	0,02
Опыт 2								
1	200 г/л NaOH	1,5	6,5	33	0,01	<0,01	0,29	0,98
2	20 г/л NaOH	6,5	10,0	36	0,01	<0,01	0,65	0,27
3	Реагент 1	10,0	24,0	16	0,04	0,48	1,18	0,11
4	Реагент 1	24,0	17,0	45	0,24	0,25	1,58	0,34

Примечание: Пульпу обрабатывали при перемешивании барботажным воздухом растворами азотной кислоты и гидроксида натрия при температуре реакционной среды 80...90 °С. Длительность каждой операции (обработки) составляла 6 ч.

соответственно состоит из алюмосиликатов. После второго этапа обработки по сравнению с первым в верхнем слое твердой фазы в 2,7–2,9 раза уменьшилась концентрация железа. Таким образом, после второго этапа обработки состав пористого слоя твердой фазы существенно приблизился к составу малорастворимой твердой фазы.

При определении состава пористого слоя твердой фазы, образовавшегося после второго этапа обработки пульпы, изучили взаимодействие этой твердой фазы с концентрированными растворами азотной кислоты, содержащими по 10 г/л фторида натрия и пероксида водорода (реагент 1), и раствором гидроксида натрия. Результаты опытов приведены в табл. 2. Данные таблицы показывают, что концентрированные растворы азотной кислоты эффективно разрушают структуру гидроалюмосиликатов натрия. Например, за три последовательных обработки твердой фазы горячими растворами азотной кислоты ее кажущийся объем увеличивается в 9,3 раза (опыт 1). При этом в растворах азотной кислоты растворяется 51,1 % масс. содержащегося в пульте алюминия и только 1,1 % масс. диоксида кремния (рис. 2).

В растворе, содержащем 200 г/л гидроксида натрия (опыт 2) в большей степени растворяются соединения кремния. При снижении концентрации гидроксида натрия до 20 г/л повышается степень растворения соединений алюминия. За две последовательные обработки твердой фазы пульпы растворами гидроксида натрия объем твердой фазы увеличился в 6,7 раза. Кроме того, после обработки твердой фазы растворами гидроксида натрия

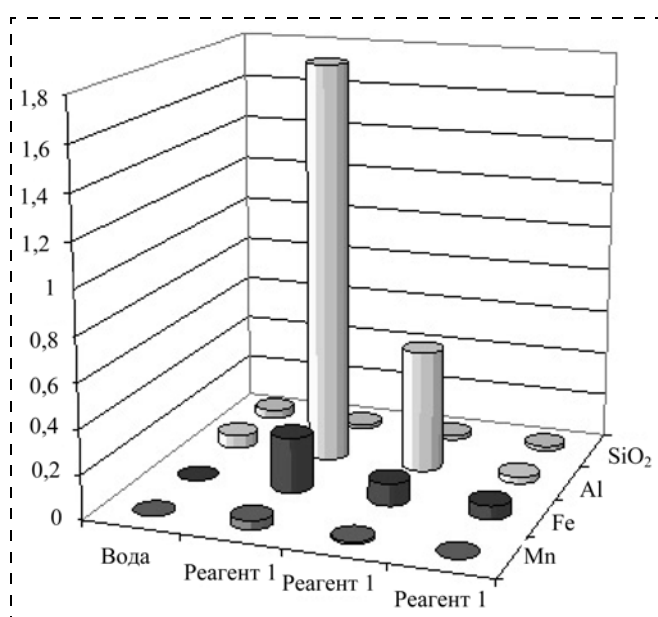


Рис. 2. Концентрация компонентов пульпы в декантате (опыт 1), г/л

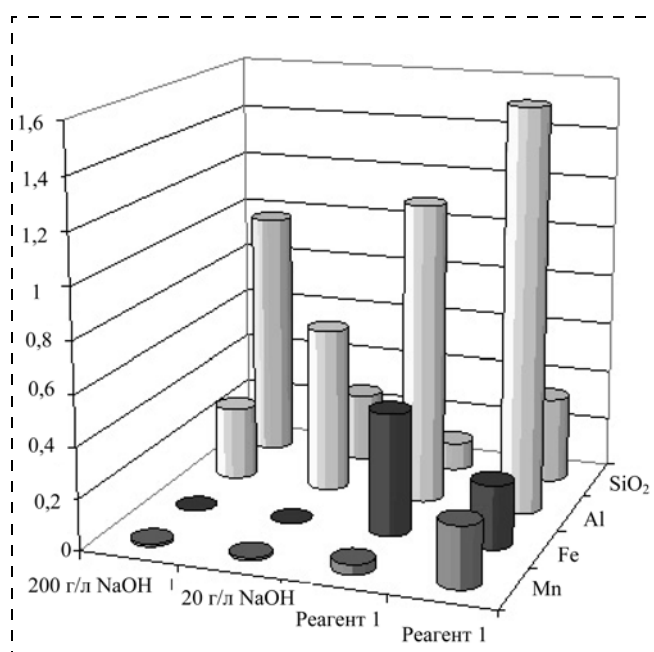


Рис. 3. Концентрация компонентов пульпы в декантате (опыт 2), г/л

увеличивается полнота растворения соединений алюминия и кремния в концентрированных растворах азотной кислоты. При этом объем твердой фазы по сравнению с исходным может увеличиться в 16 раз. В опыте 2 растворами гидроксида натрия и азотной кислоты было растворено 69,6 % масс. алюминия и 30,1 % масс. диоксида кремния (рис. 3).

Таким образом, применяя при температуре 80...90 °С растворы гидроксида натрия и концентрированной азотной кислоты, можно достаточно эффективно разрушить образовавшийся на поверхности пульпы в емкости пористый слой твердой фазы, состоящий, в основном, из гидроалюмосиликатов натрия. Однако емкость предназначена для хранения щелочных растворов и осадков и поэтому применение в ней концентрированных растворов азотной кислоты нежелательно.

В результате проведенных опытов можно сделать предварительные выводы:

установлено, что основу малорастворимого осадка составляют гидроалюмосиликаты натрия, которые образовались в процессе смешивания и усреднения жидких щелочных среднеактивных отходов;

показано, что разрушение структуры осадка гидроалюмосиликата натрия возможно путем многократной обработки его горячими концентрированными растворами гидроксида натрия и азотной кислоты;



показано, что по действующей технологии обращения с жидкими отходами невозможно удалить содержащиеся в пульпах соединения кремния.

Проведенные исследования показали, что оборудование и технология, применяемые для извлечения твердых осадков, не позволяют равномерно извлекать и растворять твердые осадки, особенно гидроалюмосиликаты натрия (ГАСН) и двуокись кремния, которые составляют основу этих осадков.

Размыв и растворение пульпы с использованием эффектов кавитации

Проведенные исследования позволяют предположить, что использование активированной воды в качестве несущей фазы для приготовления растворов, предназначенных для растворения твердых осадков, позволит более равномерно извлекать и эффективно растворять осадки без изменения или даже со снижением концентрации активных реагентов, что в свою очередь снижает коррозионную нагрузку на стенки хранилищ и снижает риск проникновения жидких радиоактивных отходов в окружающую среду.

С целью проверки работоспособности кавитационной технологии была приготовлена смесь компонентов, составляющую основу твердых осадков (ГАСН + SiO_2), и проведена серия опытов по размыву модельной пульпы кавитационно-активированной водой (КАВ).

Для проведения лабораторного эксперимента были взяты две аликвоты объемом около 3 мл. Одну аликвоту залили 50 мл чистой воды. Вторую — 50 мл кавитационно-активированной воды. Пульпу обрабатывали без нагрева ($t = 22^\circ\text{C}$) при интенсивном перемешивании сжатым воздухом в течение 6 ч с последующим отстаиванием в течение 18 ч. Визуальный осмотр показал, что при обработке аликвоты чистой водой в смеси остались крупные фрагменты пульпы: произошло неравномерное размывание твердой фазы и около 15 % последней перешло в суспензию. После отстаивания граница раздела фаз оказалась размытой. Консистенция отстоявшегося осадка соответствует консистенции жидкой глины.

При обработке аликвоты кавитационно-активированной водой крупных фрагментов оказалось значительно меньше: в суспензию перешло около

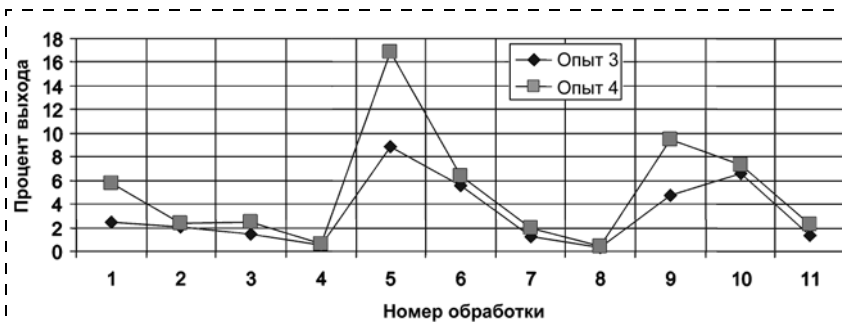


Рис. 4. Степень перехода Al в раствор

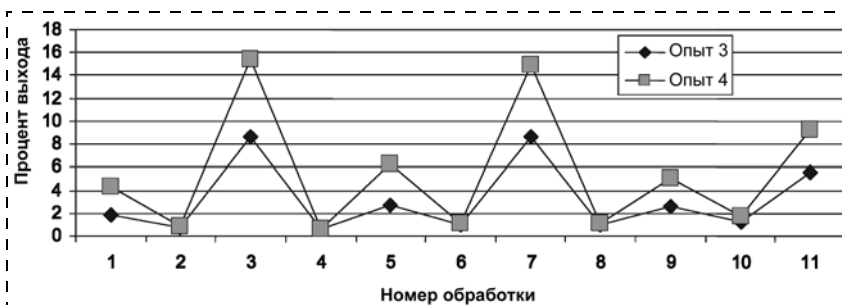


Рис. 5. Степень перехода SiO_2 в раствор

60 % твердой фазы. Граница раздела фаз хорошо просматривается. Осадок кардинально отличается от предыдущего: имеет больший объем, обладает меньшей плотностью и более плотной консистенцией. В момент размывания твердой фазы происходит взаимодействие компонентов пульпы с активными компонентами КАВ, вследствие чего частицы пульпы разбухают, что свидетельствует о более активном физическом воздействии кавитационно-активированной воды на частицы пульпы.

Для определения выхода Al и SiO_2 из пульпы были проведены два опыта (3 и 4). В опыте 3 обработку проводили реагентами, приготовленными на обычной воде, а в опыте 4 реагенты были приготовлены на основе кавитационно-активированной воды. Пульпу обрабатывали при перемешивании барботажным воздухом растворами гидроксида натрия и азотной кислоты при температуре реакционной среды $80\ldots 90^\circ\text{C}$. Каждая обработка продолжалась 6 ч.

При проведении опыта 4 (рис. 4 и 5, табл. 3) можно увидеть, что выход компонентов пульпы в раствор достигает 56,03 % (по Al) и 60,72 % (по SiO_2) по сравнению с традиционной переработкой (опыт 3) соответственно 35,6 и 34,39 %.

Проведенные опыты позволяют утверждать, что применение КАВ для размыва и растворения твердой фазы модельной пульпы может повысить эффективность переработки и освобождения емкостей для хранения высокоактивных отходов от накопившихся осадков, рис. 6.

Таблица 3

Распределение компонентов алюмосиликатного слоя твердой фазы между используемыми для его обработки растворами (опыт 3 и 4)

№ обработки	Состав растворов, используемых для обработки пульпы	Степень перехода в раствор, %			
		Опыт 3		Опыт 4	
		Al	SiO ₂	Al	SiO ₂
1	100 г/л NaOH	2,52	1,81	5,79	4,34
2	H ₂ O	2,04	0,70	2,36	0,85
3	HNO ₃ + КСПК	1,39	8,57	2,50	15,43
4	H ₂ O	0,56	0,57	0,64	0,64
5	100 г/л NaOH	8,88	2,74	16,87	6,30
6	H ₂ O	5,54	0,94	6,34	1,15
7	HNO ₃ + КСПК	1,22	8,65	2,01	14,96
8	H ₂ O	0,32	1,01	0,36	1,14
9	100 г/л NaOH	4,72	2,57	9,48	5,04
10	H ₂ O	6,60	1,28	7,34	1,68
11	HNO ₃ + КСПК	1,36	5,54	2,31	9,19
ИТОГО		35,6	34,39	56,03	60,72

Несмотря на повышенную эффективность разрушения твердой фазы пульпы остается высокая вероятность неравномерного извлечения делящихся материалов, которое может привести к накоплению этих веществ на границе раздела твердой и жидкой фазы. Так как условия хранения отходов (большая глубина хранилища, большая вязкость пульпы и высокая мощность дозы гамма-излучения) не позволяют оценивать распределение делящихся материалов по всей глубине хранилища, которое достигает 30 м, то возникла необходимость оценки этого параметра дистанционными методами.

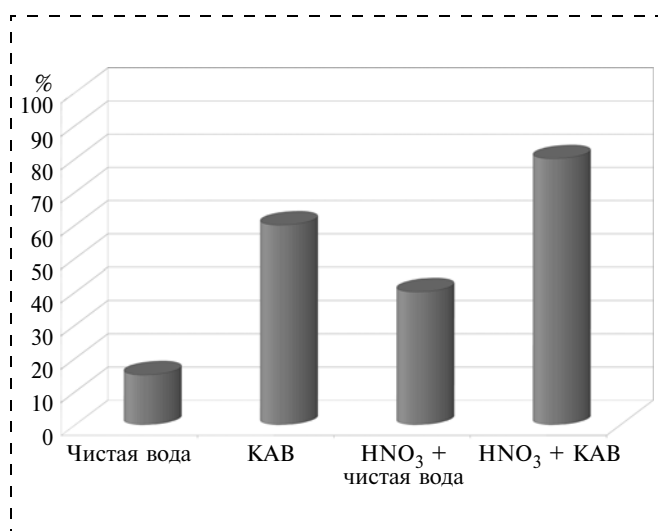


Рис. 6. Растворение модельной пульпы различными растворами

Методика дистанционного обнаружения слоя накопления делящихся материалов

Одним из способов контроля параметров ядерной безопасности является измерение потоков тепловых нейтронов. Это единственный доступный способ контроля, так как измерения можно проводить через герметичную трубу, проходящую до самого дна хранилища и предназначенную для измерения температуры пульпы. В стационарном состоянии, когда соотношение делящихся материалов и поглощающих компонентов обеспечивает ядерную безопасность отходов, измерения электронными средствами показывают отсутствие потоков тепловых нейтронов.

Острая необходимость повторных измерений возникла при переработке твердой фазы, так как при размыве пульпы результаты анализов разжиженной пульпы указывают на большое количество легких компонентов, которые обладают лучшей растворимостью, чем соединения делящихся материалов. В этом случае высока вероятность накопления делящихся материалов в пограничном слое жидкой и твердой фазы и могут возникнуть условия возникновения реакции деления активных компонентов со всеми вытекающими последствиями.

Повторные измерения показали отсутствие потоков тепловых нейтронов. Но при подробном анализе результатов измерений оказалось, что современные средства измерений не обладают достаточным разрешением для определения потоков тепловых нейтронов на фоне гамма-излучения, мощность дозы которого достигает в этих хранилищах до 10 Гр/ч.

Предложенный метод основан на свойствах тонких диэлектриков регистрировать осколки деления мишени из урана 235 при облучении их тепловыми нейтронами. На основе проведенных расчетов были изготовлены новые детекторы, которые согласно своим физическим свойствам должны регистрировать потоки тепловых нейтронов вне зависимости от гамма-излучения. После успешных испытаний на образцовых источниках тепловых нейтронов на фоне высокой мощности дозы гамма-излучения была проведена серия измерений потоков тепловых нейтронов параллельно с электронными средствами измерений.

Электронные средства показали отсутствие нейтронных потоков. При использовании нового метода удалось обнаружить слабые потоки тепловых нейтронов именно в зоне переработки и даже приблизительно определить глубину пограничного слоя с измененным соотношением делящихся и поглощающих материалов (рис. 7).

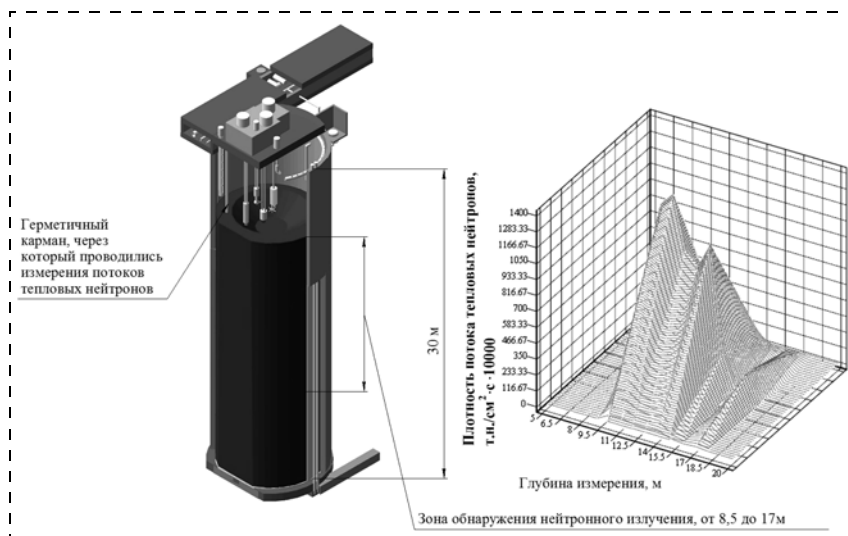


Рис. 7. График изменения плотности потока тепловых нейтронов, измеренного треновыми детекторами в хранилище жидких радиоактивных отходов

Измерения проводились по всей глубине хранилища, на графике рис. 7 выделен диапазон от 5 до 20 м, где обнаружены потоки тепловых нейтронов (т. н.), на остальных отметках тепловые нейтроны отсутствуют.

Предложенный метод контроля физических характеристик жидких радиоактивных отходов позволяет своевременно принимать меры по снижению риска возникновения радиационных аварий при подготовке жидких радиоактивных отходов к переводу их в твердое состояние и окончательное захоронение.

Выводы

На основе комплексного анализа и обобщения результатов исследования разработана усовершенствованная технология обращения с труднорастворимыми отходами применительно к энергетическим системам и комплексам.

Установлено, что малорастворимый слой пульпы образуется вследствие избирательного взаимодействия химических реагентов с компонентами пульпы. Основу малорастворимого слоя составляют гидроалюмосиликаты натрия. Наиболее вероятно, что содержащиеся в пористом слое алюмосиликаты образовались в процессе подго-

товки щелочных растворов к подземному захоронению. Они получаются путем смешивания щелочно-нитратного раствора, в котором содержится силикат натрия, со щелочно-алюминатным раствором.

Растворение малорастворимых осадков возможно только при высокой концентрации химических реагентов и повышенной температуре, что недопустимо по техническим условиям эксплуатации хранилищ.

Экспериментально установлено, что применение кавитационно-активированной воды позволяет увеличить выход малорастворимых компонентов пульпы по сравнению с традиционной переработкой. Использование эффектов кавитации при переработке отходов ядерно-энергетического комплекса позволяет равномерно извлекать компоненты пульпы, избегая накопления делящихся материалов и снизить коррозионную нагрузку на конструктивные элементы хранилища, тем самым снижая вредное воздействие энергетических систем и комплексов на окружающую среду.

Предложенный метод контроля физических характеристик жидких радиоактивных отходов позволяет своевременно принимать меры по снижению риска возникновения радиационных аварий при подготовке жидких радиоактивных отходов к переводу их в твердое состояние и окончательное захоронение.

Список литературы

1. Ермолаев В. М., Захарова Е. В., Ревенко Ю. А. и др. Химический и фазовый состав радиоактивной пульпы в емкостях-хранилищах // Атомная энергия. — 1997. — Т. 83 — № 5. — С. 344—348.
2. Ермолаев В. М., Захарова Е. В., Мироненко М. В. и др. Изменение состава и свойств радиоактивных пульп в процессе длительного хранения в емкостях // Радиохимия. — 2006. — Т. 47. — № 3. — С. 374—379.
3. Ивченко В. М., Кулагин В. А., Немчин А. Ф. Кавитационная технология / Под. ред. Г. В. Логвинович. — Красноярск: Изд-во КГУ, 1990. — 200 с.
4. Мельников Н. Н., Конухин В. П., Комлев В. Н. Материалы на основе минерального и техногенного сырья в инженерных барьерах для изоляции радиоактивных отходов. — Апатиты, 1998.

УДК504:656.2

В. Г. Попов, д-р техн. наук, проф., **Ю. Н. Боровков**, асп.,
Московский государственный университет путей сообщения
E-mail: yunikborovkov@gmail.com

Эмиссия парниковых газов на железнодорожном транспорте России

Описан подход к оценке эмиссий парниковых газов на железнодорожном транспорте России на основе данных о расходе основных энергоносителей. Данный подход применим для различных технических систем и энергетических комплексов. В работе рассмотрена ситуация с выбросами парниковых газов на железнодорожном транспорте за 2003—2008 гг. Полученные результаты показывают положительную динамику в области снижения выбросов парниковых газов на железнодорожном транспорте за рассматриваемый период.

Ключевые слова: парниковые газы, железнодорожный транспорт, источники эмиссии, коэффициент эмиссии, прямая эмиссия, косвенная энергетическая эмиссия, CO_2 -эквивалент, показатель интенсивности эмиссии.

Popov V. G., Borovkov Y. N. Greenhouse gas emission of Russian railway transport

This article describes an approach to the assessment of greenhouse gas emissions of rail transport of Russia on the basis of data on the performance of the main energy. This approach is applicable to various technical systems and energy complexes. This paper considers the situation with greenhouse gas emissions in rail transport in 2003—2008 years. The results show positive trend in reducing greenhouse gas emissions in rail transport over the period.

Keywords: greenhouse gases, railway transport, emission sources, emission factor, direct emission, indirect energetic emission, CO_2 -equivalent, emission intensity indicator.

В последнее время вопросы глобального изменения климата и роли антропогенной деятельности в этом процессе активно дискутируются на самых разных уровнях. Единого мнения по этому вопросу не существует. Более того, научное сообщество в этом вопросе разделилось на два лагеря, имеющих принципиально различные взгляды на природу и характер происходящих в климатической системе Земли процессов и приводящих в подтверждение занимаемых позиций свои доводы и факты [1].

Не углубляясь в эту дискуссию и не примыкая ни к одной из сторон, необходимо отметить, что помимо климатической составляющей, деятельность по сокращению выбросов парниковых газов также связана со следующими факторами:

— энерго- и ресурсосбережением, поскольку сопряжена с модернизацией основных производственных фондов во всех энергоинтенсивных отраслях экономики, что для России является крайне важным в свете того, что "...энергоэффективность и производительность труда большинства наших предприятий позорно низки..." [2];

— сокращением выбросов других загрязняющих веществ, сопутствующих сжиганию углеродсодержащего топлива, прежде всего, SO_2 , NO_x , CO, ПАУ, взвешенных частиц и др. [3].

Как отметил в своем выступлении на саммите в Копенгагене президент РФ Д. А. Медведев: "В конечном счете, использование мер по сохранению климата будет способствовать и решению глобальных экологических и социально-экономических проблем" [4].

К тому же, Российская Федерация уже приняла на себя определенные обязательства по Киотскому протоколу и, судя по высказываниям первых лиц государства, намерена и дальше активно участвовать в международных процессах по климатической проблематике.

Следовательно, вопросы оценки и сокращения выбросов парниковых газов имеют важное практическое значение для самых разных секторов российской экономики.

В настоящей работе предлагается подход к оценке эмиссий (выделения) парниковых газов на железнодорожном транспорте России на основе данных о расходе основных энергоносителей и представлены полученные данные об эмиссии парниковых газов ОАО "РЖД" за 2003—2008 гг. При расчетах учитывались выбросы трех основных парниковых газов: диоксида углерода, метана и закиси азота.

Железнодорожный транспорт в мире признан одним из наиболее энергетически эффективных и экологически чистых видов транспорта, что обусловлено низким удельным потреблением энергетических ресурсов на единицу перевозоч-



ной работы и широким применением электрической тяги. Однако в силу того, что в России железнодорожный транспорт обеспечивает 43 % совокупного грузооборота страны и свыше 41 % пассажирооборота, он является весьма энергоемкой сферой общественного производства, потребляя ежегодно до 6 % производимой в стране электроэнергии, столько же дизельного топлива и значительный объем других видов органического топлива [5, 6].

Согласно международному стандарту [7], под выделением парниковых газов (ПГ) понимается полная масса ПГ, выделенная в атмосферу за указанный период времени. Источником парниковых газов считается физическая единица или процесс, выделяющие парниковые газы в атмосферу. В качестве исходных данных для проведения расчетов эмиссий могут использоваться "данные о деятельности по парниковым газам". Примерами таких данных могут служить количество потребленной энергии, топлив или электричества, произведенных материалов, предоставленных услуг или накопленной биомассы [7].

Согласно стандарту ISO [7] и руководящим принципам инвентаризаций [8], все источники эмиссии парниковых газов на железнодорожном транспорте можно разделить на две категории: 1) источники прямой эмиссии парниковых газов; 2) источники косвенной энергетической эмиссии парниковых газов.

Согласно стандарту ISO [7], прямое выделение парниковых газов — это выделение парниковых газов из источников эмиссии парниковых газов, принадлежащих или контролируемых организацией (для определения границ организации используются понятия финансового и операционного контроля).

Класс источников прямых выбросов парниковых газов составляют топливопотребляющие установки основного и вспомогательных видов деятельности железнодорожного транспорта, которые работают на первичном и вторичном органическом топливе [9].

Под косвенным энергетическим выделением парниковых газов понимается выделение парниковых газов от производства импортированной электроэнергии, теплоты или пара, потребляемых организацией [7].

В данной работе принимались во внимание импорт электроэнергии и тепловой энергии от сторонних организаций. Класс источников косвенных энергетических выбросов парниковых газов составляют энергоиспользующие установки основного и вспомогательных видов деятельности железнодорожного транспорта, которые используют электроэнергию из единой энергосистемы страны и получают из внешних тепловых сетей (со стороны) тепловую энергию [9].

Принимаемая структура источников эмиссии парниковых газов на железнодорожном транспорте представлена на рис. 1.

Расчет объема прямой эмиссии парниковых газов от сжигания органического топлива как для стационарных, так и для передвижных источников проводится, согласно руководящим принципам [8] и рекомендациям стандарта ISO [7], следующим образом:

$$G_{\text{ПГ}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (G_{\text{т},i} K_{\text{э}} K_{\text{э},j} \text{ПГП}_j), \quad (1)$$

где $G_{\text{ПГ}}$ — количество образующихся при сжигании топлива парниковых газов, т CO_2 -экв., $G_{\text{т},i}$ — количество израсходованного органического топлива i -го



Рис. 1. Структура источников эмиссии парниковых газов на железнодорожном транспорте

вида, тыс. т у.т.; $K_{эе}$ — коэффициент пересчета условного топлива в энергетические единицы; ТДж/тыс. т у.т.; $K_{эе} = 29,3$ ТДж/тыс. т у.т.; $K_{эi,j}$ — коэффициент эмиссии j -го парникового газа при сжигании i -го вида органического топлива, т/ТДж; $ППП_j$ — потенциал глобального потепления j -го парникового газа ($ППП_{CO_2} = 1$; $ППП_{CH_4} = 21$; $ППП_{N_2O} = 310$).

Помимо валовых показателей выбросов парниковых газов большое значение имеет удельный показатель — "показатель интенсивности прямой эмиссии парниковых газов" $g_{пг}$, т CO_2 -экв./т у.т. [10]:

$$g_{пг} = \frac{G_{пг}}{G_T}, \quad (2)$$

где G_T — количество органического топлива, т у.т., сжигание которого обусловило данную эмиссию.

Показатель $g_{пг}$ характеризует структуру топливопотребления и может быть представлен в следующем виде:

$$g_{пг} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (q_i K_{эе} K_{эi,j} PPP_j), \quad (3)$$

где q_i — доля i -го вида топлива в структуре топливопотребления: $q_i = G_{T,i}/G_T$, $G_T = \sum_{i=1}^N G_{T,i}$.

Общая величина прямой эмиссии, т CO_2 -экв, таким образом, может быть определена как:

$$G_{пг} = G_T g_{пг} = G_T \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (q_i K_{эе} K_{эi,j} PPP_j). \quad (4)$$

Из выражения (4) можно сделать вывод о двух принципиальных направлениях сокращения выбросов парниковых газов:

1) сокращение потребления органического топлива G_T через повышение энергетической эффективности и проведение мероприятий по экономии топлива;

2) изменение структуры топливопотребления: замещение одних видов топлива другими, характеризующимися меньшими значениями коэффициентов эмиссии парниковых газов $K_{эi,j}$, а также увеличение доли источников энергии, не использующих для своей работы органического топлива ("бестопливной" альтернативной энергетики).

Определение косвенной энергетической эмиссии парниковых газов связано с учетом использования привлекаемой извне электрической и тепловой энергии и может быть произведено путем

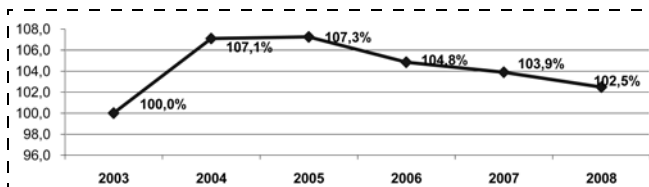


Рис. 2. Изменение интегральной эмиссии парниковых газов на железнодорожном транспорте России за период 2003—2008 гг.

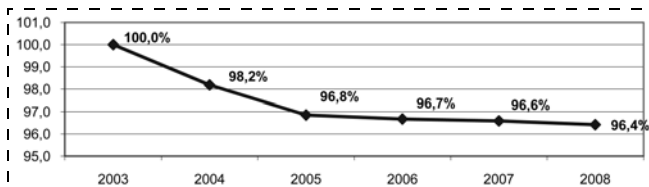


Рис. 3. Изменение показателя интенсивности прямой эмиссии парниковых газов на железнодорожном транспорте России за период 2003—2008 гг.

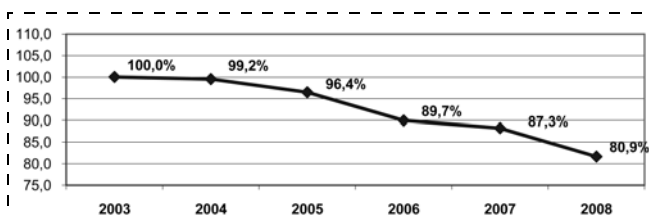


Рис. 4. Изменение удельного выброса парниковых газов на единицу перевозочной работы на железнодорожном транспорте России за период 2003—2008 гг.

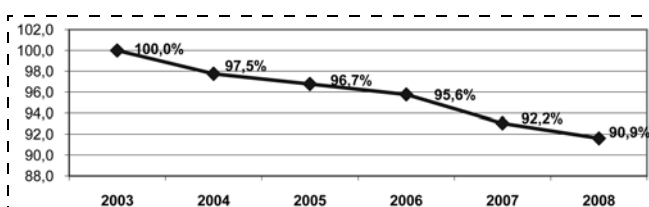


Рис. 5. Изменение удельного показателя "тяговой" эмиссии парниковых газов на единицу перевозочной работы железнодорожным транспортом России за период 2003—2008 гг.

пересчета показателей выбросов парниковых газов Единой энергосистемы РФ [11].

Используя описанную выше методику оценки эмиссии парниковых газов на основе статистических данных о расходовании органического топлива, использовании привлеченной извне электрической и тепловой энергии железнодорожным транспортом России, были получены результаты (за 100 % принята эмиссия парниковых газов в 2003 г.), показанные на рис. 2—5.

Согласно имеющимся данным, доля железнодорожного транспорта в годовом общероссийском объеме антропогенных выбросов парниковых газов составляет 1,5...2 %.



Как для ОАО "РЖД" в целом, так и для каждой железной дороги в отдельности характерны следующие тенденции:

- уменьшение в абсолютном и относительном выражении значений прямой эмиссии парниковых газов с одновременным ростом косвенной энергетической эмиссии, что обусловлено ориента-

цией железнодорожного транспорта на электропотребление, в том числе в тяге поездов;

- сокращение величины показателя интенсивности прямой эмиссии, учитывающего структуру используемых видов топлива;
- снижение удельного показателя интегральной и "тяговой" эмиссии на единицу приведенной пере-

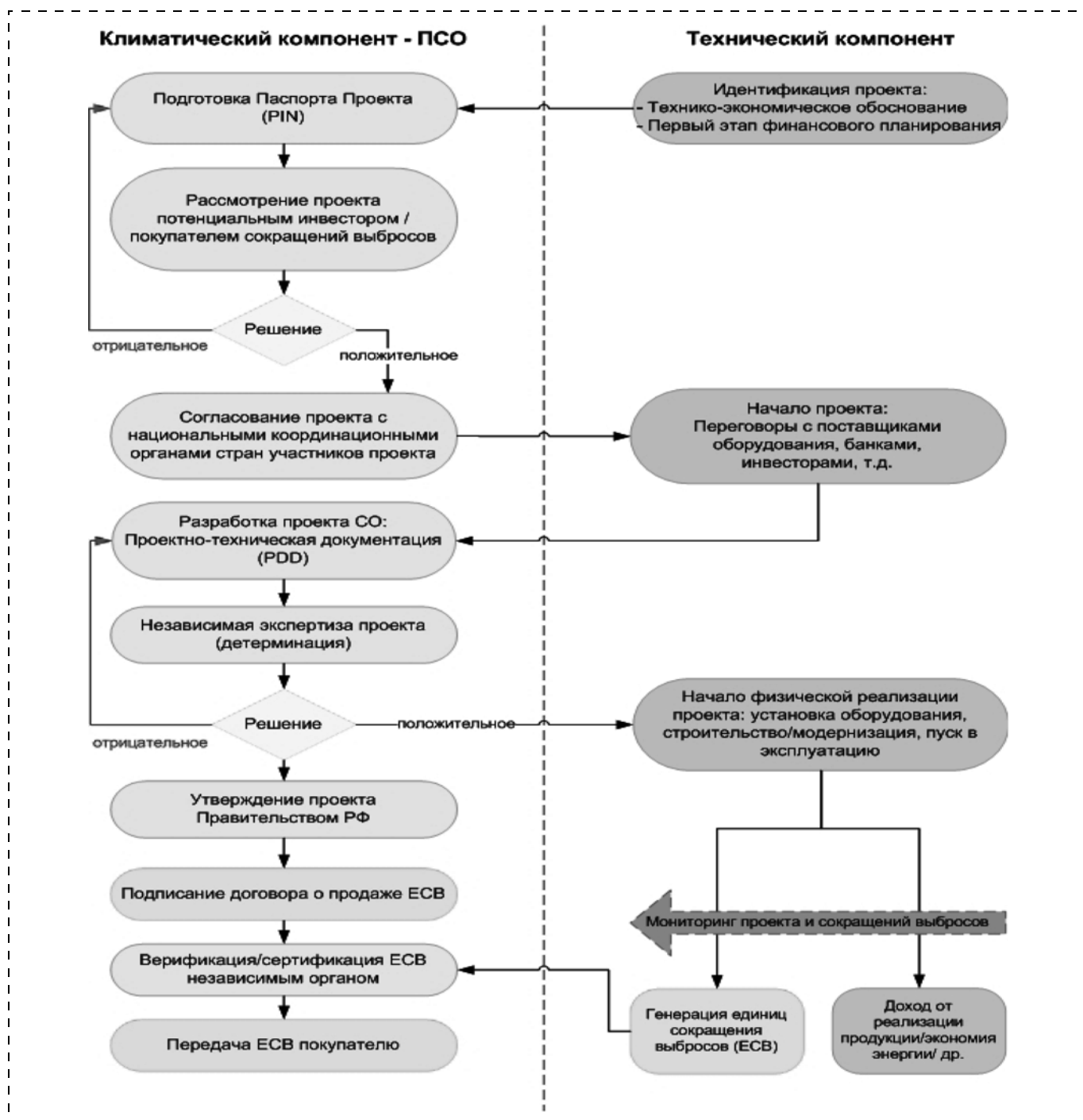


Рис. 6. Схема проектного цикла ПСО [13]

возочной работы: его значение ежегодно уменьшалось во всем рассматриваемом временном периоде. Удельный показатель "тяговой" эмиссии сократился с 11,5 кг CO₂ — экв./тыс. т-км прив. в 2003 г. до 10,5 кг CO₂ — экв./тыс. т-км прив. в 2008 г.

Целесообразность внедрения в практику ОАО "РЖД" деятельности по инвентаризации парниковых газов и управлению или может быть обусловлена, по крайней мере, двумя причинами.

1. Целенаправленная деятельность по сокращению эмиссии парниковых газов приводит к сокращению объемов выбросов "сопутствующих" загрязняющих веществ [12]. Таким образом, деятельность по сокращению эмиссии парниковых газов органично вписывается в Экологическую стратегию ОАО "РЖД" на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года и в сложившуюся практику осуществления природоохранной деятельности в ОАО "РЖД";

2. Использование механизмов гибкости Киотского протокола, прежде всего, проектов совместного осуществления (ПСО) — инвестиционных проектов, направленных на сокращение выбросов углекислых газов, образовавшихся в результате промышленной деятельности, предусмотренных статьей 6 Киотского протокола. В ходе их реализации иностранный инвестор получает так называемые единицы сокращенных выбросов (ЕСВ), а российский участник — инвестиции в модернизацию производства. На рис. 6 представлен проектный цикл ПСО.

Многие крупные российские компании проявляют заинтересованность в реализации такого рода проектов. Так, например, 23 июня 2010 г. приказом Минэкономразвития России были утверждены первые 15 ПСО с участием российских компаний (среди них — "Газпромнефть", "Роснефть", СИБУР с общим объемом сокращений свыше 40 млн т CO₂-экв. и стоимостью в текущих ценах порядка 472 млн евро [14]. Целенаправленная деятельность в этом направлении может позволить ОАО "РЖД" рассчитывать на привлечение дополнительных инвестиций от зарубежных партнеров-инвесторов в рамках реализации подобных проектов.

Выделяют два типа потенциальных ПСО:

1) ПСО, принципиально нацеленные на снижение выбросов парниковых газов (утилизация попутного нефтяного газа, адсорбция ПГ);

2) ПСО, инвестиционно привлекательные благодаря Киотскому механизму (энергоэффективность и энергосбережение, перевод на более экологичное топливо) [15].

Наиболее перспективным направлением для подготовки и реализации ПСО на железнодорожном транспорте следует признать модернизацию инфраструктуры котельного хозяйства, а также перевод части котельных на газообразное топливо и возобновляемые источники энергии.

Список литературы

1. **Покровский О. М.** Экономические, политические и физические аспекты изменений климата // Проблемы анализа риска. — 2009. Том 6. — № 4. — С. 48—75.
2. **Медведев Д. А.** Россия, вперед! <http://www.kremlin.ru/news/54133>.
3. **Бешенные частицы** // Мировая энергетика. — 2007. — № 2 (38). — С. 88—89.
4. **Выступление Президента РФ Д. А. Медведева на саммите в Копенгагене.** www.greenpeace.org/russia/ru/press/press/reports/4272734.
5. **Сайт** Федеральной службы статистики РФ (Росстат) www.gks.ru.
6. **Энергетическая стратегия** ОАО "РЖД" на период до 2010 года и на перспективу до 2020 года. — М., 2004.
7. **ISO 14064—1** Парниковые газы — Часть 1: Спецификация с руководством на уровне организации по количественному определению и отчетности о выделении и удалении парниковых газов.
8. **Пересмотренные** руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006. www.unfccc.int.
9. **Попов В. Г., Боровков Ю. Н.** Метод оценки эмиссии парниковых газов при функционировании железнодорожного транспорта. Безопасность движения поездов // Труды IX Научно-практической конференции. — М.: МИИТ, 2008.
10. **Popov V. G., Borovkov Y., Sysoev M.** Estimation of greenhouse gases emissions from railway transport in Russia // Proceeding of 6th International Students' Scientific Conference TRANS-MECH-ART-CHEM Radom 11—14 may 2009.
11. **Попов В. Г., Боровков Ю. Н.** Оценка выбросов электрифицированного железнодорожного транспорта. Неделя науки — 2008. // Труды конференции. — М.: МИИТ, 2009.
12. [http://www.krd.m/ww/home.nsf/webdocs/6EOD903CEE829B97C32749B0028FD30.html/file/\\$Совместное_осуществление.pdf](http://www.krd.m/ww/home.nsf/webdocs/6EOD903CEE829B97C32749B0028FD30.html/file/$Совместное_осуществление.pdf)
13. <http://www.climatechange.ru/node/437>.
14. http://www.bakemet.com/NR/rdonlyres/7258F3D6-5355-44C8-837F-415F1D861AA4/0/koledenkov_presentation.pdf.

УДК 614.841

Р. Ш. Еналеев¹, канд. техн. наук, доц., **Э. Ш. Теляков**¹, д-р техн. наук, проф.,
О. А. Тучкова¹, асп., **В. А. Качалкин**¹, канд. техн. наук, доц.,
Л. Э. Осипова², канд. техн. наук, доц.

¹ Казанский государственный технологический университет

² Казанский государственный архитектурно-строительный университет
E-mail: firepredict@yandex.ru

Пределы огнестойкости элементов строительных конструкций при пожарах в нефтегазовом комплексе

Рассмотрена математическая модель с объемным источником испарения влаги для расчета температурного поля элементов конструкций при воздействии пламени пожаров. Обоснован инвариантный к скорости высокоинтенсивного нагрева градиентный критерий разрушения железобетонных конструкций. Предложен метод прогнозирования предела огнестойкости элементов конструкций при различных сценариях развития пожара в нефтегазовом комплексе.

Ключевые слова: элемент конструкции, модели пожаров, градиентный критерий разрушения.

Enaleyev R. Sh., Telyakov E. Sh., Tuckova O. A., Kachalkin V. A., Osipova L. E.
Limits of fire resistance of construction elements at fire in oil and gas industrial enterprises

The mathematical model with a volumetric source of moisture evaporation is developed for calculation of a temperature field of construction elements under influence of fire flame. A gradient destruction criterion, invariant to speed of high-intensive heating of ferro-concrete constructions, has been proved. There was offered a method of forecasting of fire resistance limit at different scenarios of fire development in oil and gas complex.

Keywords: element of construction, models of fire, gradient criterion of destruction.

Введение

В аварийных ситуациях при крупномасштабном горении энергоемких веществ и материалов в аэрокосмической технике, атомной энергетике, нефтехимической технологии могут возникнуть предельные состояния элементов строительных конструкций.

В настоящее время оценка материалов на огнестойкость проводится по единому стандарту ISO—834, принятому в 1961 году Международной организацией по стандартизации ИСО. Температурный режим "стандартного пожара" аппроксимируется формулой подъема температуры окружающей среды до 1200 °С и плотности теплового потока до 25 кВт/м² в течение нескольких десятков минут.

В соответствии с Федеральным законом [1] при оценке пожарного риска предел огнестойкости конструкций определяется временем от начала огневого испытания до наступления одного из нормируемых предельных состояний по огнестойкости также при стандартном температурном режиме.

Однако в реальных сценариях развития пожаров на нефтехимических предприятиях средняя температура горения углеводородов достигает 1600 °С, а тепловые потоки излучения — 450 кВт/м² при времени горения несколько десятков секунд [2, 3]. Методы испытаний и расчетно-аналитические оценки огнестойкости при таких термодинамических параметрах пламени в нормативных документах отсутствуют.

В связи с изложенным, разработка и совершенствование методов оценки пределов огнестойкости строительных конструкций при пожарах в нефтегазовом комплексе имеют важное теоретическое и прикладное значение. В последнее время актуальность данного направления исследований усиливается в связи с крупномасштабной добычей и транспортировкой нефти и газа из России в сопредельные страны и Европу, а также с проектированием супертанкеров и емкостей для перевозок и хранения сжиженных углеводородных газов.

Модели пожаров

При прогнозировании огнестойкости элементов железобетонных (ж/б) конструкций необходимо решать сопряженную задачу по моделированию внешнего теплового воздействия высокотемпературного пламени пожара, моделированию процессов тепломассопереноса в элементах железобетонных конструкций и расчету предельных напряженных состояний материалов конструкций при их разрушении.

Из-за сложности физико-химических процессов, происходящих при горении углеводородных топлив, специалистами на основе обработки экспериментальных данных предлагаются корреляционные соотношения между интегральными характеристиками — средней температурой пламени, средней постоянной плотности теплового потока излучения, средними постоянными геометрическими размерами источника горения и временем горения массы аварийного выброса топлива [4, 5].

В данной работе для моделирования всевозможных сценариев горения аварийных выбросов углеводородов предлагается использовать две интегральные характеристики — эффективную температуру пламени T_f , °С, и степень черноты ε_f продуктов горения углекислого газа и паров воды.

В практических расчетах лучеиспускания газов принят закон Стефана-Больцмана [6]. Несмотря на условность такого подхода, он успешно используется в расчетах топочных устройств для сгорания углеводородов. Значение степени черноты пламени, входящего в виде постоянного коэффициента в этот закон, определяется на основании опытных данных по излучению газов и представляется в виде зависимости

$$\varepsilon_f = f(t_f, P, l), \quad (1)$$

где P — парциальное давление продуктов горения CO_2 и H_2O ; P_a , l — толщина слоя горящего газа, м.

Аргументы в функции (1) в свою очередь зависят от скорости выгорания и массы аварийного выброса топлива, гидродинамического режима перемешивания и т. д.

В задачи исследования не входило точное воспроизведение динамики излучения от пламени пожаров для реальных аварийных сценариев, что является невыполнимой задачей. Основное внимание уделяется результатам воздействия высокоинтенсивного теплового потока излучения на огнестойкость элементов конструкций. Поэтому выбор значений температуры и степени черноты пламени основывается на литературных и нормируемых данных по экспериментальному измерению значений среднеповерхностной плотности теплового потока излучения пламени [3–6].

Плотность теплового потока облучения рассчитывается по формуле [7]:

$$q = \alpha_f(T_f - T(0)) + \varepsilon_{\text{пр}} C \left[\left(\frac{T_f}{100} \right)^4 - \left(\frac{T(0)}{100} \right)^4 \right], \quad (2)$$

где $\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{1/\varepsilon_f + 1/\varepsilon_M - 1}$ — приведенный коэффициент поглощения излучения; ε_M — степень черноты облучаемого материала; $\varepsilon_M = 0,56$ для тяжелого бетона [7]; $T(0)$ — температура окружающей среды, К; α_f — коэффициент теплоотдачи от пламени к поверхности, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $\alpha_f = 29$ [7]; ε_f — степень черноты пламени; C — коэффициент излучения, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Результаты расчета для основных сценариев развития реальных пожаров представлены на рис. 1. По аналогии со стандартной пожарной кривой в работе [8] предлагается зависимость температуры пламени при горении углеводородов от времени, график которой представлен на рис. 1. На том же рисунке дополнительно представлена зависи-

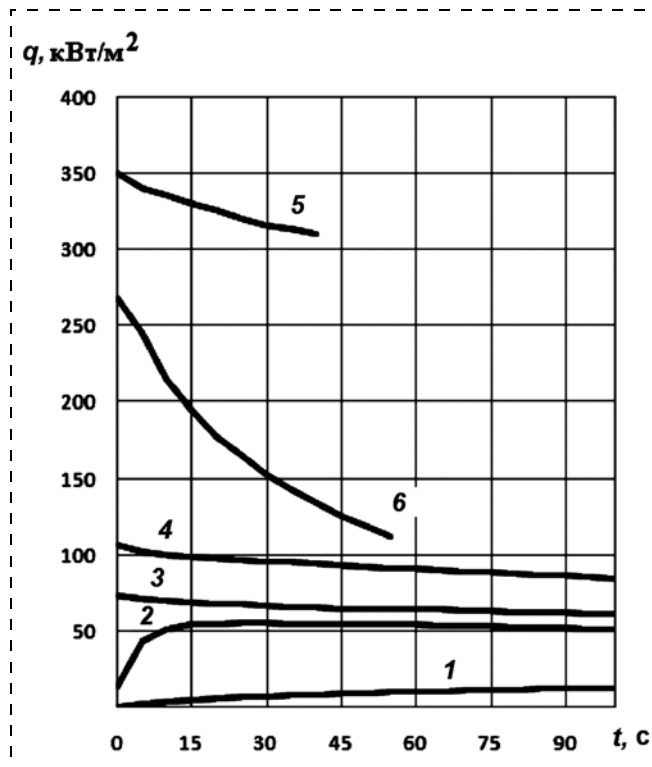


Рис. 1. Тепловой поток облучения объекта при различных сценариях развития пожара:

1 — стандартный пожар; 2 — горение углеводородов; 3 — пожар разлива; 4 — факельное горение; 5 — огненный шар; 6 — горение термита



мость специального нагрева — горения термита (кривая 6). Как видно из рис. 1, плотность тепловых потоков реальных пожаров на предприятиях по добыче, транспортировке и переработке углеводородного сырья может в разы превышать плотность тепловых потоков стандартного пожара.

Модель тепломассопереноса при нагреве

При кратковременном высокоинтенсивном нагреве, связанном с аварийным выбросом, зажиганием и горением углеводородных топлив, в конструкциях возникают сильно нелинейные нестационарные поля, которые вызывают в бетоне и арматуре структурные изменения, температурные напряжения, потерю прочности и разрушение.

За пределы огнестойкости принимается возникновение одного из предельных состояний [7]: по плотности — образование сквозных трещин, по теплоизолирующей способности — повышение температуры более 160 °С на необогреваемой стороне по несущей способности конструкции в целом или ее узлов.

Для расчета огнестойкости конструкций используются типовые теплотехнические схемы в виде плоских элементов стен и покрытий и круглых элементов колонн строительных конструкций. В качестве примера на рис. 2 схематично представлен плоский элемент железобетонных конструкций при одностороннем нагреве.

В стандартных методах расчета [7] влияние влажности бетона при нагреве и фазовом превращении учитывается введением приведенного ко-

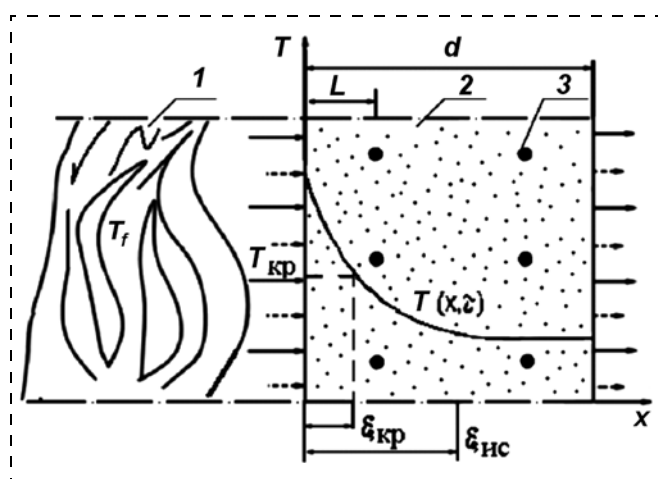


Рис. 2. Типовая теплотехническая схема элемента железобетонной конструкции:

1 — пламя пожара; 2 — бетон; 3 — арматура; d — ширина элемента; L — толщина защитного слоя бетона; $\xi_{кр}$ — подвижная граница при постоянной критической температуре $T_{кр}$; $\xi_{ис}$ — подвижная граница волны испарения влаги; $T(x, \tau)$ — температура в сечении образца

эфициента температуропроводности. Решение задачи нестационарной теплопроводности сводится к определению температуры в любой точке поперечного сечения элемента в течение времени от воздействия стандартного пожара.

В данной работе, в отличие от стандартного метода расчета предела огнестойкости в качестве граничных условий, кроме стандартного пожара, предусмотрено воздействие теплового излучения пламени пожаров при различных аварийных сценариях выброса углеводородного топлива. Кроме того, в математической постановке задачи высокоинтенсивного нагрева бетона учитывается объемное испарение влаги, описываемое формально-кинетическим уравнением [9]

$$\frac{d\eta}{d\tau} = k(1 - \eta)^n \exp\left(-\frac{L_0}{RT_M}\right), \quad (3)$$

где η — глубина (степень) фазового превращения влаги при объемном испарении; k — предэкспонент, 1/с; $L_0 = L\mu$ — эффективная энергия активации испарения, Дж/моль; L — теплота испарения влаги со свободной поверхности, Дж/кг; μ — молярная масса воды, кг/моль; n — эффективный порядок реакции; T_M — температура материала, К; R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль · К); τ — время.

С учетом стока теплоты и зависимости теплофизических свойств от температуры для одномерного одностороннего нагрева элемента конструкции уравнение энергии записывается в виде

$$c(T)\rho \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda(T) \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2} - L\rho\omega_0 \frac{d\eta}{d\tau}, \quad (4)$$

где $c(T)$, ρ , $\lambda(T)$ — теплоемкость, плотность, коэффициент теплопроводности материала конструкции соответственно; ω_0 — начальное влагосодержание.

Уравнение (4) с начальными и граничными условиями, учитывающими теплообмен элемента с окружающей средой излучением и конвекцией, решается методом конечных разностей. Результаты вычислительного эксперимента для нагрева тяжелого бетона на силикатном заполнителе при воздействии стандартного пожара представлены на рис. 3.

Как видно из представленных данных, в течение 2/3 времени воздействия стандартного пожара наблюдается заметное различие в изменении температуры по сравниваемым моделям, которое можно объяснить "сдерживанием" процесса теплопроводности при движении волны испарения от поверхности вглубь материала.

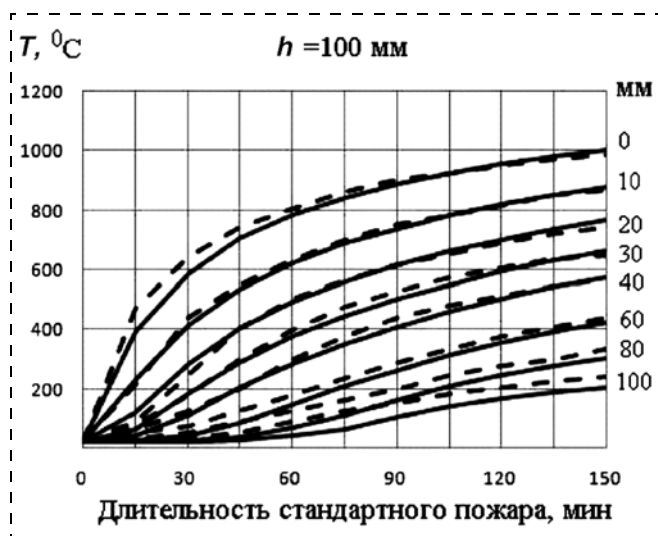


Рис. 3. Сравнительные данные по расчету температурного поля по стандартной методике (—) и модели с объемным испарением влаги (---)

Этот факт не может повлиять на оценку предела огнестойкости по критерию критической температуры на глубине расположения арматуры (20...30 мм), но это влияние оказывается значимым на оценку предела огнестойкости по теплоизолирующей способности. Например, температура 160 °С достигается на тыльной стороне элемента по стандартной методике примерно через 90 мин, а по модели с объемным испарением влаги — через 110 мин (см. рис. 3).

Зависимость предела огнестойкости от температуры характеризуется коэффициентом изменения прочности материала m_T , равным отношению предела прочности или текучести при повышенной температуре к пределу прочности или текучести при нормальных условиях. По нормативным документам основным критерием при оценке предела огнестойкости по потере несущей способности является критическая температура бетона и арматуры, значение которой для тяжелых бетонов лежит в пределах 500...600 °С.

В качестве альтернативного варианта оценки предельного состояния материала при высокоинтенсивном нагреве может быть предложен математический аппарат теории теплового удара. Проблема теплового удара — одна из центральных в термомеханике. Применительно к одностороннему равномерному нагреву элементов конструкций можно записать известное уравнение Даниловской В. И. [9]

$$v^2 \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial \tau^2} = S \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}. \quad (5)$$

Здесь v — скорость распространения упругой волны; $U(x, \tau)$ — напряжение.

В. И. Даниловской [9] было показано, что если условия нестационарного нагрева вызывают достаточную скорость изменения температуры, то при исследованиях температурных напряжений следует учитывать динамические эффекты, обусловленные движением частиц твердого тела при быстром тепловом расширении (или сжатии). В динамической задаче [9] была описана термоупругая волна, распространяющаяся со скоростью звука в данной среде. На фронте волны имеет место разрыв напряжения со скачком

$$\sigma = E\alpha T_0 / (1 - 2\nu), \quad (6)$$

где σ — напряжение в бетоне, Па; E — модуль Юнга; α — коэффициент линейного теплового расширения; T_0 — начальная температура; ν — коэффициент Пуассона.

Если подставить справочные данные по свойствам бетона в формулу (6), то значение напряжения будет на уровне предела прочности разрушения бетона.

Таким образом, критерий критической температуры, используемый в стандартном методе оценки предела огнестойкости [7] при воздействии стандартного пожара должен быть сопряжен с критерием градиента температуры.

Обоснование комплексного критерия огнестойкости

При обосновании комплексного критерия огнестойкости, учитывающего влияние критической температуры, градиента температуры и теплофизических свойств бетона, были проанализированы постановка и решение различных задач нестационарной теплопроводности. Из них выбраны две.

В первой задаче рассматривается решение классической задачи Стефана по промерзанию грунта [11]

$$T_0 - B \operatorname{erf} \frac{\xi}{2\sqrt{a\tau}} = T_3, \quad (7)$$

где T_0 — температура талой воды, К; ξ — подвижная граница, м, при постоянной температуре замерзания T_3 , К; B — постоянный коэффициент; a — коэффициент температуропроводности, м²/с; $\operatorname{erf}(\xi/2\sqrt{a\tau})$ — функция ошибок Гаусса (функция Крампа).

В математической постановке задач о промерзании грунта и расчете огнестойкости имеется подвижная граница с постоянным значением температуры. В одной — это движение границы с постоянной температурой замерзания, в другой — с постоянной критической температурой разрушения бетона. Применительно к расчету огнестойко-



сти предлагается задачу Стефана предельно упростить за счет исключения теплоты фазового перехода. При этом градиент температуры с обеих сторон подвижной границы становится одинаковым и за ξ принимается граница распространения критической температуры $T_{кр}$, за T_h — температура бетона на расстоянии шага численного интегрирования уравнения энергии h_x от подвижной границы. Кроме того, в диапазоне изменения параметров ξ , a , τ функция Крампа линейно зависит от аргумента $(\xi/2\sqrt{a\tau})$ [12]. Тогда, после замены T_3 на $T_{кр}$ выражение (7) можно представить в виде

$$\frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}} = K_1 \frac{\xi}{2\sqrt{a\tau}}; \quad (8)$$

$$|\text{grad } T| = \frac{T_{кр} - T_h}{h_x}, \quad K_1 = \frac{B}{2T_{кр}h_x},$$

где $\text{grad } T$ — модуль проекции градиента температуры на координатную ось Ox ; $\frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}}$ — приведенный градиент; K_1 — постоянный коэффициент.

Во второй задаче в начальный момент времени $\tau = 0$ все точки полуограниченного твердого тела имеют одинаковую начальную температуру T_0 и задан произвольный закон изменения теплового потока от времени на границе тела. В этой задаче имеется частный случай, когда изменение теплового потока обеспечивает постоянство температуры на поверхности [13]

$$q(\tau) = -\frac{T_0}{\sqrt{\pi a \tau}} \quad (9)$$

где $q(\tau)$ — плотность переменного теплового потока, Вт/м².

Принимая за T_0 критическую температуру $T_{кр}$ и применяя закон Фурье $q = -\lambda \text{grad } T$, уравнение (9) записывается в виде

$$\frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}} = K_2 \frac{1}{\sqrt{a\tau}}; \quad K_2 = \frac{1}{\lambda_{ср} \sqrt{\pi}}, \quad (10)$$

где K_2 — постоянный коэффициент; $\lambda_{ср}$ — коэффициент теплопроводности при средней температуре на подвижной границе.

С использованием критериев (8) и (10) обработаны данные вычислительного эксперимента по модели для всех видов пожаров, включая стандартный. Результаты представлены на рис. 4 и 5.

Как видно из рис. 4, приведенный градиент температуры линейно зависит от безразмерного

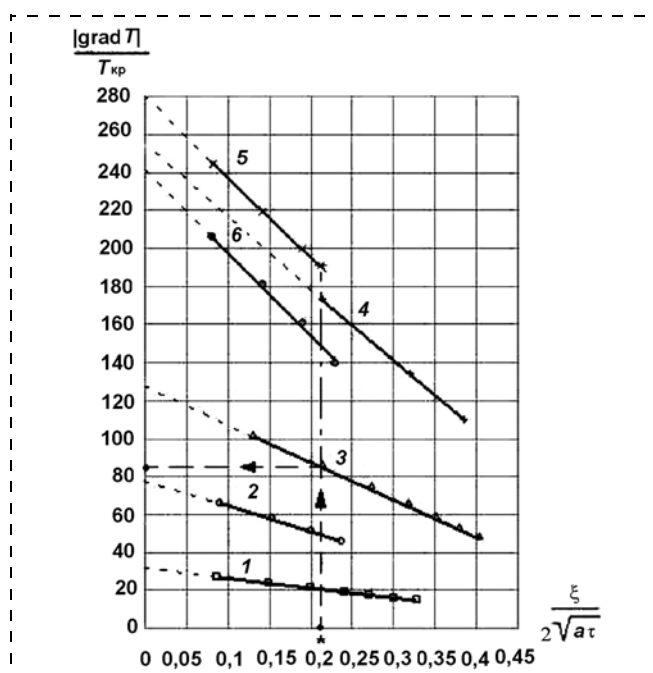


Рис. 4. Зависимость приведенного градиента температуры от безразмерной подвижной границы:

1 — стандартный пожар; 2 — пожар разлива; 3 — факельное горение; 4 — огненный шар; 5 — пожар-вспышка; 6 — горение термита; * — критическое значение аргумента

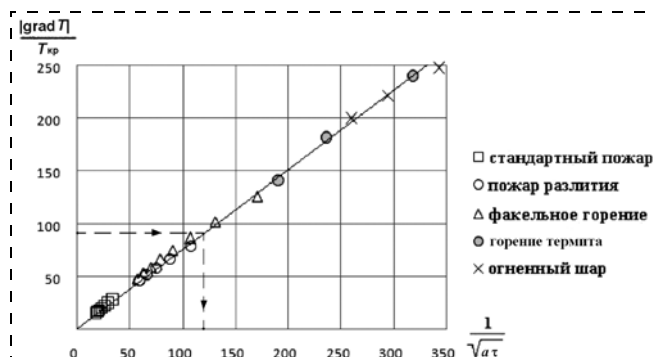


Рис. 5. Зависимость приведенного градиента температуры от обратной координаты подвижной границы

комплекса $\frac{\xi}{2\sqrt{a\tau}}$ для каждого вида пожара с различными угловыми коэффициентами, а из рис. 5 — линейная зависимость приведенного градиента от $\frac{1}{\sqrt{a\tau}}$ является единой для всех видов пожаров с коэффициентом $K_2 = 0,75$.

Полученные зависимости могут быть использованы для прогнозирования предела огнестойкости элементов железобетонных конструкций. Однако результаты расчетов экспериментально могут быть подтверждены только для стандартного пожара.

Поэтому обоснование предлагаемых критериев для пожаров с высокоинтенсивным тепловым потоком излучения требует дополнительных экспериментальных данных с имитацией пожаров статически наиболее вероятных сценариев развития аварий с выбросом сжиженных углеводородных газов в виде огненного шара факельного горения, пожара разлива [2].

Имитация высокоинтенсивных тепловых потоков в лабораторных условиях на относительно большой равномерно облучаемой поверхности является сложной технической задачей. Для проверки адекватности математических моделей предлагается специальный метод высокоинтенсивного нагрева элементов конструкций за счет химической энергии пиротехнических составов (термитов), при горении которых плотность тепловых потоков с приемлемым приближением имитирует реальные потоки теплового излучения от огненных шаров, факельного горения, пожаров разлива.

Анализ результатов эксперимента нагрева бетона с использованием термита показывает, что после его сгорания образование магистральных трещин наступает, когда критическая температура достигает значения 600 °С на глубине 2 мм от поверхности высокоинтенсивного нагрева и выше [14].

Очевидно, что при высокоинтенсивном нагреве проявляется другой механизм разрушения, чем при стандартном пожаре. Этот механизм описывается в теории динамической термоупругости для массивных тел, находящихся в условиях теплового удара.

При предпроектной оценке огнестойкости множества вариантов строительных конструкций разработка инженерных методов и критериев прогнозирования пределов огнестойкости в условиях высокоинтенсивного нагрева в аварийных сценариях развития пожаров представляет важное прикладное значение как при проектировании, так и при защите конструкций в нефтегазовом комплексе.

Прогнозирование предела огнестойкости

Согласно официальным материалам [1, 7], за предел огнестойкости принимается время от начала воздействия пожара до наступления одного из предельных состояний элемента строительной конструкции — потери несущей или теплоизолирующей способности. В данной работе это время обозначается как $\tau_{кр}$.

Для прогнозирования предела огнестойкости элемента конструкции из тяжелого бетона на силикатном заполнителе выбран вид пожара "факельное горение", которое является наиболее распространенным сценарием развития пожара при авариях на газопроводах со сжатым природным газом.

Для прогнозирования пределов огнестойкости использование одних критериев (8) и (10) недостаточно. Поэтому проводится дальнейшая обработка результатов вычислительного эксперимента, приведенных на рис. 4 и 5. Прежде всего, зависимости 1—6 на рис. 4 представляются в виде линейной функции

$$\frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}} = \frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}} \Big|_{\xi=0} - K_1(i) \frac{\xi}{2\sqrt{a\tau}}, \quad (11)$$

где $\frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}}$ — значение приведенного градиента температуры на подвижной границе ξ ; $\frac{|\text{grad } T|}{T_{кр}} \Big|_{\xi=0}$ —

значение приведенного градиента на фронтальной поверхности бетона в момент времени начала движения подвижной границы ξ ; $K_1(i)$ — угловой коэффициент i -го вида пожара ($i = \overline{1,6}$).

Пределы огнестойкости и расстояния до сечений, в которых температура тяжелого бетона достигает критического значения 600 °С, полученные в огневых испытаниях [7] и при горении термита, приведены в табл. 1.

Эти данные можно также установить по графикам рис. 4 и рассчитать критическое значение аргумента $\frac{\xi}{2\sqrt{a\tau_{кр}}}$ (отмечено звездочкой на рис. 4).

Как видно из данных табл. 1, для условий горения термита элемента бетона и условий нагрева с различными расстояниями расположения арматуры от поверхности бетона для стандартного пожара критические значения аргумента остаются практически постоянными. Поэтому их среднее значение можно рассматривать в качестве универсального критерия для прогнозирования предела огнестойкости.

Исключения составляет нагрев при расположении арматуры на расстоянии 30 мм. Объясняется это тем, что значения критерия обосновываются для полуограниченного тела. Для элемента шириной 100 мм при этом времени нагрева температура

Таблица 1

Предел огнестойкости $\tau_{кр}$, мин	Критическое значение границы $\xi_{кр}$, мм	Критические значения аргумента $\frac{\xi_{кр}}{2\sqrt{a\tau_{кр}}}$	
		Стандартный пожар	Горение термита
60	17	0,212	—
90	20	0,204	—
132	30	0,250	—
1	2	—	0,203



Таблица 2

Вид пожара	i	$K_1(i)$	$\left \frac{\text{grad } T}{T_{\text{кр}}} \right _{\xi=0}$
Стандартный пожар	1	51	31
Пожар разлива	2	138,5	77
Факельное горение	3	198,5	129
Огненный шар	4	371,5	245
Горение термита	6	446,5	280,7

тыльной стороны элемента повышается (см. рис. 2), предел огнестойкости уменьшается — значение критического критерия увеличивается.

Чтобы прогнозировать предел огнестойкости для любого вида пожара с использованием универсального критерия, необходимо по данным рис. 4 определить угловые коэффициенты прямых 1–6 и значения приведенного градиента на фронтальной поверхности для каждого вида пожара. Значения этих параметров приведены в табл. 2.

Тогда после подстановки значения универсального критерия в (11) можно определить критическое значение приведенного градиента температуры. Например, при факельном горении из функции (11) находится значение $\frac{|\text{grad } T|}{T_{\text{кр}}} = 89,3$. Далее по фор-

муле (10) находится значение $\frac{1}{\sqrt{a\tau_{\text{пр}}}} = 119$ и при

известном коэффициенте температуропроводности материала бетона a достигается конечная цель — определение предела огнестойкости $\tau_{\text{пр}} = 158$ с. Графическое определение предела огнестойкости схематично показано пунктирными линиями со стрелками на рис. 4 и 5.

В соответствии с требованиями пожарной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и строений, изложенных в Федеральном законе [1], допускается для типовых элементов, прошедших огневые испытания, проводить оценку проектируемых изделий расчетным методом.

Результаты описанных здесь экспериментов могут найти применение при разработке нормативных документов по оценке пределов огнестойкости строительных конструкций в нефтегазовом комплексе.

Выводы

- Разработана адекватная математическая модель процесса тепломассообмена в элементах железобетонных конструкций с объемным источником испарения влаги при высокоинтенсивном нагреве от пламени пожаров в различных сценариях развития аварийной ситуации.
- Теоретически и экспериментально обоснован комплексный критерий разрушения материалов строительных конструкций при высокоинтенсивном нагреве.
- Предложен новый инженерный метод прогнозирования предела огнестойкости строительных конструкций для предпроектной оценки пожарной опасности зданий и сооружений в нефтегазовом комплексе.

Список литературы

1. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
2. **ГОСТ Р 12.3.047–98** Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. — Введ. 2000-01-01. — М.: Госстандарт России, 1998. — 84 с.
3. **Методика** определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приложение к приказу МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404.
4. **Маршалл В.** Основные опасности химических производств: пер. с англ. / В. Маршалл. — М.: Мир, 1989. — 672 с.
5. **Бейкер У.** Взрывные явления. Оценка и последствия. Кн. 2. Пер. с англ. / Под ред. Зельдовича Я. Б. и Гельфанда Б. Е. / У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн [и др.].
6. **Михеев М. А.** Основы теплопередачи. — М.: Государственное энергетическое издательство, 1956. — 392 с.
7. **Пособие** по расчету огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжелого бетона (к СТО 36554501-006—2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. — Введ. 2006-20—10. — М.: ФГУП "НИЦ "Строительство", 2006. — 78 с.).
8. **Исаков Г. Н.** Некоторые вопросы методологии кинетического эксперимента при термическом анализе полимерных материалов и композитов на их основе / Г. Н. Исаков // ТГУ. — 1980. Деп. ВИНТИ. — № 4207 — 80.
9. **Даниловская В. И.** Температурные напряжения в упругом полупространстве, возникающие вследствие нагрева его границ / В. И. Даниловская // Прикладная математика и механика. — 1950. — Т. 12. — № 3 — С. 216—218.
10. **Теория** теплопроводности / А. В. Лыков. — М.: Высшая школа, 1967. — 599 с.
11. **Ройтман М. Я.** Противопожарное нормирование в строительстве. — М.: Стройиздат, 1985. — 585 с.
12. **Карслоу Г.** Теплопроводность твердых тел / Г. Карлоу, Д. Егер. — М.: Наука, 1964. — 488 с.
13. **Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Харитонов О. Ю., Тучкова О. А.** Разрушение элементов строительных конструкций при высокоинтенсивном нагреве / Современные проблемы химической и радиационной физики // Сборник статей. — Москва, Черноголовка: ОИХФ РАН, 2009. — 408 с.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 556.5.072 (470.45)(470.61)

Е. И. Шаврак, канд. техн. наук, Южно-Российский государственный технический университет, Волгодонский институт; **Т. О. Гурьева**, Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища
E-mail: npi-ecology@rambler.ru

Исследование тенденций изменения качества воды в Цимлянском водохранилище

Проанализированы пространственно-временные тенденции изменения гидрохимического режима Цимлянского водохранилища. Проведено их сопоставление с соответствующей динамикой изменения качества воды. Оценена возможность использования водных ресурсов Цимлянского водохранилища в хозяйственных целях.

Ключевые слова: искусственный водоем, солевой состав, биотический баланс, качество воды, тенденции изменения.

Shavrak E. I., Gurieva T. O. *The investigation of quality changing tendencies of water in Zymliansk reservoir*

Space-time tendencies of changing of hydrochemical conditions of Zymliansk reservoir have been analyzed. The comparison between the space-time tendencies and the corresponding dynamics of water quality changing has been carried out. The ability of utilization of water resources of Zymliansk reservoir for economic purposes has been valued.

Keywords: tank, saline composition, biotic balance, water quality, tendencies of changing.

Введение

Цимлянское водохранилище (ЦВ) — один из крупнейших искусственных водоемов степной зоны юга России, созданный в 1952 г. в русле реки Дон. На базе ЦВ существует сложный водохозяйственный комплекс, бесперебойное функционирование которого возможно только при соответствующем качестве воды водохранилища. Гидрохимический режим ЦВ, определяющий качество воды, с одной стороны, формируется под влиянием водосборов рек Верхнего, Среднего Дона и боковой приточности, с другой — оказывает непосредственное влияние на течение физико-химических процессов рек Нижнего Дона, Сала, водоема-охладителя Волгодонской АЭС (ныне Ростовская атомная станция РоАЭС). Мониторинг состояния ЦВ осуществляет ФГУ "Управление водными ресурсами Цимлянского водохранилища" (ФГУ

"УВРЦВ"). Рассматриваемая в статье работа посвящена исследованию тенденций изменения качества воды в ЦВ и состоит из следующих этапов: оценка долговременных тенденций изменения гидрохимического режима ЦВ; анализ пространственных тенденций изменения гидрохимического режима ЦВ; сопоставление упомянутых тенденций с соответствующей динамикой изменения качества воды ЦВ.

1. Оценка долговременных тенденций изменения гидрохимического режима ЦВ

Формирование гидрохимического режима ЦВ зависит от ряда факторов, к которым относят: физико-географические условия его водосбора, морфометрические характеристики водохранилища, поступление вод с боковыми притоками, процессы, протекающие в водохранилище, и т. д. Основными факторами при этом являются химический состав вод, поступающих с речным стоком, и процессы смешения их с водами, аккумулированными в водохранилище. В водном питании ЦВ главную роль играет сток Дона (около 90 %) и незначительную — сток боковых притоков. Поскольку естественное состояние Дона, как и многих других рек РФ, трансформируется под влиянием техногенных и демографических нагрузок, соответствующие изменения характерны и для Цимлянского водохранилища.

На данном этапе исследований были рассмотрены долговременные тенденции изменения показателей гидрохимического режима ЦВ, характеризующих солевой состав, а также состояние биотического баланса в экосистеме ЦВ. В качестве репрезентативных створов рассматривали входной створ в ЦВ — г. Калач-на-Дону, и участок, зарегулированный ЦВ, — г. Волгодонск. В качестве исходной информации использовались результаты наблюдений Гидрохимического института и Цимлянской гидрометеорологической обсерватории за период 1953—1972 гг., обобщенные в монографии [1], и данные гидрохимической лаборатории ФГУ "УВРЦВ" за 2000—2007 гг., статистически обработанные с использованием методов, принятых в системе режимного мониторинга поверхностных вод суши.



1.1. Тенденции изменения солевого состава ЦВ

Согласно работе [1], вода ЦВ относится к классу гидрокарбонатных вод, кальциевой группе (по классификации О. А. Алекина). Для определения солевого состава воды ЦВ было оценено общее количество растворенных неорганических веществ (показатель минерализации воды или сухой остаток), а также содержание основных ионов $[Ca^{2+}, Mg^{2+}, (Na^{+} + K^{+}), HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}]$ в сравнении с общей концентрацией всех ионов и относительно преобладающих катиона (Ca^{2+}) и аниона (HCO_3^{-}). При анализе динамики изменения солевого состава воды ЦВ использовали средние значения минерализации и содержания основных ионов в репрезентативных створах, рассчитанные за соответствующий временной промежуток и прошедшие статистическую обработку. Доверительный интервал при уровне надежности 95 % составлял не более 3 % от среднего значения.

Динамика изменения мольэквивалентных концентраций основных ионов

Мольэквивалентные концентрации основных ионов φ_i , %, рассчитывали по формуле:

$$\varphi_i = \frac{n_{\Sigma i}}{\sum_{i=1}^6 n_{\Sigma i}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $n_{\Sigma i}$ — количество эквивалентов i -го иона, моль/дм³; 6 — количество видов основных ионов.

Для оценки временной тенденции определяли относительное изменение концентраций за рассматриваемый промежуток времени по формуле (2):

$$f_i = \frac{\varphi_i^{2000-2007}}{\varphi_i^{1952-1972}}, \quad (2)$$

где $\varphi_i^{2000-2007}$ — среднее значение показателя φ_i за 2000—2007 гг.; $\varphi_i^{1952-1972}$ — среднее значение показателя φ_i за 1952—1972 гг.

Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рис. 1.

В качестве преобладающих рассматривались катион и анион с наибольшими значениями φ_i , а именно ионы Ca^{2+} и HCO_3^{-} . Содержание i -го катиона относительно преобладающего катиона Ca^{2+} , %, находили по формуле

$$\bar{\omega}_i^k = \frac{n_{\Sigma i}^k}{n_{Ca^{2+}}^k}. \quad (3)$$

Для анионов формула (3) принимает вид:

$$\bar{\omega}_j^a = 100 \frac{n_{\Sigma j}^a}{n_{HCO_3^{-}}^a}, \quad (4)$$

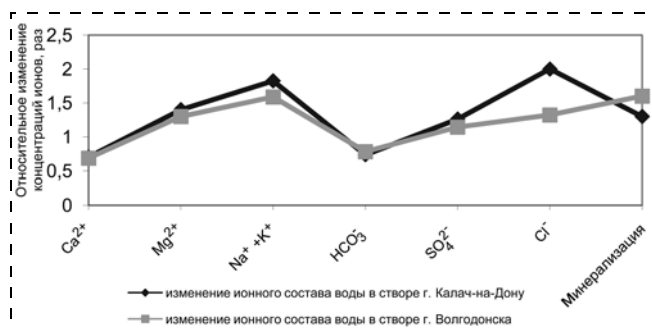


Рис. 1. Динамика изменения ионного состава ЦВ

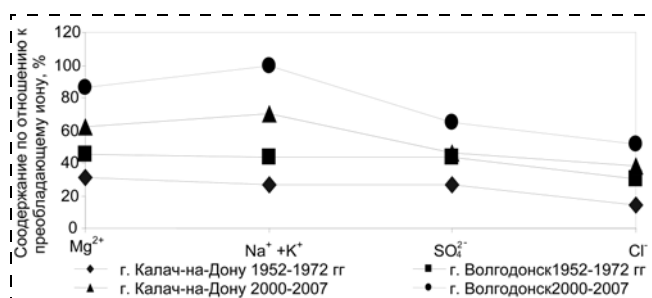


Рис. 2 Динамика изменения содержания основных ионов по отношению к преобладающему иону

где $n_{\Sigma j}^a$ — количество эквивалентов j -го аниона, моль/дм³, $n_{\Sigma j}^{HCO_3^{-}}$ количество эквивалентов гидрокарбонат-аниона, моль/дм³.

Графическая интерпретация полученных результатов приведена на рис. 2.

Обсуждение полученных результатов

За рассматриваемый промежуток времени произошло изменение солевого состава воды во входном створе ЦВ: в 1,5—2 раза уменьшилось относительное содержание ионов кальция и гидрокарбонат-ионов при одновременном увеличении в 1,3—2 раза ионов магния, натрия-калия, хлорид- и сульфат-ионов. Аналогичная динамика характерна и для створа г. Волгоградска (см. рис. 1). Полученные результаты совпадают с выводами, представленными в работе [2].

Следствиями наблюдаемого изменения ионного состава являются увеличение минерализации воды в 1,3—1,6 раза, а также потенциальная возможность изменения природы преобладающего катиона в составе воды ЦВ. Как показано на рис. 2, для периода 2000—2007 гг. в створе г. Волгоградска характерно выравнивание мольэквивалентных концентраций кальция и одновалентных катионов калия-натрия.

1.2. Тенденции изменения биотического баланса в ЦВ

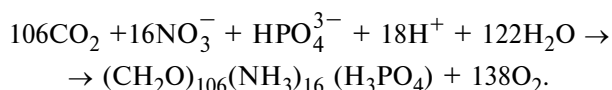
Фундаментальной характеристикой водных экосистем является соотношение скоростей автотрофных и гетеротрофных процессов, т. е. продукции и деструкции

Индикаторы состояния биотического баланса ЦВ

Участок ЦВ	$N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$		рН		Раствор O_2 , % насыщенный		БПК ₅ /ХПК	
	1953— 1972 гг.	2000— 2007 гг.	1953— 1972 гг.	2000— 2007 гг.	1953— 1972 гг.	2000— 2007 гг.	1953— 1972 гг.	2000— 2007 гг.
Входной створ, г. Калач-на-Дону Зарегулированный створ, г. Волгодонск	5,5 12	2,9 4	7,03 7,1	8,4 8,6	89 87	96 96	0,12 0,13	0,08 0,1

органических веществ, отражающее состояние биотического экосистемного баланса. Биотический баланс может быть отрицательным (преобладают деструкционные процессы), нулевым (скорости продукции и деструкции равны между собой) и положительным (выше скорость продукции) [3].

Формально продукционно-деструкционные процессы можно описать уравнением обратимой реакции [4]:



Уравнение прямой реакции соответствует продукции органических веществ (фотосинтезу), при протекании реакции в обратном направлении происходит деструкция органических веществ. Согласно закону действующих масс, скорость фотосинтеза увеличивается при возрастании концентраций азота и фосфора, называемых также биогенными элементами. Для пресных водоемов решающую роль в лимитировании процессов фотосинтеза играет фосфор [3, 5]. Следствием преобладания фотосинтеза являются увеличение рН (уменьшение концентрации ионов водорода) и содержания растворенного в воде кислорода [6].

Динамика изменения режима биогенных элементов и окисляемости воды

На данном этапе использовали средние значения концентраций (a_i) для аммонийного, нитратного и нитритного азота, фосфора фосфатов, показателей окисляемости воды БПК₅ и ХПК в репрезентативных стоках, рассчитанные за соответствующие временные промежутки и прошедшие статистическую обработку. Доверительный интервал при уровне надежности 95 % составлял не более 2 % от среднего значения. В целях оценки тенденций изменения показателей определяли относительное изменение соответствующего показателя за рассматриваемый промежуток времени по формуле:

$$S_i = \frac{a_i^{2000-2007}}{a_i^{1952-1972}},$$

где S_i — величина, показывающая, во сколько раз изменилась концентрация a_i в период 2000—2007 гг. по отношению к промежутку 1952—1972 гг.

На рис. 3 приведена графическая интерпретация полученных результатов.

Индикация состояния биотического баланса

Выбор индикаторов состояния биотического баланса обусловлен химизмом продукционно-деструкционных процессов, протекающих в водных экосистемах. В качестве индикаторов состояния биотического баланса выбраны:

- соотношение концентраций минерального азота (суммы аммонийного, нитратного и нитритного) к минеральному фосфору фосфатов ($N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$); с уменьшением показателя возрастает вклад продукционных процессов, т. е. происходит эвтрофикация водоема; согласно работе [5] при $N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}} \leq 5$ в водоеме наблюдается доминирование сине-зеленых водорослей;
- водородный показатель рН и содержание растворенного кислорода; согласно работе [3] при $pH > 8,3 \pm 0,3$ преобладают продукционные процессы, приводящие к увеличению концентрации растворенного кислорода;
- соотношение показателей окисляемости воды БПК₅/ХПК; связано с вкладом деструкционных процессов в биотический баланс.

Результаты исследований сведены в табл. 1.

Обсуждение полученных результатов

Для рассматриваемого промежутка времени (1952—2007 гг.) характерна выраженная тенденция преобладания продукционных процессов, т. е. эвтрофирования ЦВ. Вклад деструкционных процессов уменьшился, в среднем, на 30 % (динамика показателя БПК₅/ХПК). Соотношение между биогенными элементами ($N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$) обеспечивает оптимальные условия для развития токсичных сине-зеленых водорослей. Эвтрофирование водоема привело к его за-

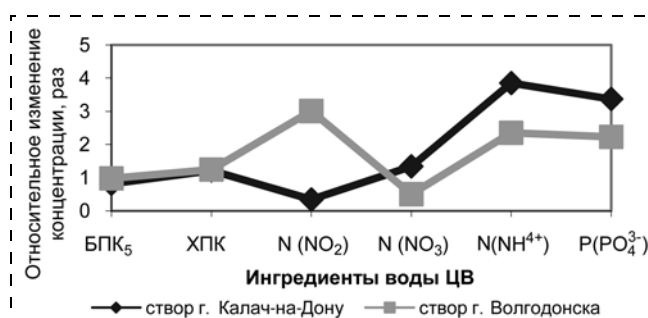


Рис. 3. Динамика изменения концентраций биогенных элементов и окисляемости ЦВ



щелачиванию. Кислотно-щелочная реакция воды (рН) в створе г. Волгодонска выше предельно допустимых значений концентрации вредного вещества в воде водоема рыбохозяйственного назначения ($\text{ПДК}_{\text{вр}} = 6,5 \dots 8,5$). Основной причиной наблюдаемой тенденции является увеличение антропогенного загрязнения воды, проявляющееся в возрастании концентраций биогенных элементов, прежде всего, фосфора фосфатов, а также бихроматной окисляемости воды (ХПК) — см. рис. 3.

2. Пространственные тенденции изменения гидрохимического режима ЦВ

Как можно видеть на рис. 1—3, гидрохимический режим различных створов ЦВ имеет определенные различия как в ионном составе, так и в характеристиках биотического баланса. На данном этапе исследования произведена оценка некоторых пространственных тенденций изменения состава воды в ЦВ.

Морфологически Цимлянское водохранилище включает три участка, отличающихся формой, боковой приточностью, основными чертами гидрологического режима и площадью водного зеркала: Верхний, Центральный и Приплотинный [1]. Для контроля за гидрохимическим режимом на каждом из участков создано по два створа, отличающихся количеством вертикалей. Контролируется также состояние рек боковой приточности. Верхний участок, площадь которого составляет 16 % от площади ЦВ, представлен четырьмя вертикалями, в том числе входным створом в районе г. Калач-на-Дону. Состояние Центрального участка (с площадью 44 % от площади ЦВ) характеризуется шестью вертикалями. На Приплотинном участке также организовано шесть вертикалей, включая вертикаль 69 — на расстоянии 200 м от дамбы водоема-охладителя РоАЭС и вертикаль 20 — г. Волгодонск.

При анализе пространственных тенденций рассматривалась динамика изменения усредненных за период 2000—2007 гг. и статистически обработанных гидрохимических показателей на уровне отдельных вертикалей, отдельных створов и отдельных участков ЦВ, а также для соответствующих рек боковой приточности. Величина доверительного интервала не превышала 6 % от среднего значения. В табл. 2 приведены итоговые ре-

зультаты, позволяющие установить, какой участок ЦВ вносил наибольший вклад в изменение гидрохимического режима водохранилища в 2000—2007 гг.

Обсуждение полученных результатов

Солевой состав ЦВ претерпевает максимальные преобразования на Центральном участке. Это проявляется в увеличении (по сравнению с преобладающими ионами) относительного содержания катионов магния и натрия, сульфат- и хлорид-анионов и, как следствие, в уменьшении минерализации в среднем на 11,6 % по сравнению с аналогичным показателем реки Дон.

Состояние биогенного баланса сдвинуто в сторону продукционных процессов на территории всего ЦВ, т. е. водохранилище находится в состоянии прогрессирующего эвтрофирования. Созданы оптимальные условия для развития синезеленых водорослей. Тем не менее, в Приплотинном участке эти тенденции выражены более ярко, следствием чего является увеличение рН.

3. Качество воды ЦВ и динамика его изменения

Под качеством воды в целом понимается характеристика ее состава и свойств, определяющая пригодность для конкретных видов водопользования [7]. На базе ЦВ функционирует сложный водохозяйственный комплекс, основными участниками которого являются: гидро- и атомная энергетика; орошаемое земледелие; водный транспорт; водоснабжение (промышленное, коммунально-бытовое, сельскохозяйственное); рыбное хозяйство. Эффективность и безопасность работы этого комплекса во многом определяются качеством воды ЦВ, которое, в свою очередь, является отражением гидрохимического режима водохранилища. Данный этап исследования посвящен оценке возможности использования воды ЦВ для народнохозяйственных целей и рассмотрению динамики изменения качества воды.

3.1. Оценка качества воды по комплексу гидрохимических показателей

Одним из наиболее часто используемых для оценки качества воды водных объектов показателем является индекс загрязнения воды (ИЗВ). На рис. 4 показана ди-

Таблица 2

Показатели гидрохимического режима отдельных участков ЦВ

Участок ЦВ, реки боковой приточности	Средние показатели солевого состава					Индикаторы биогенного баланса		
	Минерализация, мг/дм ³	$\omega^k (\text{Mg}^{2+})$	$\omega^k (\text{Na}^+)$	$\omega^a (\text{SO}_4^{2-})$	$\omega^a (\text{Cl})$	$N_{\text{мин}}/P_{\text{мин}}$	БПК ₅ /ХПК	рН
Река Дон	553	0,62	0,7	0,4	0,3	2,9	0,08	8,36
Река Чир	832	0,7	0,96	0,6	0,5	2,7	0,08	8,18
Верхний участок ЦВ	532	0,64	0,7	0,5	0,4	4,8	0,08	8,36
Аксай Есауловский	2740	0,97	1,98	3,1	4,0	10,8	0,08	7,91
Аксай Курмоярский	2570	1,36	2,39	3,6	3,9	9,2	0,08	7,52
Центральный участок	489	0,8	0,94	0,6	0,5	5,44	0,11	8,39
Цимла	1842	1,24	2,38	1,7	1,3	2,5	0,08	8,25
Приплотинный участок	485	0,84	1,0	0,65	0,52	4,9	0,11	8,49

Показатели качества воды ЦВ

Участок ЦВ	Минерализация, мг/дм ³ (средняя величина)		Ирригационный коэффициент		Общая жесткость, ммольэкв Ca ²⁺ , Mg ²⁺ /дм ³		Показатели агрессивной воды			
	1952—1972	2000—2007	1952—1972	2000—2007	1952—1972	2000—2007	Сульфатная		Углекислотная	
Цимлянское водохранилище в целом	360	500	150	34	3,4	4,82	C(SO ₄) max = = 90 мг/дм ³	C(SO ₄) max = = 150 мг/дм ³	C(HCO ₃) min = = 1,5 мг-экв	C(HCO ₃) min = = 1,8 мг-экв
Нормативные значения	≤1000 [1, 12]		≥18 [1, 12]		≤7 [11]		≤250 мг/дм ³ [13]		≥2 [1, 13]	

намика ИЗВ для района водозабора г. Волгодонска, находящегося в Приплотинном участке.

Согласно [8, 9] вода в месте водозабора умеренно загрязненная ($1 < \text{ИЗВ} < 2,5$), класс качества воды — Ш, качество воды на протяжении последних лет достаточно стабильно.

3.2. Ирригационные свойства воды ЦВ

Вода ЦВ используется для орошения свыше 480 тыс. га сельхозугодий в Ростовской и Волгоградской областях [10]. Забор воды для ирригационных целей составляет более 10 % приходной части водного баланса ЦВ. Согласно [1, 11] минерализация воды, используемой для орошения полей, не должна превышать 1 г/л. Для характеристики качества оросительной воды по ионному составу применяют ирригационный (щелочной) коэффициент Стеблера. Его величина зависит от типа вод и для воды второго типа, к которому относится вода ЦВ [1], определяется по формуле [1, 12]:

$$K = \frac{6620}{\text{Na}^+ + 2,6\text{Cl}^-}.$$

Если $K = 18$, вода хорошая, $K = 18...6$ — удовлетворительная, $K = 5,9...1,3$ — неудовлетворительная, меньше 1,2 — вода плохая. Характеристики ирригационных свойств воды ЦВ (минерализация и коэффициент Стеблера) приведены в табл. 3.

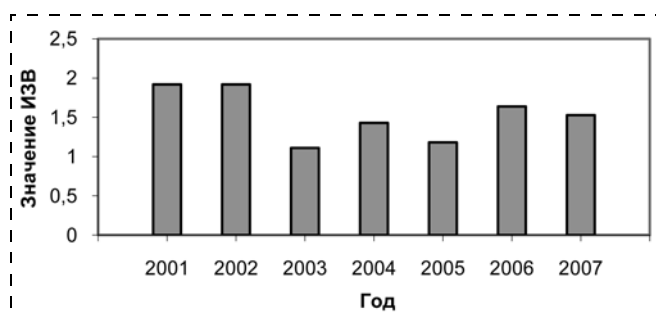


Рис. 4. Динамика изменения показателя ИЗВ в районе водозабора г. Волгодонска

3.3. Агрессивность воды ЦВ

При строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений большое значение имеет оценка агрессивности природных вод на бетон. Разрушение напорных бетонных сооружений может происходить под действием выщелачивающей, общекислотной, углекислотной, магниальной, сульфатной коррозии, если концентрация соответствующих ионов будет отличаться от норм и технических условий [13].

Выщелачивающая агрессивность наблюдается в мягких водах. Допустимый минимум при этом составляет 2 мг-экв/л. Общекислотная агрессивность вызывается низким содержанием в ней ионов водорода (рН ниже 6,5), что определяет растворение защитной карбонатной пленки бетона. Углекислотная агрессивность является частным случаем общекислотной агрессивности.

Сульфатная агрессивность определяется содержанием в воде сульфат-ионов выше 250 мг/л. Магниальная агрессивность воды возникает при содержании в ней ионов магния выше 1000 мг/л. Соответствующие показатели воды ЦВ приведены в табл. 3.

Таблица 4

Оценка пригодности воды ЦВ для рыбохозяйственных целей

Биотический показатель	Абиотический фактор	ЭДУ в ЦВ [14]	Средние показатели ЦВ, 2000—2007 гг.	В долях ЭДУ
Уловы судака и берша	Среднегодовое содержание Zn ²⁺ , мг/дм ³	0,016	0,0008	0,05
	Среднегодовое значение ХПК, мг O ₂ /дм ³	20,5	32,4	1,6
Уловы леща	Среднегодовое содержание нитритного азота, мг/дм ³	0,045	0,012	0,3
	рН (среднегодовое)	8,17	8,45	1,03
Уловы чехони	Среднегодовое содержание нитратного азота, мг/дм ³	0,175	0,263	1,5
	Среднегодовое содержание нитритного азота, мг/дм ³	0,008	0,012	1,5
	Среднегодовое значение БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	3,73	3,1	0,8
	Среднегодовое содержание Cu ²⁺ , мг/дм ³	0,004	0,003	0,75
	рН (весна)	7,62	8,31	1,09



3.4. Пригодность воды для рыбохозяйственных целей

Цимлянское водохранилище имеет большое рыбохозяйственное значение, обеспечивая рыбопроизводство более 60 % запасов проходных и полупроходных рыб Азовского моря [10]. Воспроизводство и жизнестойкость рыб зависят от многих абиотических и биотических факторов, наиболее значимыми из которых являются характер обводнения нерестилищ, количество идущих на нерест производителей, температурный режим, материковый сток в море, определяющий соленость и ареалы молоди и взрослых рыб. Вместе с тем на жизнедеятельность рыб влияет присутствие в воде различных химических соединений. Роль этого фактора возрастает при расширении масштабов промышленного производства, орошения и сопутствующего увеличения бесконтрольных сбросов в воду загрязняющих веществ. В табл. 4 приведены значения экологически допустимых уровней (ЭДУ) наиболее значимых химических веществ в сопоставлении со средними показателями ЦВ [14]. Превышение ЭДУ сопряжено с низкими уловами.

Обсуждение полученных результатов

Изменение состояния гидрохимического режима ЦВ за 1952—2007 гг. повлекло за собой изменение качества воды ЦВ. Несмотря на то, что показатели качества в основном находятся в пределах нормативных значений, наблюдаются следующие тенденции:

- Преобразование солевого состава ЦВ привело к ухудшению ирригационных свойств воды, возрастанию потенциальной возможности проявления сульфатной коррозии бетонных сооружений.
- Изменение протолитического равновесия в сторону преобладания ионов ОН (увеличение pH), а также повышенное по сравнению с экологически допустимым уровнем содержание биогенных элементов и окисляемых веществ способствуют ухудшению рыбохозяйственных характеристик воды ЦВ.

Общие выводы

1. За рассматриваемый период (1952—2007 гг.) произошли определенные преобразования гидрохимического режима Цимлянского водохранилища: увеличилось содержание, изменились соотношения между основными

ионами, сформировался оптимальный для развития синезеленых водорослей режим биогенных элементов.

2. Основными причинами установленных метаморфоз являются изменение ионного состава реки Дон во входном створе ЦВ, а также антропогенное загрязнение акватории водохранилища.

3. Перемены в составе воды повлекли за собой изменение качества воды ЦВ. В настоящее время основные показатели качества остаются в пределах нормы, но отмечены неблагоприятные тенденции ухудшения ирригационных, коррозионных, рыбохозяйственных свойств воды.

Список литературы

1. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, водораздельные и Манычские водохранилища. — М.: Гидрометеоиздат, — 1977. — 204 с.
2. Никаноров А. М., Пирумова Е. И. Оценка тенденций долговременных изменений минерализации и компонентов солевого состава р. Дон в связи с зарегулированием стока // Сборник "Природные воды". — Ростов-на-Дону, 2001.
3. Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. — СПб., 2004. — 294 с.
4. Исидоров В. А. Экологическая химия: Учебное пособие для вузов. — СПб: Химиздат, 2001. — 304 с.
5. Фурсова П. В., Левич А. П. Математическое моделирование в экологии сообществ // Проблемы окружающей среды (обзорная информация ВИНТИ). — № 9. — 2002.
6. Алекин О. А. Ляхин Ю. И. Химия океана. — Л.: Гидрометеоиздат, 1984. — 344 с.
7. ГОСТ 17.1.1.01—77. Охрана природы. Гидросфера. Использование и охрана вод. Основные термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 2004.
8. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы / Под ред. Т. В. Гусевой. — М.: Форум: ИНФРА-М, 2007. — 192 с.
9. СанПиН 2.1.5 .980—00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. — 24 с.
10. Оценка воздействия Ростовской АЭС на окружающую среду // Атомэнергопроект. — Н. Новгород, 1999.
11. СанПиН 2.1.4.1074—01. Гигиенические требования к качеству воды централизованной системы питьевого водоснабжения. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2001. 61 с.
12. Безднина С. Я. Качество воды для орошения: принципы и методы оценки. — М.: Рома, 1997. — 185 с.
13. СНиП 2.03.11—85. Защита строительных конструкций от коррозии.
14. www.chronos.msu.ru/RREPORTS/levich_metod_poiska_sopryag. Булаков Н. Г., Дубинина В. Г., Левич А. П., Терехин А. Т. Метод поиска сопряженностей между гидробиологическими показателями и абиотическими факторами среды (на примере уловов и урожайности промысловых рыб).

Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

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

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

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

Телефон главного редактора (812) 67-9376, e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Дизайнер Т. Н. Погорелова.

Технический редактор Е. М. Патрушева. Корректор Т. В. Пчелкина

Сдано в набор 13.09.10. Подписано в печать 18.10.10. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 7,82. Заказ 877.

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.