



# БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

1(121)  
2011

**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

Русак О. Н. Одно имя — одна цель.  
Журналу "Безопасность жизнедеятельности" — 10 лет . . . . . 2

### ОХРАНА ТРУДА

Гусев С. А. Экспериментальные исследования эффективности противорадиационной защиты оператора специальной техники на различных облучателях. . . . . 4  
Милохов В. В., Погребная А. В. Оценка условий искусственного освещения рабочих мест . . . . . 9

### ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Валеев А. Р., Зотов А. Н. Разработка звукоизоляционного материала на основе систем с квазиулевыми жесткостями . . . . . 15

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Новикова С. В., Тунакова Ю. А. Использование нейросетевых технологий для целей прогноза высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах . . . . . 21  
Куценко С. А., Курдюмова Л. Н., Будашева Н. В. Технология комплексной утилизации солевых алюмосодержащих шлаков . . . . . 29

### ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров А. М., Чистов Ю. С., Закиров Г. М. Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях . . . . . 36

### РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Шаврак Е. И., Генераленко И. А. Тяжелые металлы в Цимлянском водохранилище . . . . . 42

### ОБРАЗОВАНИЕ

Евдокимов В. И., Панфилова Л. Н. Динамика и структура педагогических диссертационных исследований по безопасности жизнедеятельности в России . . . . . 49  
Хмельницкий Ю. Н., Мусаткина Б. В. Кафедра "Безопасность жизнедеятельности и экология" Омского государственного университета путей сообщения — 45 лет . . . . . 52

### ИНФОРМАЦИЯ

Переход на многоуровневую систему высшего образования идет по плану (О совещании УМС "Техносферная безопасность") . . . . . 56

**Приложение.** Мобильная связь и проблемы электромагнитной безопасности

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



**О. Н. Русак**, д-р техн. наук, проф.,  
главный редактор журнала "Безопасность жизнедеятельности"

## **Одно имя — одна цель. Журналу "Безопасность жизнедеятельности" — 10 лет**

В январе 2001 г. в издательстве "Новые технологии" вышел первый номер журнала "Безопасность жизнедеятельности". Создавался он не на пустом месте. Этому событию предшествовал приказ Государственного комитета СССР по народному образованию от 09.07.90 № 473 "О первоочередных мерах по перестройке образования по вопросам охраны труда и гражданской обороны".

В первом пункте этого документа написано:  
"Во исполнение решения коллегии Гособразования СССР от 27.04.90 № 8/3 ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Главному учебно-методическому управлению высшего образования (г. Афанасьеву), Научно-методическому СОВЕТУ "Безопасность жизнедеятельности" (г. Белову) до 1 сентября 1990 г. разработать и утвердить типовые программы курса "Безопасность жизнедеятельности" и включить его в учебные планы специальностей высшей школы вместо курсов "Охрана труда" и "Гражданская оборона".

Первый заместитель Председателя

**Ф. И. Перегудов"**

Приказом предусматривалась также подготовка дипломированных специалистов по безопасности жизнедеятельности для научных учреждений, проектных организаций и предприятий.

Этот приказ появился не сам по себе. Это был результат активных действий общественности во главе с проф. С. В. Беловым, фамилия которого указана в упомянутом приказе.

Вместо охраны труда, носившей ведомственный характер и рецептурное изложение материала, стал преподаваться курс, широко освещающий проблемы безопасности, в том числе и в сфере производства.

Приказ был неоднозначно воспринят преподавательским корпусом. Некоторые профессора полагали, что нанесен ущерб охране труда. На самом деле все было наоборот.

Охрана труда получила мощную теоретическую и методическую поддержку в виде новой дисциплины, которая определялась как область научных знаний, изучающая опасности современного мира и разрабатывающая соответствующие методы и средства защиты от них человека.

Охрана труда органически вошла составной и наиболее значимой частью в курс "Безопасность жизнедеятельности".

Какая связь между появлением нового печатного органа и новой учебной дисциплиной?

В стране не было журнала адекватного по идеологии и содержанию новой дисциплине.

Появление Безопасности жизнедеятельности как учебной и научной дисциплины явилось вызовом времени, и журнал стал своего рода ответом на этот вызов.

Время, прошедшее с момента издания приказа, показало, что такой журнал необходим для становления и развития самой дисциплины. Дисциплина БЖД и одноименный журнал имеют одну общую гуманную цель — защиту жизни и здоровья людей. Следует отдать должное интуиции и деловитости вдохновителям и организаторам учреждения журнала, получившего признание специалистов.

Отметим, что нескольким членам первого состава редакционной коллегии впоследствии в составе коллектива авторов была присуждена премия Президента Российской Федерации за научную разработку "Создание системы подготовки специалистов по безопасности жизнедеятельности в высших учебных заведениях".

Одним словом, журнал состоялся.

В сотом номере журнала "Безопасность жизнедеятельности" (№ 4 (100) 2009) приведен краткий анализ публикаций более, чем за восемь лет.

Из приведенных данных видно, что основное количество статей посвящено наиболее актуальным направлениям: экологии, промышленной безопасности, безопасности труда и чрезвычайным ситуациям.

Без особого преувеличения можно сказать, что научное пространство, именуемое безопасностью жизнедеятельности, является теоретической и методологической целиной, которую еще предстоит освоить первопроходцам науки. Белых пятен очень много. Перспективы для научной работы огромны.

Какие статьи должны появляться на страницах нашего журнала?

Кратко говоря, такие, которые в конечном итоге направлены на защиту жизни и здоровья людей.

Проводимые сейчас в России преобразования нередко не учитывают фактора безопасности. Например, практически директивно планируя переход на светодиоды и лампы дневного света, власти "забыли" о том, что влияние этих источников света на здоровье не изучено, хотя есть основания полагать, что оно может быть негативным.

Положение в стране с вопросами безопасности характеризуется бессистемностью, отсутствием четкой государственной политики, деформированной

статистикой, сокращением объемов научных исследований и др.

Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) в РФ в мировом рейтинге крайне низок. Средняя продолжительность жизни в России 67,7 лет. (Для сравнения в США — 77,8, в Канаде — 80,2, в Японии — 81,2.)

Травматизм в России в 2—3 раза превышает аналогичные показатели в развитых и развивающихся странах.

Почти 50 % работников в нашей стране трудятся в условиях, не соответствующих государственным нормативным требованиям. А это примерно 30 млн человек.

"В России 190 тысяч человек в год умирают от воздействия вредных и опасных производств, 15 тысяч человек погибают в результате травм на производстве, еще 180 тысяч — досрочно выходят на пенсию". (Из выступления Д. Медведева на встрече с представителями крупного бизнеса. РГ, № 42, 1.03.07).

К этому можно лишь добавить, что по такому интегральному показателю как средняя продолжительность жизни Россия находится позади всех развитых и многих развивающихся стран.

Во властных структурах, ответственных за безопасность на производстве, полагают, что управление охраной труда возможно на основе аттестации рабочих мест по условиям труда и обучения. Специалисты неоднократно указывали на ущербный характер этих коммерциализированных и коррумпированных мероприятий.

В очередной раз об этом убедительно пишут в своих статьях М. Байгереев и В. Дячок (журнал "Охрана труда и социальное страхование" № 10, 2010 г., стр. 3 и 27 соответственно).

Минздравсоцразвитие России объявило о реформировании системы управления охраной труда. Парадокс заключается в том, что научно обоснованной системы управления охраной труда (СУОТ) в стране нет. Следовательно, нужно создать СУОТ на научных принципах. Но это невозможно сделать в кабинетных условиях, на кончике пера, сочиняя приказы, положения и т. п. — одним словом, занимаясь бумаготворчеством, возможно и в новой электронной форме. Суть от этого не меняется. Необходимы полноценные научные исследования. Но они не ведутся.

Таков неполный перечень нерешенных задач, имеющих социальное значение.

Решение этих проблем возможно на основе интеграции усилий ученых разных ведомств и организаций, в том числе представителей вузов.

Публикуя статьи, посвященные решению проблем безопасности, журнал выполнит свое научное и социальное предназначение.

Отмечая юбилей журнала, хочется поблагодарить и поздравить его создателей: Издательство "Новые технологии", первого главного редактора Сергея Викторовича Белова, коллектив редакции, авторов и читателей, а также выразить уверенность в том, что журнал внесет достойный вклад в решение проблем безопасности в нашей стране.

**IV ВОРОНЕЖСКИЙ  
ПРОМЫШЛЕННЫЙ  
ФОРУМ**

Межрегиональные  
специализированные выставки

- «Иновационные технологии»
- «Энергоресурс. ЖКХ»
- «Промэкспо»
- «Экология в промышленности»

16-18  
февраля  
2011  
г. Воронеж

Дворец творчества детей  
и молодежи (пл. Детей, 1)

Тел./факс: (4732) 51-20-12 (многоканальный), 77-48-36  
e-mail: mach@veta.ru; www.veta.ru

Организаторы:

- Генеральный интернет-партнер:
- Информационный партнер:
-

УДК [331.45:613.648.4]:623.437.4

Гусев С. А., канд. техн. наук, главный конструктор, ООО "ЧТЗ Уралтрак", г. Челябинск  
E-mail: gskb@chtz.uic.ru

## Экспериментальные исследования эффективности противорадиационной защиты оператора специальной техники на различных облучателях

*Рассмотрен ряд экспериментальных методов и примеры их использования для проверки на различных облучателях (установках) качества и уровня противорадиационной защиты оператора узлами кабины и техники в целом. Показаны преимущества метода гаммаграфии с использованием плоского гамма-облучателя для оперативной оценки защитных параметров кабины.*

**Ключевые слова:** машина, кабина, источник гамма-излучения, параметры противорадиационной защиты.

**Gusev S. A.** *The experimental study of the efficiency of the special machinery operator radiation protection at the various radiation sources*

*A whole range of the experimental methods and their use examples are described to check the quality and the level of the operator radiation protection on the various radiation sources (plants) with the cabs and machinery as general. The gammagraphy method advantages are described with the use of the flat gamma irradiator for the operative evaluation of the cab protection parameters.*

**Keywords:** vehicles, cab, gamma rays, radiation protection parameters.

Точность теоретического расчета оценки защиты оператора от излучений узлами реальной машины все еще недостаточна. Это связано с трудностями всесторонней оценки прохождения гамма-излучения (ГИ) радиоактивно зараженной местности (РЗМ) в условиях сложной компоновки машины. Также на уровень защиты оператора от ГИ узлами конкретной кабины в значительной мере влияет качество изготовления защитного экрана (отсутствие ослабленных с точки зрения защиты зон, дефектов, раковин и т. д.). Поэтому необходима экспериментальная проверка уровня противорадиационной защиты (ПРЗ) оператора и качества изготовления защитного экрана кабины.

Рассмотрим применение различных экспериментальных методов оценки защищенности оператора от излучений узлами машины, которые использовались при испытаниях бульдозеров ДЗ-171-1КЗ (на базе трактора Т-170.61) и ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2) (рис. 1), а также демонтированных с них специальных кабин с высоким уровнем защиты оператора от ГИ.

Конструктивно кабины были выполнены одинаково с равным уровнем защиты и представляли собой трубчатый каркас, обшитый снаружи и внутри стальными листами. Полости труб и пространство между листами заполнялись свинцом. Таким образом, стенки, пол и крыша кабин имели трехслойную конструкцию с толщиной защитных слоев 8 мм (сталь)—36 мм (свинец)—8 мм (сталь). Окна кабины выполнялись из свинцовистого стекла марки ТФ-5 толщиной 100 мм.

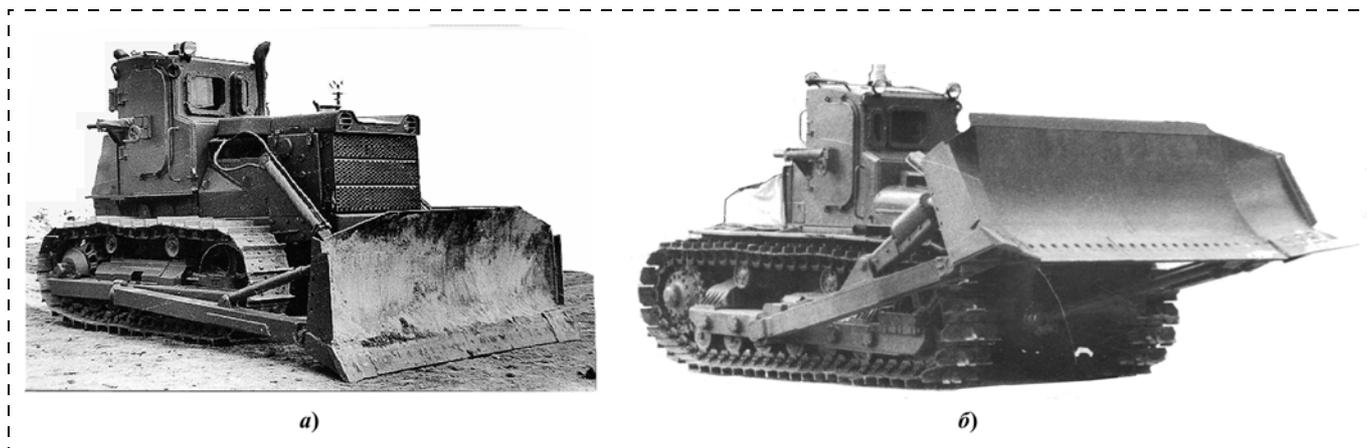
Работы по экспериментальному исследованию защищенности оператора проводились с учетом ГОСТ В23731—79 [1], рекомендаций [2] и разработанных НИИСтали методик [3, 4], в которых использовались точечные изотропные гамма-источники  $^{137}_{55}\text{Cs}$  и  $^{60}_{27}\text{Co}$  с энергией гамма-квантов  $E_{\gamma} = 0,66$  МэВ и  $E_{\gamma} = 1,25$  МэВ соответственно, а также методики РФЯЦ НИИТФ [5] с использованием однородного изотропного гамма-облучателя.

### 1. Основные положения методики испытаний

Основные положения изложены в ГОСТ В23731—79 [1], рекомендациях [2] с учетом действующих норм радиационной безопасности и санитарных правил работы с радиоактивными веществами.

Методики экспериментальной оценки уровня биологической защиты включают в себя перечисленные ниже основные положения.

1. Уровень ПРЗ оператора у образца (машины в целом или отдельных ее узлов, например кабины) определяется кратностью ослабления дозы ГИ РЗМ.



**Рис. 1. Бульдозеры для работ на РЗМ:**

*а* — ДЗ-171-1КЗ (на базе трактора Т-170.61); *б* — ДЗ-132-1КЗ (на базе трактора ДЭТ-250М2)

2. Под кратностью ослабления дозы ГИ принимается отношение дозы (мощности дозы) ГИ на открытой местности в отсутствие образца (вне образца) к дозе (мощности дозы), измеренной на рабочем месте человека в образце.

3. Для оператора уровень ПРЗ определяют в двух биологических точках: в месте расположения головы (точка А) и нижней части живота (точка Б).

4. Кратность ослабления излучения  $K$ , характеризующая уровень биологической защиты образца, определяется следующим образом:

$$K = K_B \text{ при } K_B/K_A \leq 2;$$

$$K = K_A \text{ при } K_B/K_A > 2.$$

Эта кратность, если не оговорены другие условия, принимается по ГИ от поверхности земли. При необходимости кратность ослабления определяется для отдельных сосредоточенных источников.

5. Испытания проводят по программам и методикам, в которых предусмотрены конкретные условия проведения испытаний (количество курсовых углов, конкретные положения источников при измерениях и т. п.), построение и содержание программ и методик испытаний должно соответствовать требованиям, установленным в ГОСТ В 15.210—78.

6. Требования к источникам и полю ГИ изложены в ГОСТ В 23731—79 [1].

7. Для вычисления кратностей ослабления дозы при испытаниях должны быть измерены следующие параметры поля ГИ:

- доза естественного фона ГИ;
- доза ГИ на открытой местности (т. е. при отсутствии объекта) и внутри объекта.

8. Детекторы излучения устанавливают в точках А и Б внутри объекта.

9. Данные результатов измерений обрабатывают в соответствии с требованиями, установленными в ГОСТ 8.207—76, МИ 1317—86.

10. При испытаниях кратность ослабления дозы в общем случае вычисляют по формуле:

$$K = \frac{\sum_{n=1}^m (\bar{N}_{o,п} - \bar{N}_{o,ф})}{\sum_{n=1}^m (\bar{N}_{iп} - \bar{N}_{iф})},$$

где  $m$  — количество положений источника ГИ при испытаниях объекта;  $\bar{N}_{o,п}$ ,  $\bar{N}_{iп}$  — усредненные по числу замеров (не менее трех) значения показаний приборов при измерении дозы ГИ соответственно на открытой местности в  $i$ -й точке внутри объекта при  $n$ -м положении источника ГИ относительно объекта;  $\bar{N}_{o,ф}$ ,  $\bar{N}_{iф}$  — усредненные по числу замеров значения показаний приборов при измерении дозы ГИ естественного фона на открытой местности и в  $i$ -й точке внутри объекта.

11. В ходе измерений образец должен находиться в транспортном или рабочем положении. Двери кабины, крышки люков должны быть закрыты.

Для машин, у которых транспортное и рабочее положения могут иметь разные значения уровня защиты оператора от ГИ (например, бульдозерный агрегат соответственно с поднятым и опущенным отвалом), необходима отдельная оценка защиты этих положений.

12. При подготовке и проведении испытаний ПРЗ необходимо соблюдать правила техники безопасности, установленные действующими санитарными правилами работы с радиоактивными веществами и нормами радиационной безопасности.



## 2. Проверка защищенности оператора от поля ГИ на грунте на установке "Имитатор"

Установка "Имитатор" представляет собой трубопровод, который уложен на ровной поверхности в виде концентрических окружностей (рис. 2). Внутри трубопровода перемещается рабочий контейнер с точечными источниками излучения. При проходе источника излучения через контрольные точки происходит автоматическая регистрация показаний измерительной аппаратуры [6].

Последний виток установки можно поднимать или опускать относительно уровня площадки, имитируя таким образом соответственно увеличение площади заражения или моделирование рассеянного в воздухе излучения.

Объект в установке располагают таким образом, чтобы точки *A* и *B* находились в центре круга, который описывают окружности "Имитатора".

Мощность дозы в точках *A* и *B* определяется путем интегрирования по площади круга вкладов за-

меренных значений мощностей доз точечных изотропных источников излучения. Точность модели поля идеализированной РЗМ определяется числом и величиной радиуса окружностей, которые описывают эту круговую модель, а также количеством расчетных точек.

## 3. Определение ПРЗ оператора от точечного источника излучения на установке "Арка"

Установка "Арка" (рис. 3) позволяет фиксировать источники ионизирующих излучений в любой точке полусферы радиусом 5,5 м. При испытаниях объект устанавливают таким образом, чтобы прямая, соединяющая точки *A* и *B* и ось вращения дуги установки, совпадали.

Измерения проводились с шагом  $30^\circ$  по азимутальному углу. Источник ГИ перемещался по дуге от поверхности земли с шагом 1 м. В местах, представляющих особый интерес с точки зрения защиты (возможные ослабленные зоны, в которых уро-

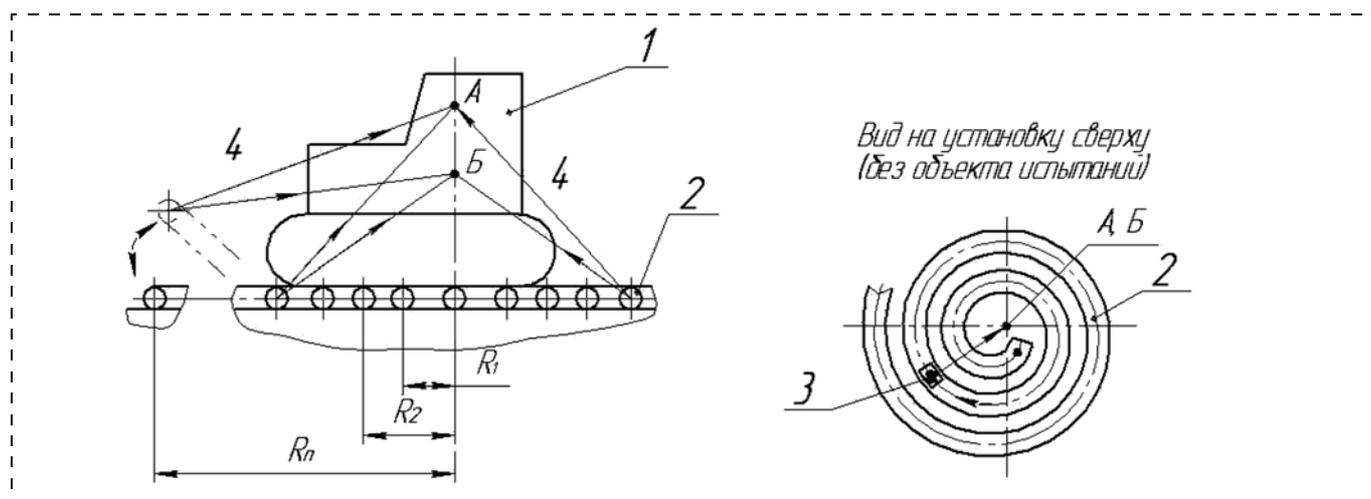


Рис. 2. Схема установки "Имитатор":

1 — объект испытаний; 2 — трубопровод, внутри которого перемещается контейнер 3 с источником ГИ; 4 — некоторые возможные направления ГИ (от контейнера с источником) в расчетные точки оператора

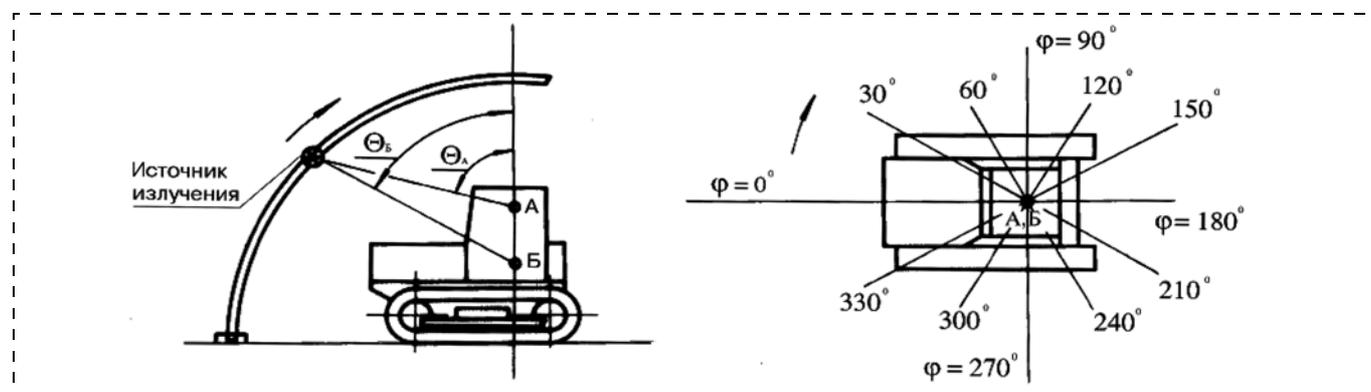


Рис. 3. Схема расположения установки "Арка" и объекта испытаний:

$\varphi$  — азимутальный угол (изменение положения источника по горизонтали),  $\theta$  — вертикальный угол (изменение положения источника по вертикали), соответственно для точек *A* и *B*

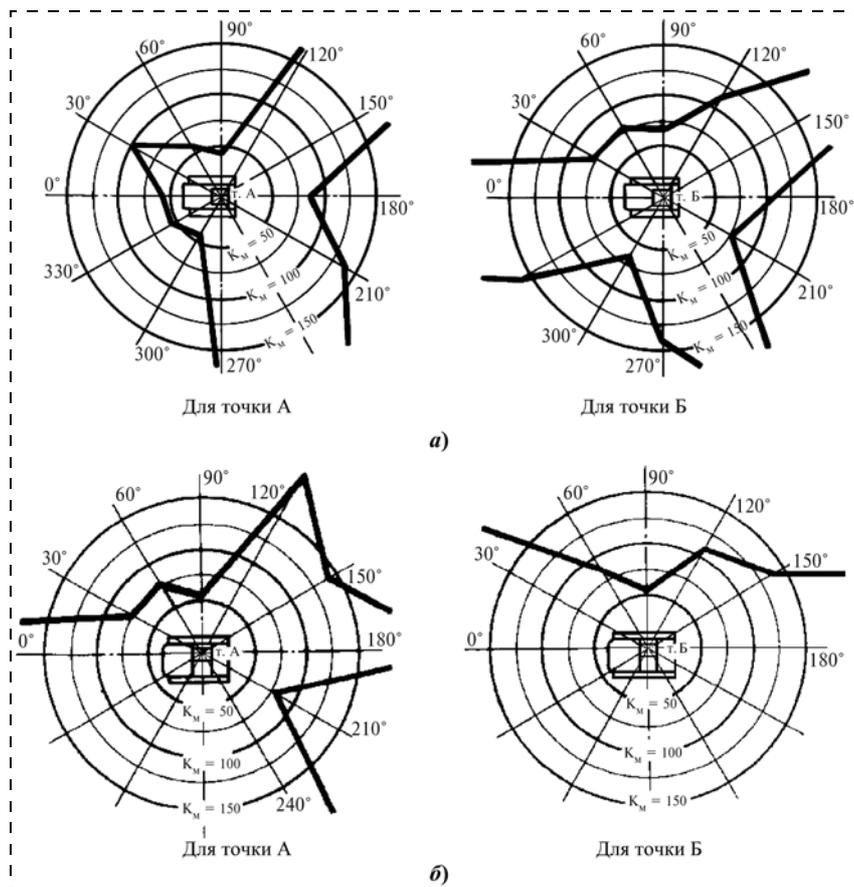


Рис. 4. Зависимость уровня защиты оператора бульдозеров с ПРЗ оператора от расположения (курсового угла), находящегося на земле точечного источника ГИ с  $E_\gamma = 0,8$  МэВ (расстояние от источника до оси, проходящей через точки А (уровень головы) и Б (уровень нижней части живота) оператора — 5,5 м [6]):  
 а — бульдозер ДЗ-171-1КЗ; б — бульдозер ДЗ-132-1КЗ

вень защиты от ГИ значительно ниже, чем у машины в целом), проводились дополнительные измерения с меньшим шагом изменения положения источника.

На рис. 4 показаны круговые диаграммы кратности ослабления излучения от находящегося на грунте точечного источника ГИ, полученные при анализе результатов измерений на установке "Арка".

Из диаграмм на рис. 4 видно, что основными ослабленными по защите от ГИ местами для головы оператора являются стекла кабины (курсовые углы  $\varphi$  0°, 90°, 180° у ДЗ-171-1КЗ, 90° и 210° для ДЗ-132-1КЗ). Снижение уровня защиты для нижней части живота оператора бульдозера ДЗ-132-1КЗ определяется серийным расположением кабины (со смещением вправо от продольной оси машины на 670 мм).

Ослабленные зоны могут значительно снижать, а в отдельных случаях и определять уровень ПРЗ оператора [1, 2, 4]. Особенно сильно это проявляется при:

- значительных размерах зоны;
- росте мощности и энергии источника ГИ грунта РЗМ;

— нахождении мощного точечного источника в диапазонах курсовых углов, из которых возможно прохождение излучения через эти зоны в расчетные точки.

Ослабленные зоны устраняются их локальным экранированием путем увеличения толщины конструкции или установкой дополнительных защитных экранов. В отдельных случаях целесообразно менять компоновку биологической защиты оператора и машины в целом. Так, например, при установке кабины бульдозера ДЗ-132-1КЗ без смещения от продольной оси машины уровень защиты оператора вырастет на 9 % [6].

Мероприятия по устранению этих зон приведены в работе [6].

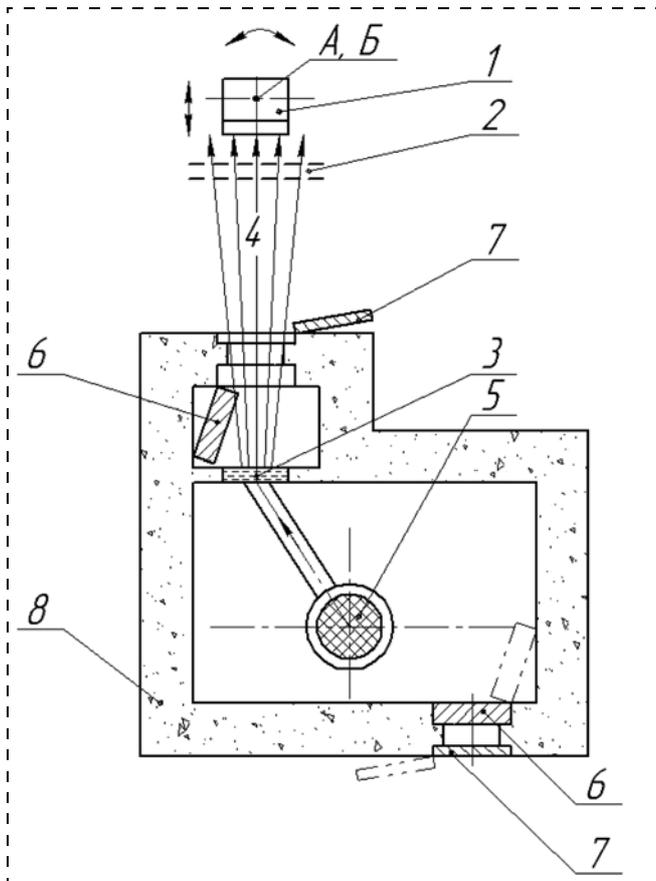
#### 4. Применение плоского гамма-облучателя для оценки эффективности ПРЗ кабин

Наибольший вклад в уровень защиты оператора от ионизирующих излучений у рассматриваемых образцов вносила защитная кабина, поэтому именно ей и было уделено особое внимание при испытаниях.

В принципе оценить влияние кабины на защищенность оператора от ГИ можно на установках "Имитатор" и "Арка". Однако оперативный контроль качества изготовления кабины и ее отдельных узлов (стенки-панели и др.) на этих установках практически неприемлем из-за большой трудоемкости. Поэтому для этих целей использовался плоский гамма-облучатель, конструкция которого позволяет сформировать источник, практически точно соответствующий полю ГИ РЗМ с мощностью во много раз выше, чем на установках "Имитатор" и "Арка". В результате время измерения, необходимое для проверки защитных свойств одной грани кабины, составило менее 0,5 ч (без учета времени на подготовительные операции и обработку результатов измерений) [5].

Гамма-облучатель (четыре модуля Р56-Л1736) располагался в реакторном зале у транспортных ворот, представляющих собой подвижные железобетонные блоки и обеспечивающих биологическую защиту при работе реактора (рис. 5).

Кабину с детекторами устанавливали на площадке у закрытых транспортных ворот. После чего на реакторе генерировали импульс делений. Проводилась выдержка топливного раствора в течение 1 ч.



**Рис. 5. Схема установки с плоским гамма-облучателем:**  
 1 — объект испытаний (кабина); 2 — место расположения наружных детекторов; 3 — плоский источник ГИ; 4 — лучи ГИ в направлении кабины; 5 — реактор; 6 — дверь биозащитная; 7 — дверь герметичная; 8 — стенка зала реактора

При этом нейтронная компонента запаздывающего излучения практически исчезала. После выдержки топливный раствор подавался в модули гамма-облучателя, образуя плоский источник осколочного излучения. При заполненном облучателе подвижные блоки биологической защиты раздвигались, открывая, таким образом, канал вывода излучения к детекторам и исследуемому объекту. По истечении времени, необходимого для измерения определяемых параметров, блоки биологической защиты сводились, прерывая вывод излучения. После смены ориентации кабины или замены детекторов блоки биологической защиты разводились, и проводился следующий цикл измерений.

### 5. Оценка дефектов ПРЗ кабины

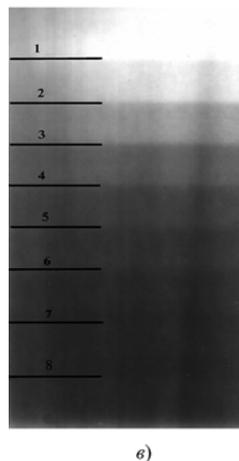
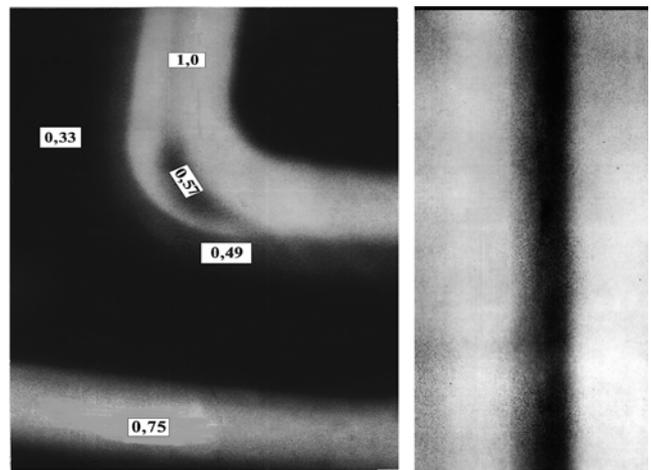
На испытаниях эффективности ПРЗ кабин с использованием плоского гамма-облучателя была определена возможность проведения дефектоскопии защитного экрана большой толщины методом

гаммаграфии. В качестве детектора использовалась рентгеновская фотопленка Kodak XAR-5. Пленка помещалась внутри кабины непосредственно на облучаемой панели. Экспозиция выбиралась с учетом того, чтобы полная доза, полученная фотопленкой, составляла  $\sim 2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг (1 Р). Для повышения контраста изображения проводилась перепечатка на фототехническую пленку ФТ-41.

На рис. 6 приведены изображения на пленке облучаемых элементов кабины. Большему затемнению соответствует большее пропускание ГИ.

Для оценки разрешения применяемого метода гаммаграфии проведено просвечивание свинцового клина со ступеньками высотой 5 мм. Экспозиционная доза на незакрытой клином фотопленке составила  $3,10 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг (1,2 Р). На рис. 6 представлен отпечаток гамма-изображения клина. Уверенно выделяется 5...6 ступенек клина. Максимальная общая толщина клина в зоне отчетливого изображения ступенек около 50 мм.

Получить изображение всего клина не удалось из-за недостаточной фотографической широты



**Рис. 6. Гамма-изображение на пленке облучаемых элементов кабины и клина-эталона:**

*a* — участок кабины в районе окна передней панели (цифрами показан относительный уровень ослабления ГИ отдельных зон); *б* — место соединения двух панелей (боковых стенок кабины) при размещении кабины под углом  $45^\circ$  к падающему потоку ГИ; *в* — часть свинцового клина-эталона (цифрами показано расположение ступенек клина высотой 5 мм, толщина клина в районе 5-й ступени — 50 мм)

используемой пленки. По представленным изображениям можно сделать вывод, что с использованием данного метода возможна дефектоскопия изделий из "тяжелых" металлов толщиной до 50 мм с разрешением дефектов 5 мм.

По рентгеновскому снимку имеется возможность проводить количественную оценку степени защиты отдельных элементов. В качестве примера на рис. 6, а указаны относительные коэффициенты ослабления гамма-излучения в местах с максимальным контрастом.

### Выводы

1. Представлены экспериментальные методы определения кратностей ослабления излучения ПРЗ оператора колесных и гусеничных машин (от различных источников ГИ) на рабочем месте оператора элементами бульдозеров на базе шасси тракторов Т-170.61 и ДЭТ-250М2.

2. Экспериментально определены ослабленные, по защите от излучений, зоны конкретных бульдозеров и влияние этих зон на уровень защищенности оператора.

3. Предложено дефектоскопию оптически толстых (для гамма-квантов) защитных экранов кабины проводить методом гаммаграфии с использованием

плоского гамма-облучателя. При толщине свинцового экрана до 50 мм уверенно определяются дефекты размерами свыше 5 мм. Метод позволяет проводить оперативную качественную и количественную оценку степени защиты кабины и ее отдельных элементов.

### Список литературы

1. **ГОСТ В 23731—79.** Защита экипажей подвижной наземной техники от гамма-излучения радиоактивно зараженной местности. Метод испытания.
2. **Рекомендации** по оборудованию и проверке биологической защиты транспортных, грузоподъемных и других средств, предназначенных для проведения работ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. — М.: ВНИИСтали, 1986.
3. **Фрид Е. С.** и др. Определение уровня защищенности экипажей от гамма-излучения радиоактивно зараженной местности путем проведения испытаний на установке "Имитатор". Типовая методика. Отчет, инв. № 3130. — М.: ВНИИСтали, 1990.
4. **Милентьев А. Б., Фрид Е. С.** Протокол испытаний по определению защитных характеристик кабин бульдозеров ДЗ-110А-2 (ДЗ-171.1КЗ) и ДЗ-132-1 (ДЗ-132-1КЗ) от гамма-излучения. Отчет, инв. № 5168. — М.: ВНИИСтали, 1990.
5. **Исследование** эффективности противорадиационной защиты кабины бульдозера ДЗ-132-1КЗ на гамма-облучателе ВНИИТФ. Отчет. — Челябинск-70: ВНИИТФ, 1993.
6. **Гусев С. А.** Оценка уровня противорадиационной защиты оператора облучаемой машины методом круговых диаграмм // Тракторы и сельскохозяйственные машины. — 2010. — № 7. — С. 14—15.

УДК 628.987

**В. В. Милохов**, канд. техн. наук, доц., **А. В. Погребная**, канд. биол. наук, Санкт-Петербургский государственный университет  
E-mail: leut@psy.ru

## Оценка условий искусственного освещения рабочих мест

*Анализируются недостатки процедуры оценки условий искусственного освещения. Дано обоснование необходимости корректировки методологических подходов и совершенствования измерительной аппаратуры, используемых при контроле условий освещения. По результатам исследований дана рекомендация о введении дополнительных показателей при оценке условий освещения газоразрядными лампами, в том числе компактными люминесцентными лампами.*

**Ключевые слова:** освещение, газоразрядные лампы, аппаратура, показатели, контроль, компактные люминесцентные лампы, воздействие, недостатки.

### *Milokhov V. V., Pogrebnyaya A. V. Methods of estimation of artificial lighting conditions*

*The disadvantages in the procedure of estimating the artificial lighting conditions have been analyzed. Substantiation of the necessity of correcting the methodological approaches and improvement of measurement devices used at control of lighting conditions has been given. According to the results of this research, recommendations in regard to introduction of additional parameters for estimation of the conditions of lighting with gas-discharge lamps including compact luminous tube lamps, have been given.*

**Keywords:** lighting, gas-discharge lamps, devices, parameters, control, compact luminous tube lamps, effect, disadvantages.



Важнейшим элементом системы обеспечения безопасности человека в процессе труда является процедура контроля уровней производственных факторов, определяющих условия труда. Контроль уровней факторов опасного и вредного воздействия является составной частью различных видов периодического производственного контроля условий труда, в том числе при одной из его форм, называемой аттестацией рабочих мест по условиям труда. Актуальность повышения качества методологических подходов при контроле уровней производственных факторов объясняется тем, что от надежности результатов контроля в значительной степени зависит эффективность и своевременность принимаемых решений по нормализации условий труда.

Кроме того, следует учесть, что в настоящее время наметилась тенденция реформировать и отказаться от сложившихся гигиенически обоснованных способов предоставления льгот и компенсаций за вредные условия труда, предусмотренных трудовым законодательством РФ, и для их предоставления использовать результаты ранжирования уровней факторов по классам и степени вредности. Введение в практику указанных новаций вряд ли в настоящее время позволит обеспечить эффективную защиту работника от неблагоприятных воздействий по ряду причин. Наиболее значимыми причинами являются отсутствие надежного аппарата ранжирования условий труда по вредности, используя результаты оценки уровней производственных факторов и низкое качество методологических подходов по их инструментальной оценке.

В зависимости от значимости фактора в практике оценки условий труда в качестве характеристики безопасности человека в большинстве случаев используется не один, а несколько показателей. В рамках данной статьи достоинства и недостатки методологических подходов при оценке условий труда будут проиллюстрированы на примере оценки условий искусственного освещения.

Любые виды трудовой деятельности связаны с необходимостью выполнения большого объема зрительных работ, качество которых зависит от условий освещения. Как известно, условия освещения являются фактором, не только стимулирующим общефизиологические функции, психическое состояние человека, способствующим высокой работоспособности, но и прямо или косвенно обеспечивающим сохранение здоровья, а в некоторых случаях, и жизни.

От качества условий освещения зависят способность человека воспринимать окружающую среду, уровень координации движений и концентрации внимания, вероятность ошибочных действий. Как следствие, нерациональные условия освещения являются причиной развития заболева-

ний, увеличения травматизма и аварийности. Кроме того, возможными последствиями нерациональных условий освещения может быть ухудшение работоспособности глаз (снижение остроты зрения, ухудшение контрастной и цветовой чувствительности, уменьшение времени устойчивости ясно-го видения, уменьшения угла периферического зрения и др.).

Приведенная известная информация о значении условий освещения для человека и сложная реакция организма человека на нерациональные условия освещения явилась причиной выбора большого спектра показателей и гигиенических требований к ним, используемых для оценки и нормализации условий труда по фактору "условия освещения". Так, к искусственному освещению рабочих мест для оптимизации условий освещения гигиенические нормативы предъявляют следующий основной комплекс требований и показателей, обеспечивающих эти требования [1, 2]:

- обеспечение освещенности рабочих поверхностей не ниже нормируемых уровней (освещенность, лк);
- предотвращение слепящего действия световыми потоками, поступающими от источников света или отражающих поверхностей в направлении глаз (показатель ослепленности, яркость слепящего источника или слепящей поверхности, кд/м<sup>2</sup>);
- исключение больших контрастов яркостей наблюдаемых поверхностей (соотношение яркостей);
- отсутствие (низкий уровень) пульсаций светового потока (коэффициент пульсации);
- распределение яркости на наблюдаемой поверхности (показатель дискомфорта);
- пространственное распределение светового потока (цилиндрическая освещенность, лк);
- обеспечение правильной цветопередачи.

Принятые для контроля условий освещения показатели позволяют адекватно оценить энергетические характеристики условий освещения и реакцию организма человека на воздействие фактора. Несмотря на тщательность и обоснованность выбора показателей для оценки условий освещения имеются препятствия для качественного выполнения этой работы. Проблемы надежности процедуры оценки условий освещения возникают еще на стадии измерений.

Например, измерение яркости наблюдаемых поверхностей в основном осуществляется с большой погрешностью и получение достоверных результатов практически невозможно. Вызвано это техническим несовершенством яркомеров, рекомендованных Минздравсоцразвития России для измерения яркости. В используемых для оценки условий освещения яркомерах (модели "Аргус" и

"ТКА") отсутствуют устройства, позволяющие сфокусировать фотоэлемент яркомера на поверхность, яркость которой подлежит измерению. Искажения в результате измерений вносят яркости прилегающих поверхностей.

Технические проблемы возникают при оценке слепящего действия прямой и отраженной блескости, т. е. при оценке показателя ослепленности. Непосредственное измерение этого показателя невозможно, так как аппаратура, которая позволила бы оценивать изменение "видности" в результате слепящего действия (например, бинокулярный измеритель видности), в настоящее время промышленностью не выпускается. Поэтому косвенные (расчетные по измеренным величинам освещенности или яркости) методы, которые позволили бы рассчитать показатель ослепленности, из-за несовершенства люксметров и яркомеров позволяют оценить слепящее действие с большой погрешностью.

Проблемы возникают также при оценке цилиндрической освещенности и показателя дискомфорта из-за отсутствия аппаратуры для их измерения и эффективных методик оценки этих показателей.

Серьезные проблемы возникают при оценке сочетанного действия показателей условий освещения. Рекомендации и методики оценки сочетанного действия, предлагаемые МУ ОТ РМ 01—98, МУ 2.2.4.706—98 и ГОСТ Р 2.2.2006—05, не имеют объективных гигиенических обоснований и требуют доработки.

До настоящего времени перечень контролируемых показателей при оценке условий освещения можно было считать исчерпывающим и достаточным для оценки условий искусственного освещения. Ситуация изменилась в связи с рекомендациями по повсеместному использованию газоразрядных ламп в осветительных установках, что, по мнению авторов, требует увеличения численности контролируемых показателей условий освещения. Для обоснования целесообразности введения дополнительных контролируемых показателей условий освещения требуются пояснения и напоминание об опасности воздействия на человека факторов, сопровождающих работу газоразрядных ламп.

Сторонники преимуществ источников света, обеспечивающих при эксплуатации низкий уровень энергопотребления, склонны считать, что наиболее приемлемыми на сегодняшний день для повсеместного использования являются газоразрядные лампы различного исполнения (трубчатые или компактные флуоресцентные лампы). В перечень достоинств этих ламп включаются следующие:

- высокая эффективность преобразования электрической энергии в световую энергию (40...50 лм/Вт), что позволяет осуществить экономию расхода электрической энергии по сравнению с лампами накаливания в 3—5 раз;

- большой срок службы (3000...20 000 ч);
- пожаробезопасность газоразрядных ламп.

Указанная позиция не является новой, и особых возражений на протяжении нескольких десятков лет не вызывала, пока газоразрядные лампы не были рекомендованы как единственный вариант источника света для повсеместного использования, в том числе и для ситуаций, когда источник света расположен рядом с человеком, например, в светильниках местного освещения или в подвесных светильниках в помещениях небольшой высоты.

В то же время сторонники выбора источников света с учетом уровня защищенности работника от неблагоприятных воздействий считают, что газоразрядные лампы не могут на данном этапе быть рекомендованы для повсеместного использования и особенно для жилых помещений, где в основной массе присутствуют дети и старики. Особой критике подвергаются широко разрекламированные компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), которым в настоящее время производители и распространители присвоили название "энергосберегающие".

Основными причинами, определяющими критику КЛЛ, являются недостатки, присущие любым типам газоразрядных ламп. К ним относят эксплуатационные недостатки, в том числе большое время, необходимое для включения лампы, неспособность газоразрядных ламп функционировать при низких температурах, высокая стоимость КЛЛ и др.

К основным недостаткам следует отнести наличие факторов опасного и вредного воздействия, сопровождающих эксплуатацию газоразрядной лампы, в том числе КЛЛ, а именно: ультрафиолетовое излучение (УФИ), пульсации светового потока и паразитное электромагнитное излучение, генерируемое пускорегулирующей аппаратурой. Кроме того, недостатками являются: угнетающее психологическое воздействие, особенно при низких уровнях освещенности, повышенная напряженность зрительной работы и связанная с ней быстрая утомляемость из-за линейчатого спектра газоразрядных ламп. Практика эксплуатации трубчатых люминесцентных ламп свидетельствует о потенциальной опасности поступления ртути в воздух при нарушении целостности лампы, и о проблемах организации надежного сбора отработавших и поврежденных ламп.

О наличии указанных вредных факторов, обусловленных физической сущностью процесса работы газоразрядной лампы и ее конструктивным исполнением, известно уже давно. В качестве защиты от перечисленных факторов использовался и используется метод увеличения расстояния от источника (защита "расстоянием") или удаление газоразрядной лампы за пределы рабочей зоны. Эти методы исключали варианты размещения газоразрядного источника света в непосредственной близости от человека, что и позволяло защитить



его от воздействия больших уровней вредных факторов. Если габариты производственных помещений не препятствуют реализации метода защиты "расстоянием", то габариты жилых и административных помещений в большинстве случаев, особенно при эксплуатации ламп в местных светильниках, ставят под сомнение возможность в настоящее время использования компактных люминесцентных ламп как источника освещения, не оказывающего неблагоприятного воздействия на организм человека.

Так, при эксплуатации КЛЛ через люминофор происходит поступление ультрафиолетового излучения (около 1 % генерируемого в лампе излучения в процессе электрического разряда в парах ртути и аргона). Как известно, воздействие ультрафиолетового излучения на кожу человека большими уровнями представляет потенциальную опасность развития злокачественных образований, и по этой причине ультрафиолетовое излучение оценивается как канцерогеноопасный производственный фактор. Кроме указанной реакции организма возможными последствиями ультрафиолетового переоблучения являются угнетение иммунитета, доброкачественные аномалии пигментных клеток (веснушки, солнечные и старческие коричневые пятна), фотостарение кожи и фотоофтальмия. Фотоофтальмия при хроническом облучении сопровождается конъюнктивитом, воспалением краев век, катарактой хрусталика и эритемой кожи лица и век. Указанные реакции организма на воздействие ультрафиолетового излучения возможны при уровнях воздействия, превышающих значения указанные п. 4.9.3. МСанПиН 001—96. В соответствии с этими требованиями допустимая интенсивность ультрафиолетового излучения от люминесцентных ламп не должна превышать  $0,03 \text{ Вт/м}^2$  в диапазоне 280...400 нм (диапазон В и А), а излучение в диапазоне 200...280 нм (бактерицидный спектр ультрафиолетового излучения, диапазон С) не допускается.

Работа газоразрядных ламп независимо от типа исполнения (трубчатые люминесцентные лампы, КЛЛ, ДРЛ, ДРИ, ксеноновые, натриевые и др.) сопровождается пульсацией светового потока. Так, при отсутствии устройств, снижающих пульсацию светового потока, газоразрядные лампы, включенные в электрическую сеть промышленной частоты, генерируют световой поток с пульсацией. Эта пульсация не воспринимается глазом, но является причиной повышенной утомляемости в результате влияния на биоэлектрическую активность мозга, провоцирует головные боли, усталость и неспособность выполнения сложной работы.

Особую опасность пульсации светового потока представляют при выполнении работ, где имеют место движущиеся или вращающиеся наблюдаемые объекты. В этих условиях возможно явление

стробоскопического эффекта, т. е. искаженного восприятия направления движения (вращения) или восприятия движущихся объектов неподвижными объектами. Указанная ситуация, как правило, сопровождается авариями и травмами из-за неправильных действий исполнителя работ. Стробоскопический эффект возможен при коэффициенте пульсации 10 % и выше.

Наряду с перечисленными вредными факторами, сопровождающими работу газоразрядных ламп, следует отметить высокие уровни паразитного электромагнитного излучения, генерируемого электронной пускорегулирующей аппаратурой (ЭПРА). Эти излучения, особенно при работе ЭПРА, оказывают неблагоприятное воздействие на организм человека и создают помехи в работе электронной техники.

Крайне важно принимать во внимание цветовую характеристику светового потока при освещении рабочих поверхностей газоразрядными лампами. Учитывая этот параметр, повсеместное использование компактных люминесцентных ламп будет затруднено по причине субъективной реакции человека на цветовую характеристику светового потока КЛЛ (линейчатый спектр). Эта реакция в значительной степени зависит от индивидуальных особенностей восприятия цвета и характера выполняемой работы и в большинстве случаев предпочтение будет отдано цветовым характеристикам ламп накаливания [3, 4]. При этом следует напомнить, что для выполнения работ при нормируемой освещенности менее 100 лк использование газоразрядных ламп не рекомендуется в связи с угнетением общефизиологических функций, что провоцирует состояние "сумеречности".

Как уже отмечалось, присутствие ртути в любых типах газоразрядных ламп (в том числе в КЛЛ) представляет потенциальную опасность загрязнения воздуха при нарушении их целостности. Как известно, даже незначительные поступления ртути в воздухе могут привести к ртутной интоксикации, так как максимально разовая предельно допустимая концентрация (ПДК) ртути для воздуха рабочей зоны составляет  $0,01 \text{ мг/м}^3$ , превышение которой всего в 10 раз может вызвать отравление. ПДК ртути для атмосферного воздуха населенных пунктов составляет  $0,0003 \text{ мг/м}^3$ . Указанные концентрации могут быть превышены при нарушении целостности лампы, несмотря на наличие устройств, препятствующих распылению ртути из разрушенной лампы. Загрязнение воздуха будет происходить за счет испарения (ртуть интенсивно испаряется при температуре  $16^\circ \text{C}$  и выше), так как указанные устройства не являются препятствием для испарения ртути при нарушении целостности лампы.

Необходимо напомнить, что ртуть является веществом 1-го класса опасности (чрезвычайно

опасно) и может вызвать серьезные отклонения в состоянии здоровья. По этой причине, даже в производственных условиях, использование ртути и содержащих ртуть приборов допускается только в тех случаях, когда она не может быть заменена другими, безвредными для здоровья веществами [5]. Указанные ограничения по использованию ртути преследуют цель исключить любую возможность ртутной интоксикации. В некоторых конструкциях КЛЛ сделана попытка исключить присутствие чистой ртути заменой ее ртутной амальгамой. В то же время указанная замена значительно ухудшает технические характеристики КЛЛ, в том числе увеличивает энергетические затраты на эксплуатацию и повышает время, необходимое для зажигания лампы.

Как известно, характерными последствиями хронической ртутной интоксикации является поражение центральной и периферической нервной системы. Субъективные реакции выражаются в эмоционально-психической неустойчивости, повышенной утомляемости, сонливости днем и бессонницы ночью. Отклонения в психике характеризуются развитием "эретизма" (неспособностью выполнять работу в присутствии постороннего человека), а также возможен тремор вытянутых рук, что приводит к неспособности выполнять любую точную работу. Отмечается увеличение щитовидной железы, а также нарушение функции половых желез. Прогрессирует замедление интеллектуальных процессов и эмоциональных реакций, происходит снижение памяти, инициативности. Уже на первой стадии интоксикации заболевание сопровождается: разрушением зубов, выпадением волос, ломкостью ногтей. На третьей стадии происходит органическое поражение центральной нервной системы — токсическая энцефалопатия (характеризуется дрожанием, поражением лицевого и подъязычного нервов, выраженными изменениями со стороны психики). Эта стадия практически необратима.

Учитывая неблагоприятные последствия ртутной интоксикации, очевидно, что наличие на рабочих местах и тем более в бытовых помещениях ртути крайне нежелательно, несмотря на экономические выгоды.

Разработчики КЛЛ, сознавая серьезность препятствий для широкого внедрения этих ламп из-за наличия перечисленных выше факторов вредного воздействия, предпринимают конструктивные решения для снижения уровня этих факторов. По этой причине на сегодняшний день КЛЛ представляет устройство, не только генерирующее световой поток, но и интегрирующее в едином комплексе средства, препятствующие распылению (разливу) ртути при нарушении целостности ламп, повышающие частоту питающего электрического тока с целью снижения пульсаций,

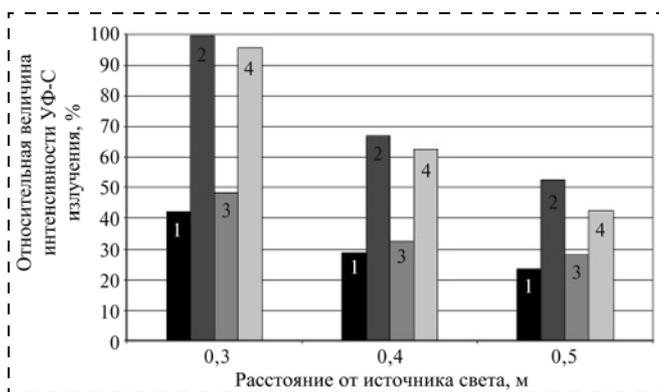
а в ряде случаев, экраны для снижения уровня проникающего ультрафиолетового излучения.

В то же время, несмотря на наличие средств снижения уровней вредных факторов, результаты исследований по оценке безопасности использования КЛЛ, проведенных в Великобритании, Германии, Израиле, свидетельствуют о кожных заболеваниях при близком расположении лампы и общепатологических расстройствах. Представители Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) высказывают серьезные сомнения по поводу безопасности применения жителями планеты компактных люминесцентных ламп. Они предупреждают, что использование данного типа ламп в быту представляет серьезную угрозу для здоровья человека [6].

Нашими исследованиями (совместная работа лаборатории экспертизы условий труда Санкт-Петербургского государственного университета и испытательной лаборатории Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности) был зафиксирован факт присутствия в КЛЛ электромагнитных излучений ультрафиолетового спектра, пульсации светового потока и паразитных электромагнитных излучений диапазона ВЧ радиочастот. При этом, независимо от типа и мощности КЛЛ (за некоторым исключением для КЛЛ малой мощности), как правило, отмечено превышение указанными показателями допустимых уровней на расстоянии менее 0,5 м от источника света. В испытаниях использовались лампы КЛЛ мощностью 7...24 Вт различных модификаций.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что при использовании КЛЛ в местных светильниках на расстоянии менее 0,5 м присутствуют все диапазоны ультрафиолетового излучения (диапазоны А, В и С), при этом в ряде случаев отмечается превышение допустимых уровней в диапазонах А и В. Наличие диапазона С в спектре ультрафиолетового излучения, генерируемого КЛЛ, ставит под сомнение правомерность использования этих ламп, так как в соответствии с требованиями [7] газоразрядные лампы, используемые для освещения, не должны генерировать бактерицидный диапазон УФ-С.

На рис. 1 представлены гистограммы относительного изменения интенсивностей бактерицидного диапазона УФ-С различными КЛЛ в зависимости от расстояния. Общая закономерность увеличения интенсивности УФ-С по мере уменьшения расстояния до лампы прослеживается для всех диапазонов, но абсолютное значение интенсивности для КЛЛ, имеющих одинаковые светотехнические характеристики, даже для ламп одной модификации воспроизводятся с большой погрешностью. Причиной этого явления, на наш взгляд, является низкое качество большинства КЛЛ.



**Рис. 1. Относительное изменение интенсивности УФ-С излучения в зависимости от расстояния и типа источника света:**  
1 – КЛЛ 7W (2100K); 2 – КЛЛ 9W (2700K); 3 – КЛЛ 15W (4700K); 4 – КЛЛ 24W (2700K)

Измерения коэффициента пульсации светового потока на различном удалении от КЛЛ показали, что на расстоянии менее 0,5 м от КЛЛ его величина превышает 10 %, т. е. превышает допустимые нормы для местных осветительных приборов и рабочих мест пользователей персональной вычислительной техники. Характер изменения относительных значений коэффициента пульсации (рис. 2) иллюстрирует, что в большинстве случаев пульсации светового потока при работе КЛЛ имеют место, несмотря на наличие ЭПРА.

Исследования электромагнитного поля ВЧ-диапазона радиочастот, создаваемого ЭПРА, показали, что на расстоянии 0,5 м от КЛЛ или ЭПРА, используемого для снижения пульсаций светового потока газоразрядных ламп светильников общего освещения, уровни напряженности электрической и магнитной составляющих превышают допустимые нормы, установленные МСанПиН 001–96 [7].

На основании проведенных исследований и полученных результатов сделаны выводы о необходимости при использовании газоразрядных ламп в светильниках местного освещения наряду с нормируемыми показателями по СНиП 23-05–95, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 дополнительно контролировать уровни указанных выше показателей.

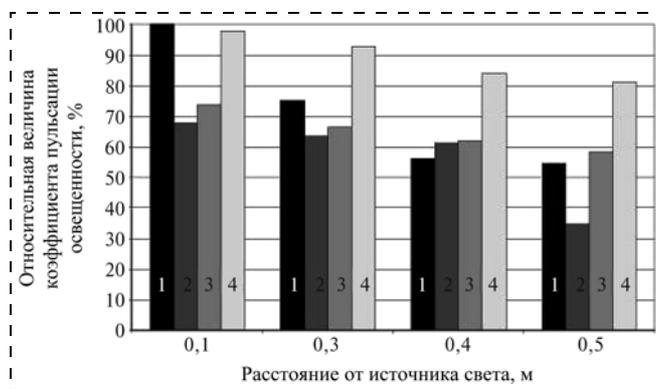
Несмотря на то, что рекламные характеристики энергосберегающих свойств КЛЛ явно завышены, лампа накаливания в результате больших потерь электроэнергии на выработку теплоты, ограниченную возможность регулирования цветовой характеристики светового потока и пожароопасность не может по этим параметрам конкурировать с КЛЛ. В то же время оценка гигиенической характеристики ламп накаливания, свидетельствующей об отсутствии ультрафиолетового излучения и, следовательно, исключения опасности канцерогенного действия, отсутствии пульсаций светового потока, высокочастотного электромагнитного излучения, а

также отсутствию ртути, позволяет считать лампы накаливания более приемлемым источником света для местных и бытовых светильников [8, 9]. Такой вывод в большей степени соответствует направлениям государственной политики РФ в области охраны труда: "обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников" (Ст. 210 Трудового кодекса РФ).

В заключение следует отметить, что качественная постановка аттестации рабочих мест по условиям труда по фактору "искусственное освещение" невозможна без нормализации процедуры оценки условий освещения.

Учитывая, что лампы КЛЛ уже массово используются как в общественных зданиях, так и в бытовых помещениях необходима работа по усилению контроля условий освещения. Для этого требуется корректировка методологических подходов при оценке показателей условий освещения и их сочетанного действия. Кроме того, при использовании газоразрядных ламп необходимо включить в перечень контролируемых показателей дополнительно следующие показатели: электромагнитные излучения ультрафиолетового спектра диапазона А, В и С, а также электромагнитные излучения диапазона ВЧ радиочастот (электрическая и магнитная составляющие) и, эпизодически, концентрация ртути. Необходимы усилия органов надзора и контроля условий труда по организации работ по разработке, совершенствованию и выпуску аппаратуры, позволяющей контролировать весь перечень нормируемых показателей условий освещения, и наряду с производственным контролем условий освещения, периодическим его проведением в бытовых помещениях.

На данном этапе, на наш взгляд, необходимо срочное указание руководящих органов в адрес организаций, осуществляющих изготовление и распространение компактных люминесцентных ламп, дополнить рекламу, в том числе и на упаковке лампы, информацией о потенциальной опасности воздейст-



**Рис. 2. Относительное изменение коэффициента пульсации освещенности в зависимости от расстояния и типа источника света:**  
1 – КЛЛ 7W (2100K); 2 – КЛЛ 9W (2700K); 3 – КЛЛ 15W (4700K); 4 – КЛЛ 24W (2700K)

вия вредных факторов, сопровождающих их работу. Информация может быть сделана в стиле информации о вреде курения здоровью.

#### Список литературы

1. СНиП 23-05—95. Естественное и искусственное освещение.
2. МУ ОТ РМ 01—98, МУ 2.2.4.706—98 Оценка освещения рабочих мест.
3. Фрилинг Г., Фуэр К. Человек, цвет, пространство. — М., Стройиздат, 1973. — 141 с.
4. Никифоров С. Физические аспекты восприятия полупроводникового света // Компоненты и технологии. — 2008. — № 12.
5. Правила по охране труда при использовании химических веществ ПОТ РМ-004—97.
6. [http:// lady.mail.ru/article/67492](http://lady.mail.ru/article/67492)
7. МСанПиН 001—96. Санитарные нормы допустимых уровней физических факторов при применении товаров народного потребления в бытовых условиях.
8. <http://www.cjputerra.ru/terralab/peripheral/443300/>
9. <http://www.leonardoenergy.ru/archives/1235>

## ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

УДК 699-844

А. Р. Валеев, асп., А. Н. Зотов, канд. техн. наук, доц.,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет  
E-mail:anv-v@yandex.ru

### Разработка звукоизоляционного материала на основе систем с квазиулеговой жесткостью

*Рассмотрены недостатки современных методов звукоизоляции. Предложено использование системы с квазиулеговой жесткостью для защиты от шума. Проведено моделирование звукоизоляционного материала под действием звуковых колебаний большой амплитуды. Показана высокая эффективность системы. Предложен звукоизоляционный материал нового принципа действия.*

**Ключевые слова:** звукоизоляция, звукоизоляционный материал, квазиулеговая жесткость.

**Valeev A. R., Zotov A. N. Developing of sound-insulating material on basis of systems with quasi-zero-stiffness**

*Disadvantages of modern methods of sound isolation are discussed. The quasi-zero-stiffness system is offered to be used for sound isolation. Modeling of the material under loud sound is done. High efficiency of the systems is proved. An isolating material is invented based on new principle.*

**Keywords:** sound isolation, sound-insulating material, quasi-zero-stiffness.

В промышленности и быту всегда существуют процессы, которые сопровождаются нежелательными шумами и звуками. На ряде промышленных

объектов, например таких как объекты нефтегазовой отрасли, проблема шумоизоляции встает особенно остро. Яркий пример — работа газотурбинных установок, рядом с которыми персонал может общаться между собой только вблизи и с помощью крика.

Исследования показывают, что шум ухудшает условия и качество труда, оказывает вредное влияние на организм человека, вызывает функциональные расстройства нервной и сердечно-сосудистой систем, повышает общую заболеваемость. Установлено, что высокий уровень шума в отдельных случаях снижает производительность труда на 15...20 % [1].

Высокий уровень шума в городах является одной из проблем XXI века. Уже сейчас на главных магистралях крупных городов уровни шумов превышают 90 дБ и имеют тенденцию к усилению ежегодно на 0,5 дБ, что является наибольшей опасностью для окружающей среды в районах оживленных транспортных магистралей. Повышенные уровни шумов способствуют развитию нервно-психических заболеваний и гипертонической болезни. Борьба с шумом в центральных районах городов затрудняется плотностью сложившейся застройки, из-за которой невозможно строительство шумозащитных экранов, расшире-

ние магистралей и высадка деревьев, снижающих на дорогах уровень шума [2].

Для защиты от повышенного шума используются различные звукоизоляционные материалы. Однако почти все они используют явление естественного затухания звуковых волн при прохождении через объект. Нашли широкое применение такие материалы, как минеральная вата, пенопласт, изолвер и прочие, а также ряд специальных конструкций, представленных в патентах [3, 4]. Эти материалы удобно использовать там, где громкость шума не столь высока, однако для изоляции шумов большой громкости требуется большая толщина изоляции, что требует не только повышенных экономических затрат, но значительно уменьшает полезную площадь помещения. Поэтому звукоизолирующие материалы малой толщины являются актуальными.

В общем, эффективность и целесообразность выбора звукоизоляции должны обосновываться в каждом конкретном случае и удовлетворять следующим критериям, которые при всей очевидности имеют свои особенности.

1. Использование звукоизолирующих приспособлений не должно менять основных рабочих параметров изделий и технологических процессов (или менять их в допустимых диапазонах). Кроме того, наличие дополнительной звукоизоляции не должно влиять на управляемость и ремонтпригодность самого изделия, а также на контроль за основным технологическим процессом. Звукоизолирующее приспособление не должно механически или через посредство вторичного акустического поля воздействовать на основные параметры изделия.

2. Формы звукоизолирующих приспособлений должны быть рациональными, а размеры — минимальными, чтобы оставшийся производственный объем обеспечивал нормальное ведение производственного процесса и соответствовал санитарным условиям и требованиям охраны труда.

3. Параметры звукоизоляции должны обеспечивать требуемый (с точки зрения охраны труда или из других соображений) коэффициент звукоизоляции.

4. Технология изготовления приспособления должна быть достаточно проста, а затраты незначительные по сравнению со стоимостью изделия.

Обеспечить соответствие всем этим пунктам достаточно сложно, поэтому изготовление тонких и в то же время эффективных средств звукоизоляции представлялось маловероятным, но стало возможным с применением эффекта квазиулевого жесткости [5]. Этот эффект обеспечивается применением упругих систем, в статической характеристике которых наблюдается пологий участок с ма-

лой жесткостью, следствием чего является малая передаваемая динамическая сила при их деформации. До настоящего времени эффект квазиулевого жесткости применялся в основном только для защиты от вибрации, ударов и сейсмических толчков, но в целях звукоизоляции не использовался.

Далее будет предложен звукоизоляционный материал, в основу работы которого положен эффект квазиулевого жесткости. Материал состоит из ячеек, каждая из которых состоит из пары упругих мембран. Каждая пара мембран собрана так, чтобы в ней наблюдалась квазиулевая жесткость. Такая жесткость уменьшает коэффициент передачи силы через каждую ячейку, таким образом предотвращая передачу звукового давления через материал.

Каждая мембрана, образующая ячейку, является бистабильной, т. е. устойчивой в положениях I и III (рис. 1, здесь  $F(y)$  — восстанавливающая сила мембраны при ее сжатии по оси  $y$ ). Положение II неустойчиво. Статическая характеристика подобного элемента представлена на рис. 2. Рассмотрим его подробнее.

График статической характеристики рассматриваемого элемента можно разбить на три зоны.

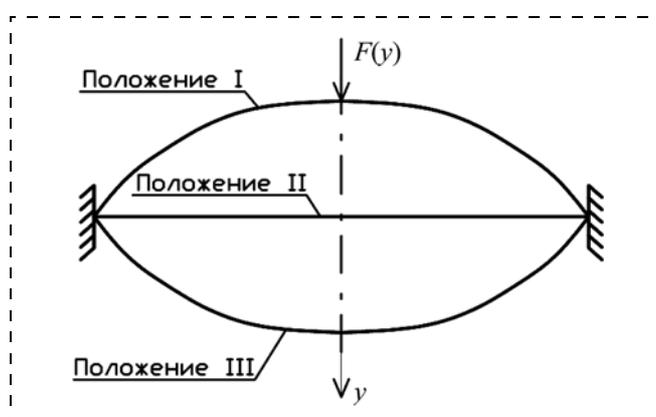


Рис. 1. Бистабильная мембрана

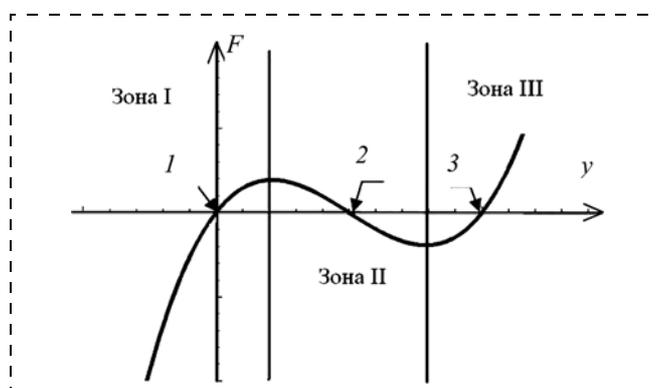


Рис. 2. Статическая характеристика мембраны

В зонах I и III жесткость системы положительна, поэтому система на этих участках имеет свойства обычного упругого элемента. Между зонами с положительной жесткостью находится зона II, на которой находится участок падающей характеристики (отрицательная жесткость). Положение системы в зоне II неустойчиво, и она стремится вернуться в ближайшую зону с положительной жесткостью. Мембрана имеет три точки равновесного состояния, при котором восстанавливающая сила равна нулю, при этом точки 1 и 3, как было отмечено выше, соответствуют устойчивому положению системы, а точка 2 — неустойчивому. Наличие в зоне II участка с отрицательной жесткостью делает возможным использование такой системы для компенсации жесткости других упругих элементов, что в сумме дает малую (вплоть до нуля) жесткость.

Соединяя две мембраны, одна из которых работает на участке с положительной, другая на участке с отрицательной жесткостью, получаем нулевую восстанавливающую силу. Следовательно, динамические воздействия не будут передаваться через систему или, иными словами, произойдет звукоизоляция. Существуют два варианта сочетания работы мембран, по которым удовлетворяются необходимые свойства.

Первый вариант — сочетание характеристик мембран "по полуволнам" (рис. 3). Здесь полуволны на графиках восстанавливающих характеристик мембран компенсируют друг друга. Таким образом, получаем восстанавливающую силу системы из пары мембран, равной нулю. Положения мембран показаны на рис. 3 справа.

По второму варианту характеристики мембран сочетаются по прямолинейным участкам (рис. 4). Определим значение восстанавливающей силы одной мембраны. Расчетная схема приведена на рис. 5. Пусть форма мембраны в ненапряженном состоянии описывается формулой  $\psi_0(x)$ ,  $-0,5 \cdot l \leq x \leq 0,5 \cdot l$ , где  $l$  — расстояние между точками крепления мембраны. Примем, что под действием силы  $F$  мембрана пропорционально сжимается по высоте и принимает

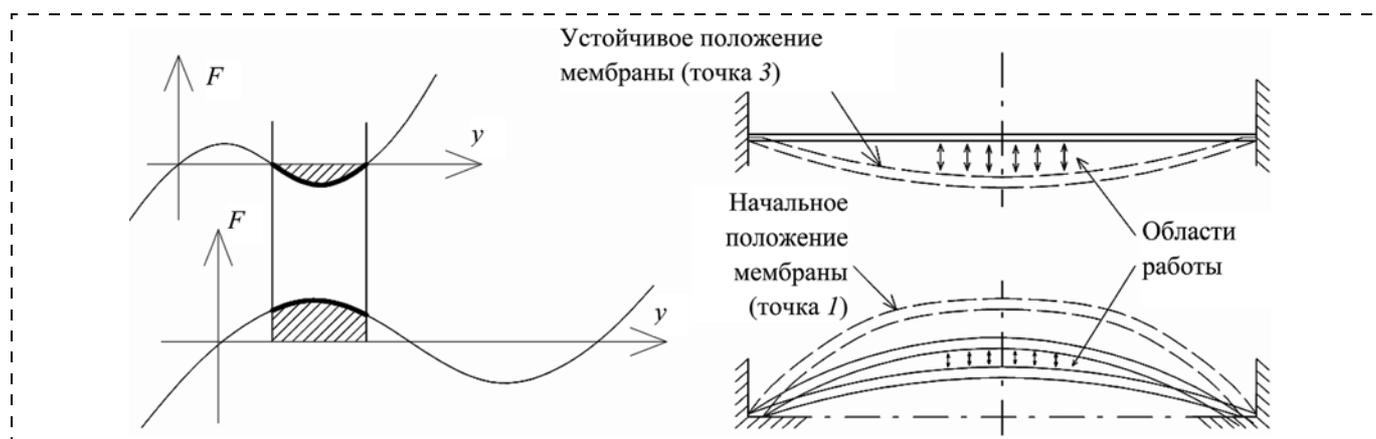


Рис. 3. Сочетание графиков "по полуволнам"

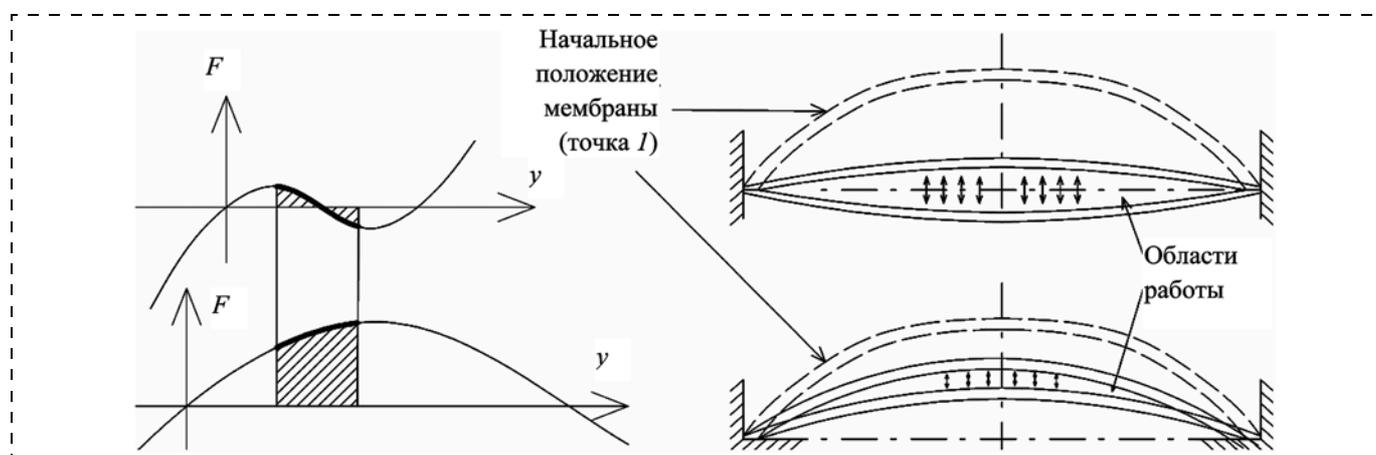


Рис. 4. Сочетание графиков "по прямолинейным отрезкам"

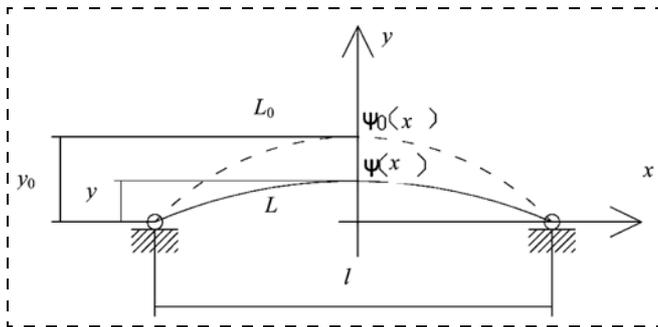


Рис. 5. Расчетная схема для определения восстанавливающей силы упругой пластины, зафиксированной на двух опорах:

$L$  и  $L_0$  — соответственно длина мембраны в напряженном и ненапряженном состоянии;  $y$  и  $y_0$  — соответственно ордината верхней точки мембраны в напряженном и ненапряженном состоянии

форму  $\psi(x) = C\psi_0(x)$ , где  $C = y/y_0$  — коэффициент, описывающий степень деформации. Потенциальная энергия накапливается только за счет эластичного сжатия мембраны по длине.

Ордината точки приложения силы  $F$

$$y = \psi(0) = C\psi_0(0) = Cy_0.$$

Отметим, что при  $F = 0$   $y_0 = \psi_0(0)$ .

Длина мембраны в ненапряженном состоянии

$$L_0 = \int_{-a}^a \sqrt{(\psi_0(x))^2 + l} dx,$$

где  $a = l/2$ .

Длина мембраны в напряженном состоянии

$$L = \int_{-a}^a \sqrt{(\psi(x))^2 + l} dx = \int_{-a}^a \sqrt{C^2(\psi_0(x))^2 + l} dx.$$

Потенциальная энергия сжатия мембраны

$$W = \frac{k(L_0 - L)^2}{2},$$

где  $k$  — жесткость мембраны в продольном направлении.

Восстанавливающая сила мембраны:

$$f = -\frac{\partial W}{\partial y}.$$

Принимаем, что в ненапряженном состоянии мембрана изогнута незначительно, т. е.

$$\psi_0(x) \ll 1, \psi(x) \ll 1.$$

Следовательно:

$$\begin{aligned} L &= \int_{-1/2}^{1/2} \sqrt{C^2(\psi_0(x))^2 + l} dx \approx \\ &\approx \int_{-1/2}^{1/2} \left( \frac{C^2(\psi_0(x))^2}{2} + l \right) dx = \\ &= \frac{C^2}{2} \int_{-1/2}^{1/2} (\psi_0(x))^2 dx + l = \frac{C^2}{2} A + l; \end{aligned}$$

$$L_0 = \frac{1}{2}A + l; A = 2(L_0 - l),$$

где  $A = \int_{-1/2}^{1/2} (\psi_0(x))^2 dx$  — коэффициент, характеризующий начальное положение мембраны.

Оценим величину  $(L_0 - l)$  согласно Эйлеровой эластике, т. е. примем, что мембрана деформируется согласно гармоническому закону:

$$\psi(x) = y \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right), -\frac{\pi}{2} \leq x \leq \frac{\pi}{2};$$

$$\begin{aligned} L_0 &= \int_{-1/2}^{1/2} \sqrt{(\psi(x)')^2 + l} dx \approx \int_{-1/2}^{1/2} \left( \frac{(\psi(x)')^2}{2} + l \right) dx = \\ &= \int_{-1/2}^{1/2} \left( \frac{\left( y_0 \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right) \right)^2}{2} + l \right) dx = l + \frac{\pi^2 y_0^2}{4l}. \end{aligned}$$

Следовательно, величина

$$L_0 - l = l + \frac{\pi^2 y_0^2}{4l} - l = \frac{\pi^2 y_0^2}{4l}.$$

Тогда коэффициент

$$A = 2(L_0 - l) = \frac{\pi^2 y_0^2}{2l}.$$

Отметим, что мембраны находятся в сжатом состоянии, следовательно, надо определить условия, при которых будет исключаться нарушение устойчивости под действием продольной сжимающей силы. Устойчивость нарушается в горизонтальном положении (при  $C = 0$ ). В этом положении сила сжатия

$$F_{сж} = k(L_0 - l). \quad (1)$$

Для обеспечения устойчивости должно выполняться условие

$$F_{сж} < F_{кр} = \frac{\pi^2 n^2 EI}{l^2}, \quad (2)$$

где  $F_{кр}$  — критическая сила;  $n$  — количество полу-волн, принимаем  $n = 1$ ;  $E$  — модуль Юнга материала пластины;  $I$  — момент инерции поперечного сечения пластины; принимаем форму прямоугольника высотой  $h$  и шириной  $b$ , тогда  $I = bh^3/12$ .

Подставим значения коэффициента жесткости  $k = Ebh/l$ , момента инерции  $I = bh^3/12$  и выражение (1) в неравенство (2):

$$k(L_0 - 1) < \frac{\pi^2 n^2 EI}{l^2}; \quad Ebh/l \frac{\pi^2 y_0^2}{4l} < \frac{\pi^2 Ebh^3}{12l^2};$$

$$y_0 < 0,58h.$$

Получено условие устойчивости мембраны. Для дальнейших расчетов принимает  $y_0 = 0,5h$ . Преобразуем выражение для восстанавливающей силы  $F$ :

$$F = \frac{\partial W}{\partial y} = -\frac{\partial \frac{k(L_0 - L)^2}{2}}{\partial y} = Eb \frac{\pi^4 h^3}{32l^3} C(1 - C^2). \quad (3)$$

Рассмотрим совместную работу двух мембран (рис. 6). Начальные положения мембран смещены относительно друг друга на величину  $y_0$ , тогда значения восстанавливающих сил для нижней  $F_H$  и верхней  $F_B$  мембран соответственно равны:

$$F_H = Eb \frac{\pi^4 h^3}{32l^3} C(1 - C^2).$$

$$F_B = Eb \frac{\pi^4 h^3}{32l^3} (C - 1)(1 - (C - 1)^2) =$$

$$= Eb \frac{\pi^4 h^3}{32l^3} C(C - 1)(2 - C).$$

Суммарная восстанавливающая сила для пары мембран

$$F = F_H + F_B = -Eb \frac{\pi^4 h^3}{64l^3} C(C - 1) \left( C - \frac{1}{2} \right). \quad (4)$$

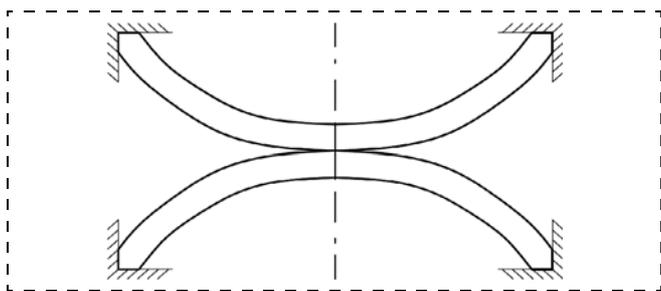


Рис. 6. Пара мембран — ячейка звукоизоляционного материала

#### Результаты моделирования ячейки

Частота $\nu$ , Гц	Амплитуда передаваемого звукового давления, Па	Передаваемый уровень звукового давления, дБ	Снижение уровня звукового давления, дБ
16	0,33	84,32	35,68
30	0,18	79,00	41,00
50	0,11	74,68	45,32
200	0,028	62,98	57,02
600	0,010	54,15	65,85
1000	0,0061	49,70	70,30
3000	0,0022	40,86	79,14
6000	0,0010	34,32	85,68
10 000	0,00062	29,83	90,17
15 000	0,00042	26,44	93,56
20 000	0,00032	23,96	96,04

Эффективность звукоизоляции машины определяется разностью уровней звукового давления или эквивалентных уровней звука машины до и после звукоизоляции [2]. Смоделируем поведение ячейки предлагаемого звукоизоляционного материала (пары мембран) на основе уравнения (4). Пусть на ячейку воздействует шум с уровнем звукового давления в 120 дБ, соответствующим порогу болевого ощущения. Следовательно, создается звуковое давление амплитуды 20 Па, которое определяется из формулы

$$SPL = 20 \lg \frac{p}{20 \cdot 10^{-6} \text{ мкПа}},$$

где  $SPL$  — уровень звукового давления;  $p$  — амплитуда звукового давления.

Используем дифференциальное уравнение:

$$m\ddot{y} + F = pS \sin(2\pi\nu t); \quad y(0) = 0,5y_0; \quad \dot{x}(0) = 0,$$

где  $S = bl$  — площадь поверхности ячейки;  $\nu$  — частота звуковых колебаний;  $m = 2\rho Sh$  — масса ячейки (двух мембран);  $\rho$  — плотность материала мембраны.

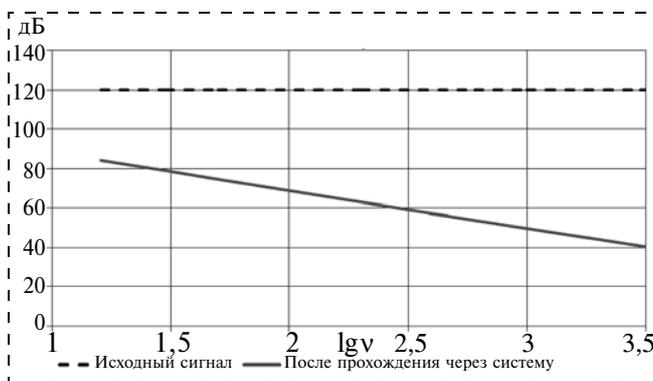


Рис. 7. Снижение уровня звукового давления для различных частот в логарифмической шкале

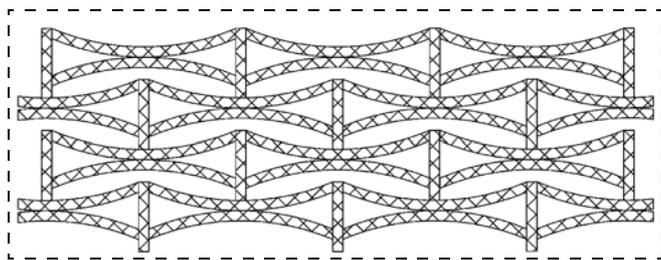


Рис. 8. Принципиальный вид многослойного шумоизоляционного материала

Таким образом, получаем уравнение, описывающее колебание ячейки:

$$2\rho b l h \ddot{y} - E b \frac{\pi^4 h^3}{64 l^3} \frac{y}{y_0} \left( \frac{y}{y_0} - 1 \right) \left( \frac{y}{y_0} - \frac{1}{2} \right) = \rho b l \sin(2\pi \nu t). \quad (5)$$

Численное решение уравнения (5) выполнено при помощи программы Mathematica 6.0. Принимаем следующие численные значения:

$$y_0 = 0,01 \text{ м}; h = 0,02 \text{ м}; \rho = 1370 \text{ кг/м}^3; \\ E = 10^5 \text{ Па}; l = 0,1 \text{ м}.$$

Результаты моделирования для различных частот  $\nu$  представлены в таблице и на рис. 7.

В спектре 50...200 Гц, где сосредоточены основные звуковые колебания, создаваемые промышленным оборудованием, наблюдается снижение уровня шума на 40...50 дБ. При прохождении звука через несколько таких ячеек, можно добиться почти полной шумоизоляции. Простота конструкции одной ячейки обеспечивает легкость в ее повторяемости, поэтому является перспективным использованием шумоизоляционного материала, основанного на использовании многослойной ячеи-

стой структуры. Принципиальный вид такого материала представлен на рис. 8.

Такую конструкцию предполагается производить из полимерных упругих материалов, которые обеспечат легкость в изготовлении. Многослойная конструкция позволит существенно избавиться от нежелательных шумов при незначительной толщине — порядка нескольких сантиметров. Многослойный полимерный шумоизоляционный материал имеет достаточно большие перспективы широкомасштабного производства.

Обладая малой толщиной и высокой звукоизолирующей способностью, описанный материал может быть применен там, где в условиях ограниченного пространства необходимо обеспечить достаточное снижение уровня шума. Звукоизолирующий материал на основе эффекта квазиулевого жесткости может встретить применение в защитных конструкциях для персонала на производственных объектах или при создании индивидуальных защитных кожухов для оборудования. Таким образом, данный материал обогатит спектр решений по звукоизоляции и улучшит условия работы и жизни человека.

#### Список литературы

1. Романов С. Н. Биологическое действие вибрации и звука: Парадоксы и проблемы XX века / С. Н. Романов. — Л.: Наука, 1991. — 158 с.
2. Борисов Л. П. Звукоизоляция в машиностроении / Борисов Л. П., Гужас Д. Р. — М.: Машиностроение, 1990. — 256 с.
3. Пат. № 2340478 РФ, В60R13/08. Панель звукоизолирующая / Зубарев А. В., Трибельский И. А., Адонин В. А., Малютин В. И. Оpubл. 10.12.2008.
4. Пат. № 2334059 РФ, E04B1/00. Теплозвукоизоляционный блок (варианты) / Закиров И. М., Никитин А. В., Акишев Н. И., Соболев В. М., Головченко А. И., Лунин Е. М. Оpubл. 20.09.2008.
5. Алабужев П. М. Виброзащитные системы с квазиулевого жесткостью / П. М. Алабужев, А. А. Гритчин; Под ред. К. М. Рагульскаса. — Л.: Машиностроение, 1986. — 96 с.

## Информация

### Завершено строительство парогазовой установки ПГУ-400 Шатурской ГРЭС ОАО "ОГК-4"

Председатель Комитета Государственной Думы по энергетике Ю. Липатов подчеркнул, что "данная модель парогазовой установки является экологически безопасным объектом для Шатуры, одного из районов на востоке Подмосковья. А город Шатура известен всей России как первенец плана ГОЭЛРО. Спустя 90 лет, модернизация Шатурской ГРЭС — пример грамотного решения первоочередных задач по модернизации российской энергетики, поставленных перед отраслью Президентом Российской Федерации Дмитрием Анатольевичем Медведевым".

УДК 681.2:543.08.089.6

**С. В. Новикова**, канд. техн. наук, доц., Национальный исследовательский университет, г. Казань, **Ю. А. Тунакова**, д-р техн. наук, проф., Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева  
E-mail:juliaprof@mail.ru

## Использование нейросетевых технологий для целей прогноза высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах

*Предлагается методика для оперативного прогноза высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах на основе использования нейросетевых технологий. Разработаны подходы к определению времени формирования высоких приземных концентраций и групп неблагоприятных метеорологических условий для рассеивания выбросов.*

**Ключевые слова:** прогноз уровня загрязнения, атмосферный воздух, нейронные сети.

**Novikova S. V., Tunakova J. A. Using technology of neural network for the forecast of high-level of pollution of atmospheric air in cities**

*A technique for rapid forecast of high levels of air pollution in urban areas using neural network technology. The approaches to determining the time of formation of high surface concentrations and groups of unfavorable meteorological conditions for dispersion of emissions.*

**Keywords:** the forecast of a level of pollution, atmospheric air, neural networks.

Исследование проводилось в рамках НИР по гранту Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — докторов наук МД-3110.2009.5 от 24.09.2009 по теме "Разработка технологии расчетного мониторинга загрязнения объектов окружающей среды мегаполиса, методов анализа экологического риска и механизмов обеспечения экологической безопасности населения и территории на основании инновационных IT-технологий".

Оперативное управление качеством атмосферного воздуха в городах основывается на сокращении выбросов в зависимости от прогноза изменчивости концентраций загрязняющих веществ при формировании неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) для рассеивания примесей [1—3].

Согласно руководящему документу РД 52.04.306—92, прогнозирование приземных концентраций примесей и уровня загрязнения воздуха, характеризующегося обобщенными показателями загрязнения должно осуществляться во всех городах, где концентрация хотя бы одной из примесей превышает ПДК, при этом потребителям информации передается предупреждение первой степени опасности [3]. Однако в РД не обозначены подходы для определения временного интервала формирования высоких концентраций при возникновении групп НМУ.

При наличии длительного ряда систематически наблюдаемых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов в совокупности с результатами регулярных измерений метеорологических параметров за этот же период времени можно составить достаточно точный прогноз вероятности повышения приземных концентраций примесей.

Таким образом, для адекватного прогнозирования концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов можно выделить две основные задачи: 1) определение промежутка во времени между проявлением НМУ и повышением концентраций загрязняющих веществ; назовем его критическим временным интервалом; 2) определение групп НМУ.

Очевидно, что решение данных задач может быть неоднозначным в силу одновременного воздействия множества факторов, в том числе и тех, которые невозможно учесть явно. Преимущества искусственных нейронных сетей заключается в их обучении на массиве апостериорных данных измерений исследуемых параметров, в процессе которого сеть "учится" давать правильные ответы — адаптируется. Нейросети — универсальные аппроксиматоры помогают адаптивно корректировать структуру модели, что позволяет учесть неявные, скрытые факторы, а также зависимости меж-



ду ними. Обученная нейросеть может быть использована для получения мониторинговой информации на территории города по тем данным о качестве объектов окружающей среды, по которым проводилось обучение.

### Задача определения критического временного интервала

Нейронные сети довольно широко используются для решения задач прогнозирования и моделирования распределения загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы. В первую очередь их преимущество заключается в возможности использования неточных (например, данные инвентаризации источников выбросов) и неполных (вклад нестационарных источников, влияние на рассеивание примесей особенностей рельефа местности, застройки и т. д.) данных. Обучение спроектированных нейронных сетей на результатах регулярных экспериментальных измерений обуславливает достаточно точный конечный результат [4–8].

Нами исследовалась возможность использования нейросетевых технологий для определения критического временного интервала. В этом случае необходимо сформировать несколько нейронных сетей-экспертов, каждая из которых может давать прогноз относительно формирования концентрации, превышающей ПДК в своем временном интервале [4]. Тот эксперт, который покажет лучшие результаты прогнозирования на обучающем и тестовом множествах, является победителем и временной интервал, охватываемый им, является искомым критическим интервалом.

Для прогноза приземных концентраций примесей использовались результаты регулярных измерений концентраций загрязняющих атмосферу веществ на территории г. Нижнекамска за период с 2005 по 2007 г. Измерения проводились с интервалом в два дня по 15 загрязняющим веществам: аммиак, фенол, диоксид азота, диоксид серы, формальдегид, взвешенные вещества, бензол, ксилол, сероводород, стирол, толуол, оксид углерода, этилбензол, суммарные углеводороды, хлор. Измерения метеорологических величин (температура, влажность, давление, скорость и направление ветра) проводились через день. Превышение концентраций примеси величины ПДК при возникновении групп НМУ по данным наблюдений в городах проявляется в среднем в течение двух дней [3], но с учетом возможного отклонения от среднего исследовались четыре дня. Следовательно, для определения критического временного интервала, т. е. истинного временного промежутка между моментом формирования неблагоприятной метеорологической ситуации и днем превышения ПДК по

любому из загрязняющих веществ, можно выдвинуть три взаимоисключающие гипотезы:

- 1) превышение ПДК произойдет через четыре дня после возникновения НМУ;
- 2) превышение ПДК произойдет через два дня после возникновения НМУ;
- 3) превышение ПДК произойдет на тот же день, в который сложились НМУ.

Данные гипотезы необходимо сравнить по степени достоверности. Для этого можно воспользоваться следующей методикой.

1. Строятся нейронные сети, соответствующие каждой выдвинутой гипотезе. Для обучения каждой на входы нейронных сетей подаются значения метеопараметров за охватываемый сетью временной период, а на выход — факт превышения (или не превышения) ПДК в конце периода, охватываемого сетью. Проиллюстрируем данную идею на примере.

Первая сеть проверяет гипотезу, что превышение ПДК произойдет через **четыре дня** после возникновения НМУ, вторая — что превышение ПДК произойдет через **два дня** после возникновения НМУ, а третья — что превышение ПДК произойдет в тот же самый день, в который сложились НМУ. На рис. 1 представлена общая схема формирования обучающих выборок. Здесь горизонтальная ось — ось времени, расстояние между соседними делениями — два дня. Так как осей времени в рисунке три (для каждого описываемого показателя), то для синхронизации указаны вертикальные сквозные пунктирные линии для каждого дня в рассматриваемом периоде. Вертикальные оси — оси показателей. Таким образом, горизонтальные линии — уровни каждого показателя в рассматриваемый период (для графика давления — значения атмосферного давления за каждый день, для температурного графика — значение температуры за конкретный день).

На вход первой сети подаются значения метеопараметров за текущий день измерений, на вход второй — значения метеопараметров за второй день, на вход третьей сети — данные за четвертый день. Так как превышения ПДК не произошло ни через четыре, ни через два, ни в течение текущего дня, ответ всех нейросетей должен быть равен 0. Таким образом, для каждой сети-эксперта формируется первый обучающий набор данных. После этого интервал поиска сдвигается на два дня вправо. На вход первой сети, таким образом, подаются метеоданные второго дня измерений, второй сети — четвертого дня, третьей сети — шестого дня.

Так как превышения ПДК не произошло в конце ни одного из периодов, все сети должны иметь нулевой выход (рис. 2).

Таким образом формируется второй набор обучающих данных для всех трех нейросетевых экспер-

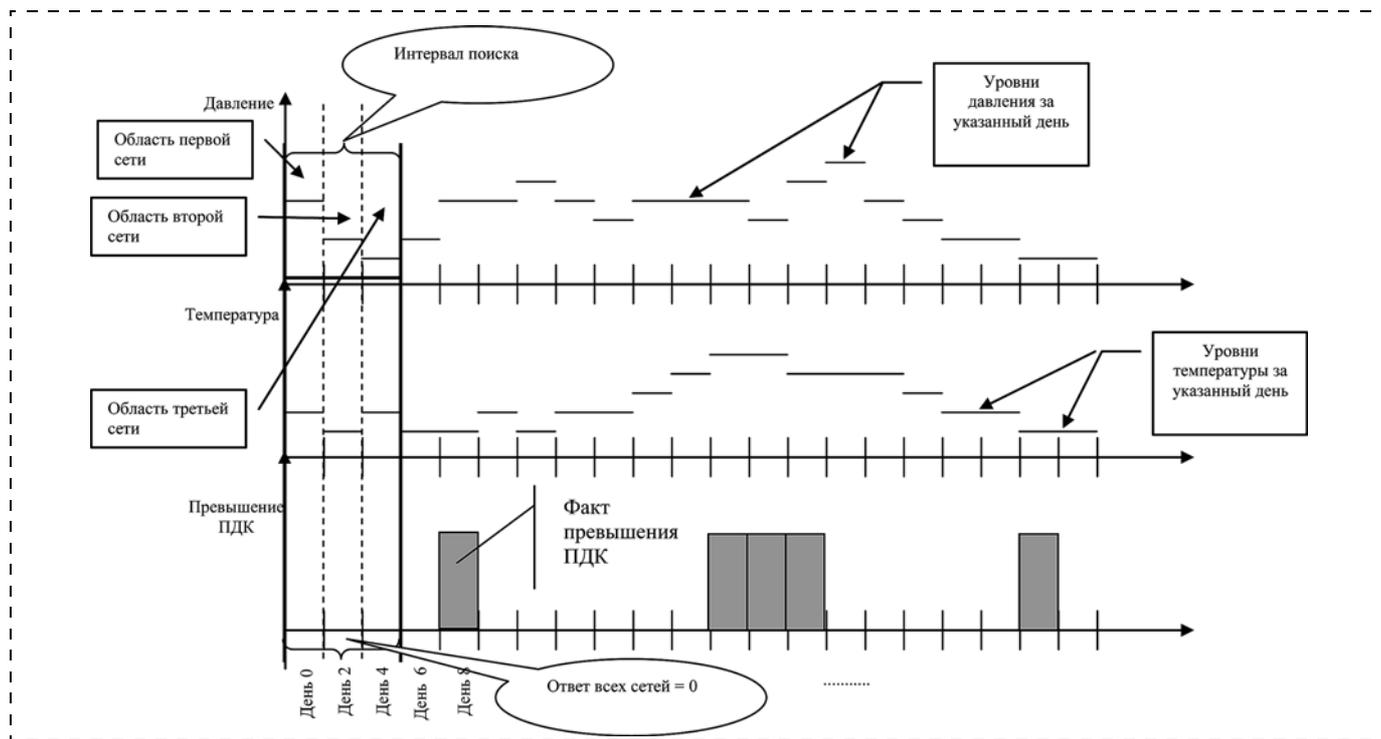


Рис. 1. Условия для формирования первого обучающего набора данных

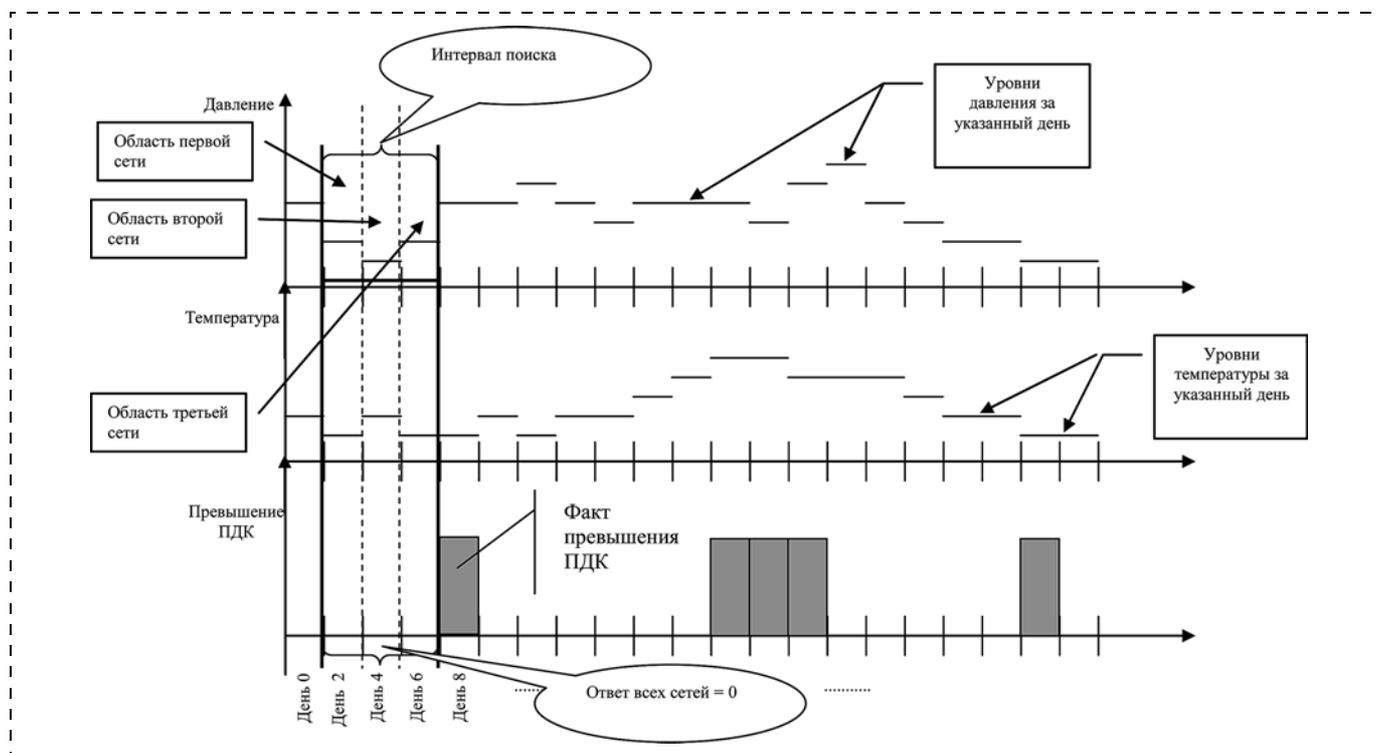


Рис. 2. Условия для формирования второго обучающего набора данных

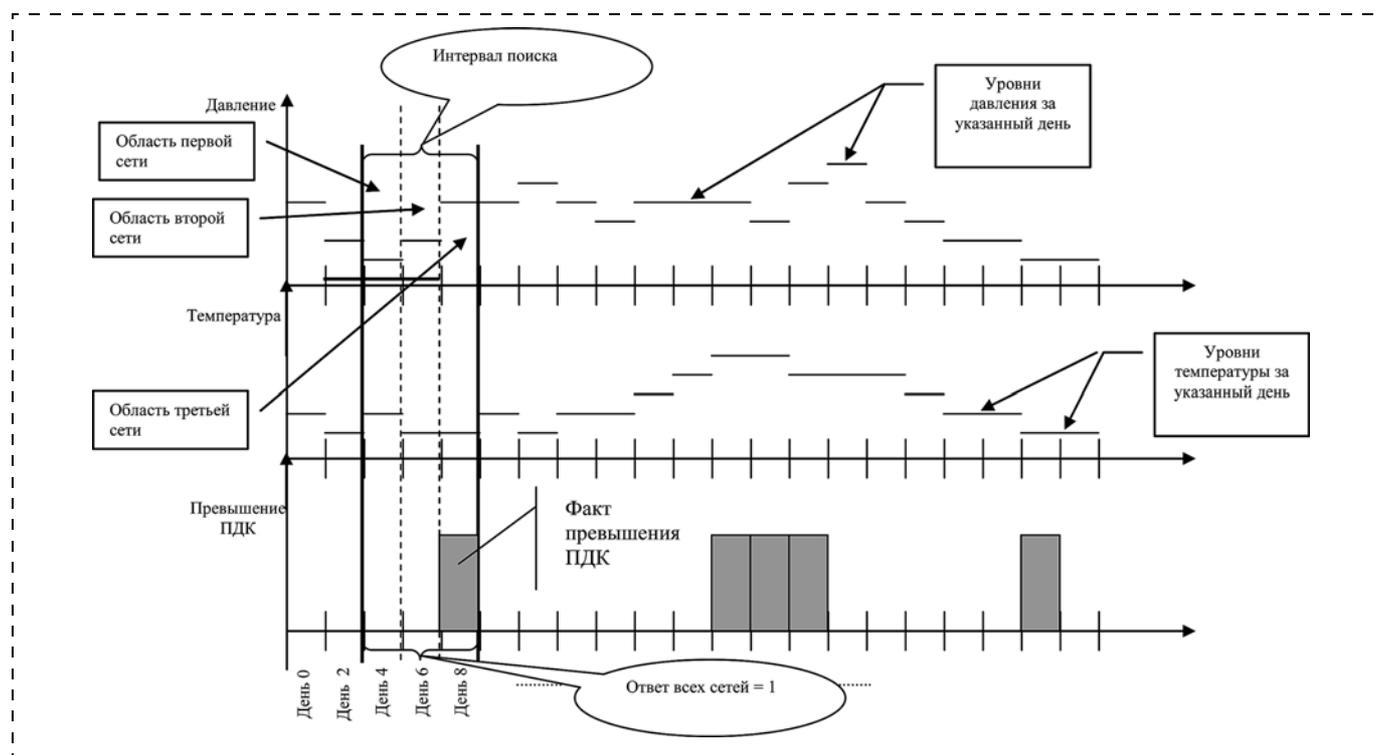


Рис. 3. Условия для формирования третьего обучающего набора данных

тов. Наконец, сдвинем интервал поиска еще на два дня вправо (рис. 3). Теперь на входы первой, второй и третьей нейросетей подаются метеоданные четвертого, шестого и восьмого дней соответственно. Для первой нейронной сети гипотеза подтвердилась: через четыре дня действительно произошло превышение ПДК как для второй, так и для третьей сети-эксперта. Таким образом, в качестве выхода всех трех сетей необходимо задать 1 (см. рис. 3).

Продолжая подобным образом сдвигать интервал поиска, сформируем обучающие наборы для всех трех сетей.

2. Каждый нейросетевой эксперт обучается по одному и тому же алгоритму одинаковое количество эпох (под эпохой понимается однократное представление сети для обучения всех обучающих примеров в случайном порядке). Для данной методики тип (способ соединения и вид нейронов) и топология (количество нейронов и их соединений, конкретный вид функции активации и др.) построенных сетей-экспертов являются несущественными моментами. Главное, чтобы для всех гипотез использовались сети с единой топологией. Выигрывает тот эксперт, ошибка обучения которого оказалась минимальной. Эксперт-победитель в дальнейшем не может использоваться для непосредственного прогнозирования. Он лишь определяет критиче-

ский временной интервал, который впоследствии и должен использоваться для прогнозирования, например, многоуровневым нейросетевым экспертом.

### Проведение численных экспериментов

**Эксперимент № 1.** Построение нейросетей-экспертов для прогнозирования единичного события — превышение ПДК концентрацией примеси — в зависимости от метеорологических условий при помощи сети MLP.

Как уже было сказано, топология нейросетевых экспертов, проверяющих каждую гипотезу, не играет существенной роли в определении критического временного интервала. Поэтому для прогнозирования была выбрана простейшая топология нейросети — многослойный перцептрон (MLP). Построение нейронных сетей-экспертов осуществлялось согласно теореме Колмогорова о достаточной структуре нейросетевого аппроксиматора и последующей редукции методом штрафных функций [10]. Моделирование и обучение нейронных сетей проводилось в приложении "Нейронные сети" аналитического пакета Statistica 6.1.

#### Общие параметры и характеристики сетей

Структура: число нейронов входного слоя — 5, количество скрытых слоев — 1, число нейронов в

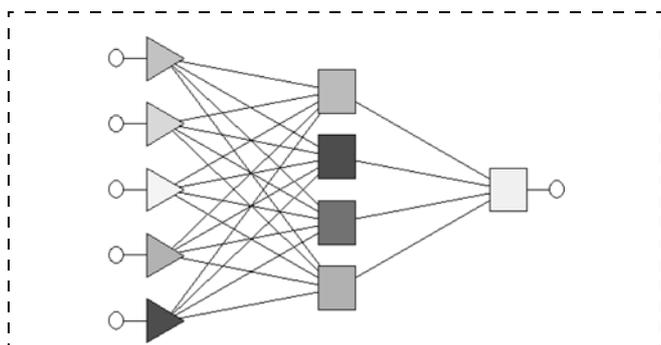


Рис. 4. Общая структура сетей типа MLP для нейросетевых экспертов

скрытом слое — 4, количество нейронов выходного слоя — 1 (рис. 4).

Параметры обучения: двухэтапное обучение.

- Первый этап — метод обратного распространения ошибки, основанный на градиентном методе оптимизации первого порядка. Количество эпох — 1000.
- Второй этап — метод сопряженных градиентов, основанный на градиентном методе оптимизации второго порядка. Количество эпох — 5000.

Результаты эксперимента для каждой сети — гипотезы представлены в табл. 1. Под производительностью сети (*S. D. Ratio*) здесь понимается отношение стандартного отклонения ошибок сети к стандартному отклонению исходных данных. Этот показатель иллюстрирует способность построенной сети к обобщению, т. е. адекватному прогнозированию на тех исходных данных, которые не участвовали в процессе обучения, что является одним из важнейших показателей качества модели. Считается, что для адекватного обобщения производительность сети должна быть меньше 1.

**Эксперимент № 2.** Построение нейросетей-экспертов для прогнозирования единичного события — превышения ПДК — в зависимости от метеорологических условий при помощи сети для классификации.

Так как в качестве выхода нейросетевых экспертов выступают булевы переменные (со значениями 0 или 1), прогнозирование превышения ПДК концентрацией примеси можно рассматривать как классификацию входных векторов измерений метеопараметров. При этом определяется два класса — 0 и 1. Поэтому для подтверждения результатов, полученных при помощи сети MLP, целесообразно провести тот же эксперимент для экспертов, построенных по принципу нейронной сети для классификации (в сетях для классификации используется номинальная выходная переменная, различные ее значения соответствуют различным классам).

*Общие параметры и характеристики сетей*

Структура: число нейронов входного слоя — 5, количество скрытых слоев — 1, число нейронов в скрытом слое — 6 (рис. 5).

Функция классификации: кросс-энтропия (функция ошибок, основанная на теоретико-информационных характеристиках).

Параметры обучения: двухэтапное обучение.

- Первый этап — метод обратного распространения ошибки. Количество эпох — 1000.
- Второй этап — метод сопряженных градиентов. Количество эпох — 5000. Результаты эксперимента № 2 представлены в табл. 2.

**Вывод:** Разработанная методика определения критического временного интервала является достоверной и эффективной, что подтверждается численными экспериментами. В практическом плане для решения задачи прогноза наилучшие результаты показал нейросетевой эксперт, прогнозирующий

Таблица 1

Сравнительные характеристики сетей MLP для проверки гипотез

Сеть	Гипотеза	Производительность	Ошибка обучения	Средняя ошибка	Корреляция
№ 1	Превышение ПДК произойдет <b>в этот же день</b>	0,662340	0,307977	0,000026	0,749203
№ 2	Превышение ПДК произойдет через <b>два дня</b>	0,597608	0,268757	0,000145	0,801788
№ 3	Превышение ПДК произойдет через <b>четыре дня</b>	0,777403	0,340680	0,000015	0,629003

Таблица 2

Сравнительные характеристики сетей типа сеть "для классификации" для проверки гипотез

Сеть	Гипотеза	Производительность	Ошибка обучения	Правильно распознанные примеры, %
№ 1	Превышение ПДК произойдет <b>в этот же день</b>	0,801471	0,597215	79
№ 2	Превышение ПДК произойдет через <b>два дня</b>	0,822222	0,476349	82
№ 3	Превышение ПДК произойдет через <b>четыре дня</b>	0,651852	0,719640	62

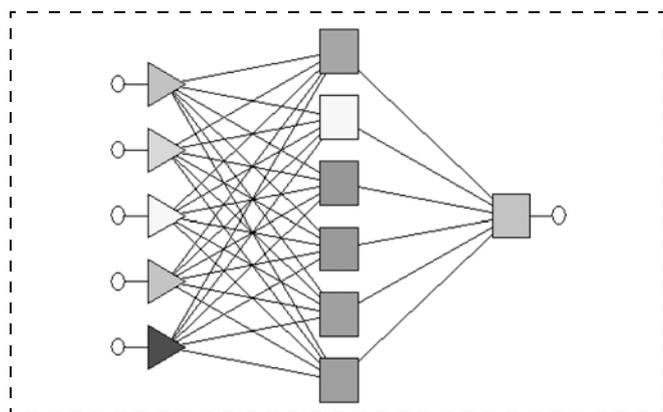


Рис. 5. Общая структура сетей типа "сеть для классификации" для нейросетевых экспертов

щий превышение ПДК за два дня до самого события. Следовательно, критическим временным интервалом является промежуток времени от 4 до 48 ч до превышения концентраций загрязняющих веществ.

### Задача распознавания групп НМУ

Зная промежуток времени между возникновением неблагоприятных метеоусловий и проявлением высокого уровня загрязнения, следующим важным шагом становится адекватная интерпретация конкретного сочетания метеопараметров (групп НМУ), определение которых, согласно Руководству [3], должно осуществляться в каждом населенном пункте.

*Выделение наиболее значимых метеопараметров для прогнозирования.* Первым этапом такой интерпретации является выделение значащих, малозначащих и практически незначащих метеопараметров для прогноза высокого уровня загрязнения. Наиболее простым и, вместе с тем, надежным способом проведения такого анализа является исследование значений весов межнейронных связей сети-эксперта, которая оказалась победителем, — сети, прогнозирующей наступление события (превышение ПДК) за два дня до формирования вы-

сокого уровня загрязнения. Если веса, соединяющие входные нейроны со скрытым слоем, оказываются близки к нулю по модулю порядка  $10^{-5}$ , то соответствующие этим входным нейронам параметры можно считать малозначащими или незначащими. Исследование весов сети-эксперта победителя дало результаты, приведенные в табл. 3.

Из таблицы следует, что модули всех весов значительно отличаются от нуля, т. е. ни один из входных параметров нельзя назвать малозначащим. Все измеряемые метеорологические параметры (температура, давление, скорость ветра, направление ветра, атмосферное давление) в значительной степени влияют на прогноз наступления высокого уровня загрязнения.

### Выделение характерных признаков для определения групп НМУ

Анализ особенностей сочетания метеопараметров, проявляющихся в критическом временном интервале, проводился методом кластерного многомерного анализа. Попытки разделить множества неблагоприятных и благоприятных сочетаний метеопараметров по априори неопределенным значениям факторов проводились четырьмя методами [8]: 1) агломеративным — минимального локального расстояния; 2) дивизимным Макнотона—Смита; 3)  $k$ -средних Маккина; 4) самоорганизующихся карт Кохонена. В качестве меры расстояния выбрана Евклидова метрика. Во всех методах предпринималась попытка разделить все множество метеоусловий на три возможных кластера: благоприятные, неблагоприятные, неопределенные метеоусловия. Эксперимент показал следующие результаты.

1. Агломеративный метод. В качестве минимального межгруппового расстояния в серии экспериментов подобран параметр, равный 0,5. В результате получено разбиение всего множества метеоусловий на три кластера. Качественный состав каждого кластера по принадлежности благоприятных и неблагоприятных сочетаний факторов указан в табл. 4.

2. Дивизимный метод Макнотона—Смита. Максимальное межгрупповое расстояние в результате се-

Таблица 3

Значения весов нейронов входной слой — скрытый слой

Номера нейронов входного слоя	Номера нейронов скрытого слоя			
	1	2	3	4
1	5,63	-2,09	9,30	-8,06
2	1,33	1,21	3,98	-4,22
3	-10,65	-6,29	-6,85	-10,33
4	3,74	-2,72	2,57	0,012
5	-2,50	16,97	0,68	-3,40

Таблица 4

Качественный состав кластеров, выделенных по агломеративному методу

Параметр	Номер кластера		
	1	2	3
Благоприятные сочетания метеоусловий, %	52	80	50
Неблагоприятные сочетания метеоусловий, %	48	20	50

Таблица 5

**Качественный состав кластеров, выделенных по дивизимному методу**

Параметр	Номера кластера	
	1	2
Благоприятные сочетания метеоусловий, %	51	80
Неблагоприятные сочетания метеоусловий, %	49	20

Таблица 6

**Качественный состав кластеров, выделенных по методу *k*-средних**

Параметр	Номера кластера		
	1	2	3
Благоприятные сочетания метеоусловий, %	50	50	70
Неблагоприятные сочетания метеоусловий, %	50	50	30

Таблица 7

**Качественный состав кластеров, выделенных по методу карт Кохонена**

Параметр	Номера кластера		
	1	2	3
Благоприятные сочетания метеоусловий, %	60	38	58
Неблагоприятные сочетания метеоусловий, %	40	62	42

рии экспериментов выбрано равным 0,6. Множество метеопараметров в результате было разбито на два кластера с параметрами, приведенными в табл. 5.

3. Метод *k*-средних Маккина. Задано число групп разделения, равное трем. Получены следующие результаты, приведенные в табл. 6.

4. Метод самоорганизующихся карт Кохонена. Выделено три кластера. Распределение сочетаний благоприятных и неблагоприятных метеоусловий рассеивания примесей в атмосфере отражено в табл. 7.

Полученные результаты говорят о том, что множества неблагоприятных и благоприятных сочетаний метеоусловий практически неразделимы.

**Механизм идентификации заданного набора значений метеопараметров как благоприятных или неблагоприятных для рассеивания примесей**

Так как в явном виде определить интервальные оценки неблагоприятных значений или сочетаний метеопараметров не удалось, для отнесения некоторого произвольного метеонаблюдения, произведе-

денного в критическом временном интервале, к группе НМУ было необходимо разработать специальный алгоритм.

Наиболее простым и, вместе с тем, эффективным способом такой идентификации является использование в качестве эксперта уже спроектированной и обученной ранее нейронной сети для классификации, которая оказалась победителем в процессе оценки критического временного интервала. Действительно, данная сеть для группы НМУ выдаст ответ 1, а если параметры являются благоприятными — 0. Подобный ответ сети эксперта для введенного вектора метеонаблюдений даст ответ на вопрос, стоит ли в течение следующих двух дней ожидать высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха. В случае положительного ответа системы принятия решений могут инициировать мероприятия по оперативному регулированию качества атмосферного воздуха согласно действующему руководящему документу [9].

В этой связи поиск критического временного интервала целесообразно проводить именно при помощи сетей для классификации, так как кроме непосредственного определения этого интервала сеть-победитель может быть в дальнейшем использована для идентификации входных наборов метеоданных.

**Методика прогнозирования высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха на основе нейросетевых технологий**

С учетом результатов проведенных исследований разработана следующая методика создания и использования нейронных сетей для прогнозирования превышения концентраций токсикантов в атмосфере на основе ряда измерений концентрации загрязняющих веществ.

1. Сформировать временной ряд наблюдений по метеопараметрам в сочетании с фактами превышения ПДК концентрациями загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы.

2. Выдвинуть гипотезы относительно критического временного интервала — периода времени между появлением НМУ и проявлением высокого уровня загрязнения.

3. Для каждой гипотезы построить сеть типа "сеть для классификации" с парадигмой MLP и функцией классификации "кросс-энтропия", обучить сети на представленном в п. 1 наборе по описанной методике.

4. Сеть, показавшую минимальную ошибку при обучении, считать экспертом-победителем. Соответствующую гипотезу о критическом временном интервале считать достоверной.



5. В дальнейшем при получении нового набора метеопараметров подвергнуть его обработке экспертом-победителем. В случае положительного ответа эксперта считать, что в определенном им критическом временном интервале следует ожидать превышения ПДК.

### Апробация методики

Разработанная методика была опробована при прогнозировании высокого уровня загрязнения атмосферного воздуха в г. Нижнекамске в течение 335 дней в период 2008—2009 гг.

Для определения критического временного интервала выдвигалось пять гипотез: превышение ПДК произойдет в тот же день, в который сформировались НМУ (гипотеза № 1), через день (гипотеза № 2), через два дня (гипотеза № 3), через три дня (гипотеза № 4) и через четыре дня (гипотеза № 5). В качестве сетей-экспертов использовались сети для классификации с функцией классификации кросс-энтропия.

Таблица 8

#### Результаты распознавания групп НМУ экспертом-победителем

Результаты эксперимента	Характеристика групп НМУ	
	Благоприятные (ответ эксперта 0)	Неблагоприятные (ответ эксперта 1)
Всего исследовано групп метеоусловий	97,00000	38,00000
Правильно распознано	80,00000	31,00000
Ошибочно распознано	17,00000	7,00000
Не распознано	0,00000	0,00000
Правильно распознанные, %	82,47423	81,57895
Ошибочно распознанные, %	17,52577	18,42105
Нераспознанные, %	0,00000	0,00000

Таблица 9

#### Результаты расчета критического временного интервала экспертом-победителем

Количество дней наблюдений	Количество зафиксированных превышений ПДК токсикантов в атмосфере, дни	Количество правильно предсказанных временных задержек, раз/%	Количество ошибочно предсказанных временных задержек, раз/%
335	92	72/78	20/22

Эксперт-победитель подтвердил гипотезу № 3: задержка между формированием НМУ и превышением ПДК составляет от 24 до 48 ч. Ошибка обучения эксперта-победителя (0,48) отличалась от максимальной ошибки экспертов других гипотез почти в 2 раза (максимальную ошибку показал эксперт, подтверждающий гипотезу № 5 — 0,72). Эксперт-победитель показал следующие результаты: производительность — 0,82, ошибка обучения — 0,476349. Результаты распознавания групп НМУ в эксперименте показаны в табл. 8.

Таким образом, точность идентификации набора метеопараметров составила в среднем 82 %.

Результаты предсказания критического временного интервала экспертом-победителем отражены в табл. 9.

Таким образом, точность прогноза критического временного интервала составила 78 %.

**Выводы.** Разработанная методика является оптимальным вариантом обеспечения быстрого реагирования для систем принятия решений в периоды НМУ. Данная методика универсальна и может использоваться для проведения работ на территории любых населенных пунктов при условии обучения спроектированных нейросетей на результатах экспериментальных наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы и измеряемых величинах метеопараметров.

#### Список литературы

1. Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. Воздух городов и его изменения. — СПб.: Астерион, 2008. — 254 с.
2. Прогнозирование высоких уровней загрязнения воздуха в городах и промышленных регионах // Современные исследования ГГО. — 1999. — Т. 1. — С. 127—143.
3. РД 52.04.306—92 Руководство по прогнозу загрязнения воздуха в городах. 1992.
4. Круглов В. В., Борисов В. В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. — М.: Горячая линия — Телеком, 2002.
5. Новикова С. В. Методика проектирования нейронной сети для прогнозирования концентраций загрязнителей в атмосфере промышленных городов // Москва—Воронеж: Научная книга. Системы управления и информационные технологии. — 2009. — № 4 (38). — С. 89—93.
6. Доленко С. А., Орлов Ю. В., Персианцев И. Г., Шугай Ю. С. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования событий и поиска предвестников в многомерных временных рядах // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. — 2005. — № 1—2. — С. 21—28.
7. Мандель И. Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.
8. Teuvo Kohonen Self-Organizing Maps: 3-е изд. — Изд-во Springer-Verlag, 2001. — 501 с.
9. РД 52.04.52-85 Методические указания. Регулирование выбросов при неблагоприятных метеорологических условиях, 1987.
10. Станислав Осовский. Нейронные сети для обработки информации. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 344 с.



УДК 669.1:502.1

**С. А. Куценко**, д-р техн. наук, проф., **Л. Н. Курдюмова**, канд. техн. наук, доц., Орловский государственный технический университет,  
**Н. В. Будашева**, канд. техн. наук, доц., Академия ФСО России, г. Орел  
E-mail:chemistry@ostu.ru

## Технология комплексной утилизации солевых алюмосодержащих шлаков

*Изложены экспериментальные результаты исследований новых процессов, которые в сумме составляют не имеющие аналогов технологии комплексной утилизации алюмосодержащих шлаков с получением дешевых эффективных алюминийсодержащих коагулянтов и газообразователя.*

**Ключевые слова:** солевые алюмосодержащие шлаки, утилизация, газообразователь, коагулянт, катионовый элюент.

**Kutsenko S. A., Kurdyumova L. N., Budasheva N. V. Technology complete of salt slag containing aluminium recovery**

*Presents experimental results of studies of new processes, which together account for not having an integrated analogue technology recycling of aluminium dross in obtaining low-cost effective coagulants containing aluminium and blowing agent.*

**Keywords:** salt slag containing aluminium, recovery, blowing agent, coagulant, cation eluent.

При переплаве вторичного алюминия под слем флюса образуются отходы в виде солевых шлаков, которые состоят из металлического Al, оксидов Al и Si и хлоридов K и Na и др. (табл. 1).

Ежегодно только в России образуется около 300...400 тыс. т шлаков вышеприведенного состава. В связи с отсутствием рациональной технологии утилизации предприятия Вторцветмета складировать солевые шлаки на отвалах, где накопилось около 50 млн т, в том числе на Думчинском отвале Мценского района Орловской области около 3 млн т [1]. Под воздействием атмосферных условий шлаки быстро разлагаются, выделяя вредные газы — аммиак, метан и др., а соли, содержащиеся в них, растворяются и загрязняют почву, поверхностные и подземные воды. Это наносит как экологиче-

ский вред окружающей среде, так и экономический ущерб народному хозяйству России за счет потерь ценного минерального сырья и отчуждения больших площадей. Таким образом, разработка технологии комплексной утилизации солевых алюмосодержащих шлаков является актуальной проблемой, которая позволит найти методы защиты окружающей среды от экологически опасных отходов и решит проблему комплексной переработки сырья.

Анализ используемых на практике, а также описанных в литературе механических и металлургических методов переработки солевых алюмосодержащих шлаков показал, что известные технические средства и методы утилизации шлаков не отвечают современным экологическим требованиям и экономически не эффективны [2]. Механические способы утилизации этих промышленных отходов позволяют извлечь из шлаков только часть содержащегося в нем свободного металла в виде корольков, а при пирометаллургической переработке шлаков, несмотря на то, что повышается степень извлечения металлического алюминия, не решается проблема комплексной утилизации отходов и требуются большие энергозатраты. Как следует из результатов анализа, наиболее рациональной является гидрометаллургическая переработка солевых алюмосодержащих шлаков. Но стадия выпаривания образующихся при водной отмывке солевых растворов снижает рентабельность и усложняет технологию. Также следует отметить, что из-за наличия в солевых алюмосодержащих шлаках нитридов алюминия процесс водной отмывки шлаков сопровождается выделением аммиака, а раствор отмытых солей имеет  $pH = 10...12$ , что ухудшает экологические условия выпарки солевого раствора.

По мнению авторов, для комплексной и рентабельной переработки шлаковых отходов целесообразно использовать гидрометаллургический спо-

Химический состав солевых алюмосодержащих шлаков, % масс.

Таблица 1

Компонент	Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	KCl	NaCl	CuO	ZnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Содержание	5...30	Σ до 50		Σ(20...60)		<1,0	<0,3	0,5...2,5



соб с предварительным отделением водорастворимых солей, исключив нерентабельную стадию их выпаривания, и переработкой твердого остатка на товарные продукты с высокой стоимостью.

Экспериментальные исследования одностадийного водного выщелачивания солевых алюмосодержащих шлаков показали, что нельзя одновременно получить концентрированные растворы хлоридов щелочных металлов и обеспечить заданную степень отмывки шлаков от солей. Теоретически и практически обосновано, что оптимальным способом отмывки солевых алюмосодержащих шлаков от водорастворимых хлоридов является циркуляционное, многостадийное, активное выщелачивание при нормальной температуре с отстоем и декантацией растворов в одном реакторе, с применением специальной схемы возврата части декантата с целью получения концентрированных растворов при достижении заданной степени извлечения солей.

Разработана схема материальных потоков циркуляционного, активного выщелачивания с декантацией растворов и возвратом части декантата (рис. 1). Алюмосодержащий шлак загружают в один из активаторов 1–4, заливают оборотными растворами из сборников декантата 8, 9 и подвергают активному выщелачиванию. После отстоя часть раствора сливают в сборник декантата 8. Для

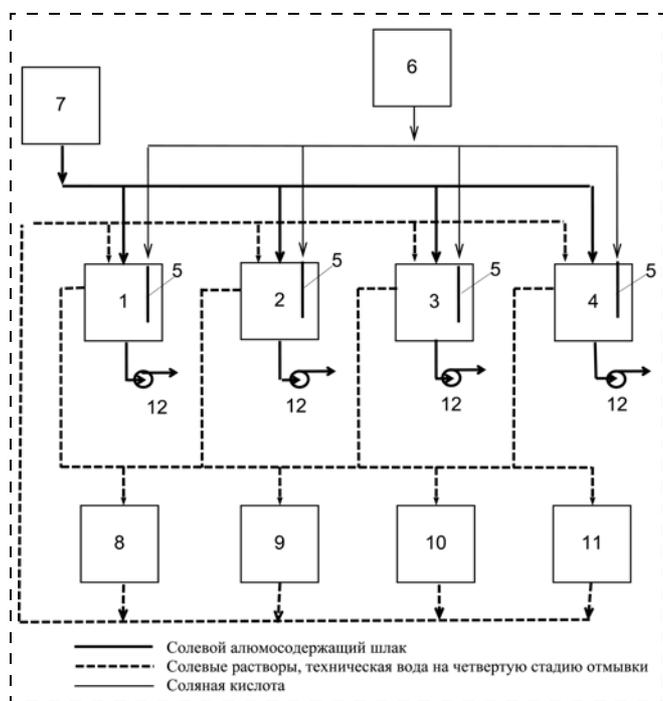


Рис. 1. Возвратно-циркуляционное водное выщелачивание солевых шлаков:

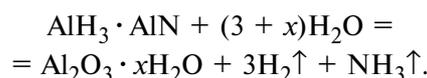
1–4 — активаторы; 5 — датчики АСУ рН; 6 — бак соляной кислоты; 7 — бункер солевого алюмосодержащего шлака; 8–11 — сборники декантата; 12 — насосы для суспензий

второй стадии выщелачивания в активатор направляют раствор из сборника декантата 10. После отмывки шлака и отстаивания раствор сливают в сборник декантата 9. На третьей стадии выщелачивания используют раствор из сборника 11, а полученный солевой раствор направляют соответственно в сборник декантата 10. На четвертой стадии шлак промывают технической водой. Декантированный раствор направляют в сборник 11.

Для статических условий проведения процесса (при заданных отношениях жидкого:твердого, температуре и продолжительности выщелачивания) предложена математическая модель, включающая материальные балансы по жидкой и твердой фазам и сумме хлоридов щелочных металлов, которая позволяет рассчитать оптимальное количество стадий для заданной степени отмывки шлака с получением растворов заданных концентраций. Адекватность математического описания проверена физическим моделированием (табл. 2).

Процесс переходит в устойчивый стационарный режим на 7...8 циклах, и на первой стадии выщелачивания получается продукт — солевой раствор концентрации  $C \approx 26...27\%$  масс, что близко к насыщенным растворам. Суммарная степень извлечения солей в продукт по предложенной схеме составляет почти 99 % масс., что соответствует остаточному содержанию солей в отмытом шлаке менее 0,5 %.

При водной отмывке шлаков из-за присутствия нитридов возможно выделение аммиака.



Для обеспечения безопасных условий процесса предложен способ выщелачивания солевых алюмосодержащих шлаков с добавлением соляной кислоты из расчета получения рН солевого раствора в пределах 6,5...7,5 [3]. Разработана аппаратно-технологическая схема водной отмывки с агитаторами, сборниками декантата и автоматизированной системой контроля рН и подачи соляной кислоты.

После обессоливания алюмосодержащих шлаков по предложенной схеме циркуляционного, многостадийного, активного выщелачивания с отстоем и декантацией растворов в одном реакторе, с применением специальной схемы возврата части декантата образуется сырьевой материал в виде суспензии с соотношением жидкой и твердой фаз — 1 : 1 с содержанием металлического Al — 8...35 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — до 60 %, суммой хлоридов натрия и калия не более 0,3 % в твердой фазе. Наиболее простым

Зависимость плотности  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>, и концентрации хлоридов щелочных металлов  $c$ , % масс., от номера стадии и цикла выщелачивания для четырехстадийной схемы

Номер стадии		Номер цикла							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Первая	$\rho$	1,067	1,094	1,100	1,105	1,107	1,108	1,108	1,108
	$c$	9,6	13,5	14,3	15,0	15,2	15,5	15,5	15,5
Вторая	$\rho$	1,020	1,044	1,055	1,060	1,065	1,065	1,065	1,065
	$c$	3,2	6,5	8,0	8,8	9,3	9,3	9,3	9,3
Третья	$\rho$	1,005	1,017	1,019	1,020	1,021	1,022	1,022	1,022
	$c$	1,1	2,5	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4	3,4
Четвертая	$\rho$	1,001	1,002	1,004	1,005	1,005	1,005	1,005	1,005
	$c$	0,5	0,7	0,9	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
$\eta^*$		96,7	98,2	97,5	99,0	98,7	99,3	99,3	99,3

\*  $\eta$  — суммарная степень выщелачивания цикла, %.

способом утилизации отмытого шлака является использование в качестве газообразователя взамен алюминиевой пудры.

Последняя широко используется для производства ячеистого бетона, но является дорогим и дефицитным компонентом. Из-за сильного пыления алюминиевая пудра является пожаро- и взрывоопасной и ухудшает санитарно-гигиенические условия труда. Алюминиевая пудра во взвешенном состоянии в атмосфере воздуха образует взрывоопасные аэрозоли, а в насыпном состоянии пожароопасные аэрогели. При этом пожароопасность и взрывоопасность возрастает с увеличением дисперсности пудры. Она способна к самовоспламенению при нагревании, воспламенению от внешних термических источников (горящие или нагретые тела), а также к воспламенению и взрыву в результате механических воздействий. По степени воздействия на организм человека алюминиевую пудру относят к 3-му классу опасности. К тому же пудра обладает выраженным фиброгенным и слабotoксичным действием. При этом возможно развитие аллюминаза легких, а также раздражение слизистых оболочек носа, рта, поражение кожи.

Особенностью рассматриваемых шлаков является высокая степень дисперсности алюминия и равномерное его распределение в смеси инертных веществ (глинозема, кремнезема, хлоридов щелочных металлов), что является эффективной мерой снижения пожаровзрывоопасности и вредности технологических операций использования алюминия в составе шлаков.

Газовыделение алюминиевых шлаков связано с их способностью выделять водород при смешении с водными растворами. Исследовано влияние ос-

новных факторов, определяющих взаимодействие алюминия с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{NaOH}$ .

Скорость газовыделения при взаимодействии шлаков с растворами щелочей увеличивается с повышением содержания щелочи в растворе (рис. 2). Для  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в связи с его ограниченной растворимостью влияние концентрации менее выражено. На газовыделение шлаков также влияет фракционный состав. Общее количество выделяющегося газа снижается с увеличением дисперсности зерен, так как в пылевидных фракциях содержится меньшее количество активного алюминия.

Увеличение температуры процесса способствует повышению скорости газовыделения в среднем в 1,2—1,4 раза на 10 °С. Значение энергии активации при взаимодействии шлаков с растворами гидроксида натрия ( $E_a = 60,0$  кДж/моль) позволяет предположить, что процесс протекает в переходной области и, вероятно, лимитируется молекулярной диффузией растворенного щелочного реагента к поверхности металлического алюминия.

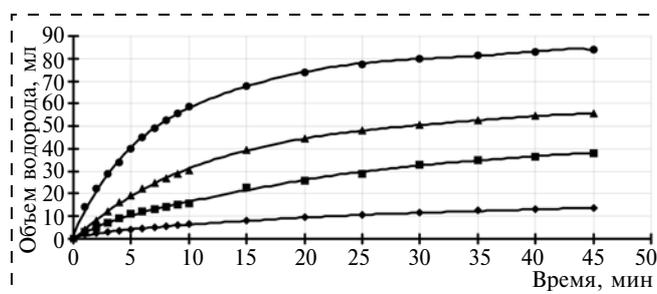


Рис. 2. Зависимость газовыделения солевых шлаков алюминиевого производства при взаимодействии с растворами  $\text{NaOH}$  от концентрации раствора при  $T = 65$  °С:

◆ — 0,05 моль/л; ■ — 0,15 моль/л; ▲ — 0,45 моль/л; ● — 1,35 моль/л



Полученные при исследовании данные показывают, что при взаимодействии с растворами  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  степень использования металлического алюминия шлаков в процессе образования водорода за 20...30 мин составляет 10...20 %, в то время как при взаимодействии с растворами  $\text{NaOH}$  эта величина достигает 50...80 % в зависимости от температуры и концентрации раствора. Поскольку при производстве ячеистого бетона металлический алюминий реагирует с активной известью цемента, полученные результаты позволяют интенсифицировать процесс выделения водорода шлаками путем добавления небольшого количества гидроксида натрия на стадии введения газообразователя в бетонную смесь.

Методом начальных скоростей найден порядок реакции газовыделения по гидроксиду натрия. Тангенс угла наклона графической зависимости начальных скоростей выделения водорода от концентрации щелочи  $\text{NaOH}$  равен единице.

Сопоставление газообразующей способности шлаков и алюминиевой пудры ПАП-1 в одинаковых условиях показывает, что процесс выделения водорода для шлаков является более плавным, растянутым во времени, и этот факт можно рассматривать как положительный фактор при использовании шлаков в качестве газообразователя.

Применение в строительном производстве шлакового газообразователя связано с необходимостью его транспортировки и хранения, так как для этого удобнее иметь сухой материал. При горячей сушке отмытого шлака обнаружено резкое снижение газовыделения, что обусловлено образованием плотной оксидной пленки на зернах алюминия. В связи с этим исследовано влияние температуры сушки на газообразующую способность отмытых от солей шлаков. Опыты показали, что сушку отмытого от солей шлака необходимо проводить при температуре материала не выше 30...50 °C [4].

В лабораторных условиях проведены исследования по изготовлению ячеистобетонных блоков с использованием газообразователя, полученного из солевых алюмосодержащих шлаков. Получены образцы плотностью от 1000 до 680 кг/м<sup>3</sup>, прочность которых составляет 2,8...3,6 МПа для легких бетонов, 4,0...4,7 МПа — для тяжелых бетонов, что соответствует требованиям ГОСТ на ячеистые бетоны.

В результате водного выщелачивания солевых алюмосодержащих шлаков по предложенной схеме получают концентрированные растворы, содержащие в основном хлориды натрия и калия. Известный способ утилизации таких растворов выпариванием с получением возвратного флюса плавки алюминиевых сплавов является нерентабельным. Авторами предложен способ примене-

ния его в качестве регенерирующего раствора в технологии умягчения воды в котельных и на ТЭЦ.

На практике регенерацию натрий-катионитовых фильтров обычно осуществляют путем пропускания раствора, содержащего ионы, способные восстановить способность смолы умягчать пропускаемую воду. Известны различные реагенты для отмытки катионитовых фильтров: подкисленным раствором поваренной соли, природным рассолом, содержащим  $\text{NaCl}$ , подкисленной морской водой, техническим хлоридом калия. Но традиционно благодаря низкой себестоимости и достаточной регенерирующей способности используют раствор технической поваренной соли с концентрацией 1,5...8 %.

Экспериментальные исследования [5] показали целесообразность применения солевого шлакового раствора в качестве регенерирующего для катионитовых смол в технологии умягчения воды взамен технической соли. Концентрированный раствор, полученный путем водного выщелачивания солевых алюмосодержащих шлаков, разбавили водой и получили солевой раствор плотностью 1,066 г/см<sup>3</sup> следующего состава: сумма хлоридов  $\text{K}$  и  $\text{Na}$  — 98,5 г/л; железо — 1,6 мг/л; медь — 1,85 мг/л; цинк — 0,8 мг/л; хром и никель не обнаружены; жесткость раствора — 8,5 ммоль-экв/л; рН — 6,5.

Методика эксперимента заключалась в следующем: через лабораторный катионитовый фильтр, заполненный 300 г сульфогля, пропускали водопроводную воду жесткостью 9,6 ммоль-экв/л со скоростью 30 м/ч в течение 4 ч до насыщения фильтра ионами жесткости. Общий объем пропущенной воды составил 35 л при остаточной жесткости 0,5 ммоль-экв/л. После этого содержимое катионитового фильтра делили на две равные части (по 150 г) и проводили в одинаковых условиях параллельные опыты. В первом опыте через катионитовую смолу пропускали стандартный раствор поваренной технической соли плотностью 1,07 г/см<sup>3</sup> со скоростью 6 м/ч до восстановления работоспособности катионита. Во втором опыте — пропускали полученный раствор хлоридов щелочных металлов. Из каждых пропущенных через катионит 100 мл промытого раствора отбиралась проба на анализ жесткости воды. Общее количество пропущенного раствора составило 1 л, количество отобранных проб — 10. Опытные данные представлены на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что замена технической поваренной соли на солевой раствор алюмосодержащих шлаков повышает скорость и глубину регенерации катионитовых фильтров. Это объясняется присутствием ионов калия. Хлорид калия не применяют при регенерации катионитовых фильтров на ТЭЦ из-за высокой стоимости, а использование

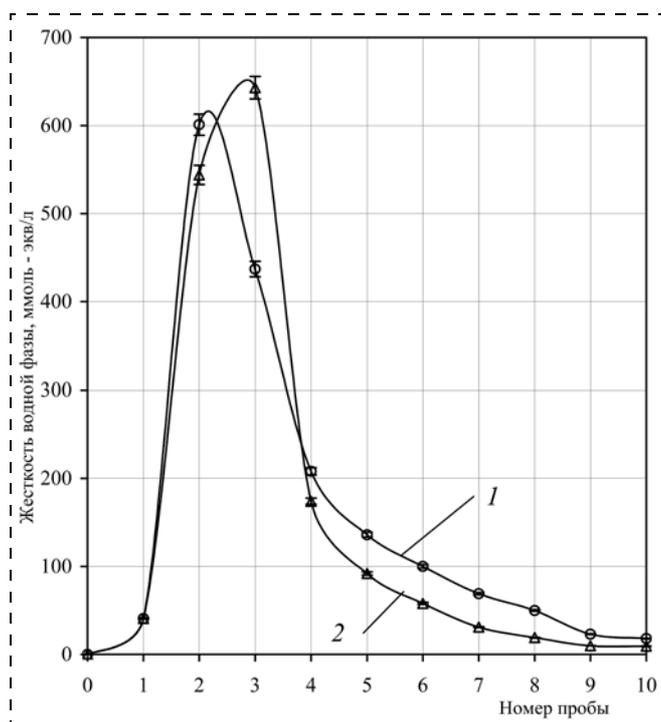


Рис. 3. Зависимость жесткости воды (ммоль-экв/л) при регенерации катионитового фильтра:

1 — стандартным раствором поваренной технической соли;  
2 — солевым шлаковым раствором (масса катионита — сульфогля 150 г)

солевого раствора, полученного в результате водной отмывки солевых алюмосодержащих шлаков, может обеспечить хорошую регенерацию катионитовой смолы при значительном удешевлении регенерирующего раствора.

На следующем этапе работы был проведен анализ возможных методов утилизации обессоленных алюмосодержащих шлаков с целью найти рациональный способ утилизации наиболее ценного компонента шлака — металлического алюминия с получением дорогостоящего продукта.

Ранее была показана возможность применения обессоленного шлака в качестве газообразователя в производстве ячеистого бетона. Экономические расчеты показали, что с увеличением содержания алюминия в отмытом шлаке задачу повышения рентабельности утилизации шлаков можно решить получением коагулянтов — солей алюминия.

Коагулянты используют для очистки воды питьевого, хозяйственно-промышленного назначения и сточных вод, содержащих загрязнение в виде тонкодисперсной взвеси. Коагулянты чаще всего являются солями слабых оснований и сильных кислот (сульфат алюминия, гидроксохлориды алюминия). При их растворении происходит гидролиз с образованием положительно заряженных

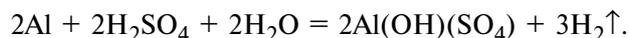
поливалентных катионов алюминия и железа, которые нейтрализуют отрицательно заряженные коллоидные частицы в воде, что вызывает осаждение загрязняющих веществ в осадок.

Один из самых распространенных в водоподготовке коагулянтов — сульфат алюминия. На практике  $Al_2(SO_4)_3$  получают обработкой серной кислотой свежеосажденного гидроксида алюминия, глины, богатой каолинитом  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , боксита или алунита  $(Na, K)_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 4Al(OH)_3$  при температуре 100...250 °С.

Предложен в патенте [6] и апробирован способ получения сульфата алюминия из суспензии обессоленного алюмосодержащего шлака путем обработки ее серной кислотой согласно стехиометрии получения соли заданного состава без дополнительного нагрева до полного растворения металлического алюминия, содержащегося в отходах. Преимущество способа — получаемый продукт не загрязнен примесями тяжелых металлов. Процесс протекает по следующей химической реакции:



в случае получения основной соли — гидроксо-сульфата алюминия —



Известно, что из солей алюминия значительно большей коагулирующей и адсорбционной способностью, чем  $Al_2(SO_4)_3$ , обладают гидроксохлориды алюминия (сокращенно — ГОХА) с общей формулой  $[Al_2(OH)_{6-n}Cl_n]_x$ , где  $n$  от 0 до 3. За рубежом этот коагулянт широко используется при очистке питьевой воды.

ГОХА имеют широкую область применения и являются эффективными коагулянтами в водоподготовке и водоочистке. Они также широко применяются в качестве стабилизатора пены при тушении пожаров с использованием жесткой и морской воды, а также в производстве теплоизоляционных материалов на основе окиси алюминия.

Известные методы получения ГОХА связаны с использованием дефицитного или дорогостоящего сырья. При проведении исследования по получению гидроксохлоридов алюминия из обессоленных алюмосодержащих шлаков изучена кинетика растворения металлического алюминия шлаков в соляной кислоте при температурах 30, 70 и 100 °С. Скорость растворения алюминия рассчитывали по количеству выделившегося за единицу времени водорода. Степень превращения металлического алюминия из шлаков при 100 °С составила ≈97...98 % за 65...70 мин.

Особенностью процесса является разогрев реакционной смеси при растворении металлического алюминия за счет экзотермичности реакции.



Вычисленное значение кажущейся энергии активации показало, что процесс протекает в переходной кинетической области. Данный способ получения коагулянта путем взаимодействия обессоленных алюмосодержащих шлаков с соляной кислотой в соответствии со стехиометрией получения  $Al_2(OH)_5Cl$  при небольшом избытке до полного растворения металлического алюминия запатентован [7]. Продукт отделяли фильтрацией и получали прозрачный коагулянт, который со временем приобретал желтоватый цвет. Выпаркой раствора при температуре  $40\text{ }^\circ\text{C}$  получили продукт в виде желтых кристаллов.

За счет использования в качестве сырья отходов металлургического производства предлагаемый способ позволяет производить дешевый коагулянт. Кроме того, получаемый продукт не содержит солей тяжелых металлов (за исключением ионов железа) благодаря проведению процесса при низких температурах. Технический ГОХА можно использовать в качестве высокоэффективного коагулянта при обработке промышленных и коммунальных сточных вод.

Наиболее сложной в технологии очистки городских сточных вод является проблема разделения очищенных вод перед сбросом в водоем и иловых осадков после биологической очистки. На очистных сооружениях многих областных центров России при фильтрации иловых осадков используют коагулянты — известь и хлорное железо. Этот способ не соответствует экологическим нормам, отличается низкой производительностью, а обезвоженный осадок из-за большого количества неорганических веществ нельзя утилизировать, и он вывозится на иловые карты.

Проведенными исследованиями показано, что при фильтрации иловых осадков городских сточных вод с различными коагулянтами наилучшие результаты достигнуты при использовании ГОХА. Так, результаты лабораторных исследований эффективности различных коагулянтов в сопоставимых условиях ( $p = 0,03\text{ МПа}$ ,  $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ) при фильтрации иловых осадков городских очистных сооружений (влажность 98 %) показали, что средняя скорость фильтрации возрастает в ряду: хлорное железо + известковое молоко ( $5,6\text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ); сульфат алюминия ( $9,0\text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ), сульфат алюминия + хлорное железо ( $12,2\text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ), технический гидроксохлорид алюминия, полученный из алюмосодержащих шлаков ( $21\text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$ ). Это объясняется тем, что при действии высокомолекулярного реагента ГОХА ускоряется процесс образования коллоидных структур и повышается их прочность.

Разработана экспресс-методика подбора оптимальной дозы коагулянта, которая позволяет с мини-

мальными затратами времени определить оптимальную дозу коагулянта, оперируя одним основным фактором — объемом фильтрата и коррелирующим — влажностью осадка с учетом времени фильтрации. При этом образуется иловый осадок с минимальной влажностью и обеспечивается высокая скорость фильтрации. Для технического ГОХА оптимальная доза находится в пределах 0,25...0,45 % масс. в пересчете на  $Al_2O_3$  от общего объема илового осадка.

Предложенная технология испытана в промышленных условиях на очистных сооружениях г. Орла. Получены показатели, которые доказали эффективность нового реагента при обезвоживании иловых осадков:

- скорость фильтрации с техническим гидроксохлоридом алюминия в 2—3 раза выше;

- рН фильтрата в пределах 6,8...7,2 вместо рН = 12...13;

- получен дополнительный эффект очистки от примесей тяжелых металлов и нефтепродуктов: железа в 15—20 раз, меди в 2—3 раза, цинка в 5—7 раз, нефтепродуктов в 30—40 раз;

- получен иловый осадок с влажностью 68...72 % вместо 75 % по технологическому регламенту.

Предложенная технология обезвоживания позволяет легче утилизировать иловые осадки городских сточных вод. Например, сушкой при температуре не ниже  $60\text{ }^\circ\text{C}$  с целью обеззараживания и получения органического удобрения для сельского хозяйства (если примеси тяжелых металлов не превышают ПДК). Для термической обработки осадков целесообразно использовать тепло реакции горения водорода. Возможно сжигание иловых осадков, при этом выделяются нетоксичные газы и зола.

Твердофазный шлаковый остаток после полного технологического цикла производства ГОХА в основном состоит из оксидов алюминия, кремния с примесью гидроксохлорида алюминия, что позволяет использовать его для производства строительных материалов.

С экономической точки зрения рационально использовать отфильтрованную от ГОХА суспензию в качестве материала с вяжущими свойствами, например, при изготовлении керамических форм для литейного производства [8]. При температуре спекания  $900\text{ }^\circ\text{C}$  предел прочности литейной формы на основе кварца составил 0,8 МПа.

Водород, являющийся побочным продуктом процесса получения коагулянта ГОХА, рекомендуется направлять через гидрозатвор на систему сжигания с утилизацией теплоты реакции, которую можно использовать, например, для нагревания

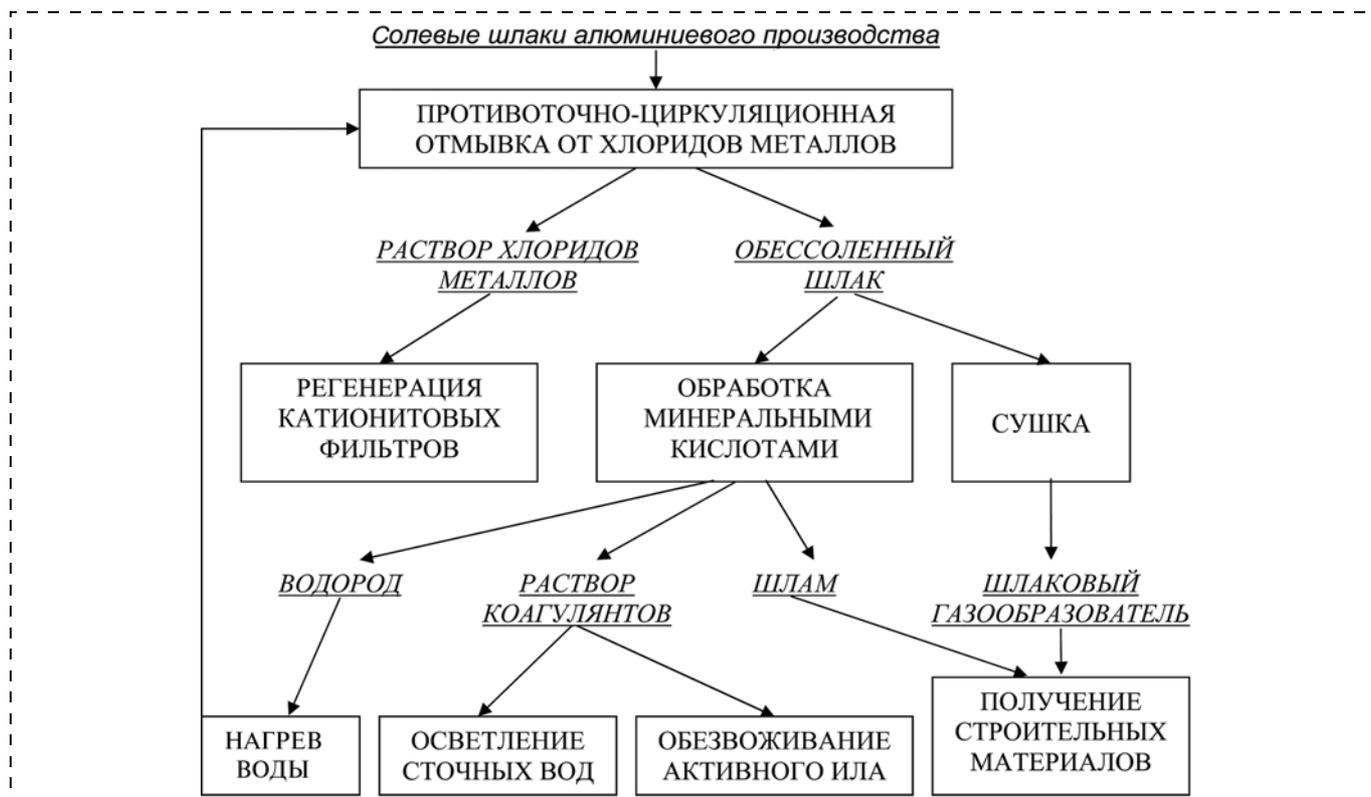


Рис. 4. Технологическая схема комплексной утилизации солевых шлаков алюминиевого производства

растворов при получении коагулянтов, для нагрева воды при отоплении помещения, дезинфекции или сжигании иловых осадков. На рис. 4 приведена принципиальная схема предлагаемой технологии утилизации солевых алюмосодержащих шлаков.

Технологическая схема комплексной утилизации предусматривает отмывку шлаков от водорастворимых солей и нитридов алюминия с получением концентрированного раствора хлоридов щелочных металлов и обессоленного шлака, поступающего на сушку. Готовый шлаковый газообразователь используется в производстве ячеистого бетона. Солевой раствор хлоридов щелочных металлов целесообразнее использовать в котельных строительных предприятий для регенерации катионитовых фильтров умягчения воды или для получения солевого флюса плавки алюминия путем выпаривания.

Предлагаемая технология защищена семью патентами Российской Федерации, патентообладатель — Орловский государственный технический университет.

Полученный опыт утилизации солевых алюмосодержащих шлаков может служить основой для комплексного решения существующей в России экологической проблемы отходов в алюминиевом производстве.

*Работа проведена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.*

#### Список литературы

1. Куценко С. А. Комплексная переработка солевых алюмосодержащих шлаков [Текст]: монография / С. А. Куценко, Л. Н. Курдюмова, Н. В. Кубаткина. — Орел: ОрелГТУ, 2007. — 171 с.
2. Курдюмова Л. Н. Технология комплексной утилизации отвальных солевых алюминиевых шлаков: дис. ... канд. техн. наук / Л. Н. Курдюмова. — Иваново: ИГХТУ, 2002. — 136 с.
3. Пат. 2149845 Российская Федерация, МПК 7 C04B 7/24, 7/32, C01 F 7/56, C22B 7/04. Способ переработки алюмосодержащих шлаков [Текст] / Куценко С. А., Бурцева Н. В., Курдюмова Л. Н. и др. — Оpubл. 2000, Бюл. № 15.
4. Пат. 2181708 Российская Федерация, МПК 7 C04B 38/02, 22/04, C22B 7/04. Способ переработки солевых шлаков алюминиевого производства [Текст] / Куценко С. А., Курдюмова Л. Н. — Оpubл. 2002, Бюл. № 12.
5. Кубаткина Н. В. Исследование и разработка технологии комплексной утилизации солевых алюмосодержащих шлаков: дис. ... канд. техн. наук / Н. В. Кубаткина. — Брянск: БГПУ, 2000. — 138 с.
6. Пат. 2102323 Российская Федерация, МКИ<sup>6</sup> C01F7/74. Способ получения алюмосодержащего коагулянта [Текст] / Куценко С. А., Бурцева Н. В. и др. — Оpubл. 1998, Бюл. № 2.
7. Пат. 2096328 Российская Федерация, МКИ<sup>6</sup> C01F7/56. Способ получения алюмосодержащего коагулянта [Текст] / Куценко С. А., Бурцева Н. В. и др. — Оpubл. 1997, Бюл. № 32.
8. Пат. 2102180 Российская Федерация, МКИ<sup>6</sup> B22C1/16, 1/18. Способ переработки алюмосодержащих шлаков [Текст] / Куценко С. А., Бурцева Н. В., Пилюзин В. И. и др. — Оpubл. 2002, Бюл. № 16.

УДК 614.841

**Р. Ш. Еналеев**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц., **Э. Ш. Теляков**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,  
**А. М. Закиров**<sup>2</sup>, асп., **Ю. С. Чистов**<sup>1</sup>, асп., **Г. М. Закиров**<sup>2</sup>, асп.

<sup>1</sup> Казанский государственный технологический университет

<sup>2</sup> ОАО "Нижнекамскнефтехим", г. Нижнекамск  
E-mail: firepredict@yandex.ru

## Прогнозирование санитарных потерь от воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях

*Проведена гармонизация отечественных и зарубежных методов оценки термического поражения человека от воздействия теплового излучения. Обоснованы новые пробит-функции для оценки теплового поражения различной степени тяжести. Предложен инвариантный к скорости нагрева температурный критерий возникновения ожогов. Разработана компьютерная программа для прогнозирования санитарных потерь в чрезвычайных ситуациях.*

**Ключевые слова:** чрезвычайная ситуация, тепловое поражение, прогнозирование, компьютерная программа.

**Enalejev R. Sh., Telyakov E. Sh., Zakirov A. M., Chistov Yu. S., Zakirov G. M.**  
*Prediction of sanitary losses caused by thermal radiation in the situations of emergency*

*The aim of this study focuses on the correlation of the domestic and foreign methods for evaluation of thermal damage caused by thermal radiation. The new probit-function for evaluation of different degrees of thermal injuries were estimated. The invariable thermal criteria of the appearance of burn injuries to the speed of heating has been suggested. The computer program for the prediction of sanitary losses in the situation of emergency has been established.*

**Keywords:** the situation of emergency, thermal damages, prediction, computer program.

### 1. Введение

Разработка научно обоснованных методов прогнозирования опасности воздействия высокоинтенсивного нагрева на биообъекты, и в частности, на человека как при проектировании пожароопасных объектов, так и в аварийных ситуациях, является актуальной социально-экономической пробле-

мой. В настоящее время с возрастанием вероятности возникновения природных и техногенных катастроф, локальных военных конфликтов, террористических актов актуальность проблемы усиливается.

При тепловом поражении людей возникает необходимость оказания безотлагательной медицинской помощи пострадавшим на догоспитальном этапе путем оперативного проведения организационно-технических мероприятий в условиях острого дефицита времени.

Для оценки последствий воздействия теплового излучения в чрезвычайных ситуациях (ЧС) могут применяться различные отечественные и зарубежные методы, представляющие количественные зависимости между термодинамическими и медицинскими критериями теплового поражения.

Проблема количественной оценки массового поражения людей тепловым излучением впервые возникла после первых испытаний атомного оружия в городах Хиросима и Нагасаки. Начиная с сороковых годов прошлого столетия и до настоящего времени, в ведущих научно-исследовательских Центрах NASA — US Naval Air Department Development Center (Исследовательском центре морской авиации), Aerospace Medicine Research Center (Центре медицинских аэрокосмических исследований), University of Rochester (Университете Рочестера), NASA-George Marshall Space Flight Center (Центре космических полетов им. Г. Маршалла) накоплен огромный объем расчетно-экспериментальных данных по пороговым дозам облучения и критической температуре основного слоя кожного покрова биообъекта при воспроизведении термических ожогов различной степени тяжести.

Результаты обработки экспериментальных исследований послужили основой для создания стандартных методов оценки поражения биообъекта тепловым излучением [1, 2]. Однако в отечественных нормативных документах [3—5] экспе-

риментально обоснованным зарубежным разработкам не уделяется должного внимания. Кроме того, в них отсутствуют достоверные модели и программы оценки санитарных потерь различной степени тяжести.

Авторами в работе [6] на основании обобщения зарубежных данных [7–9] и авторских исследований [10, 11] проведена гармонизация отечественных и зарубежных методов оценки поражения человека тепловым излучением с использованием критерия критической дозы облучения.

Целью данной работы является гармонизация методов по критерию критической температуры кожного покрова и обоснование пробит-функций для прогнозирования санитарных потерь различной степени тяжести теплового поражения человека в ЧС.

## 2. Гармонизация отечественных и зарубежных методов

### 2.1. Метод пороговой дозы

При гармонизации методов оценки поражения человека тепловым излучением могут использоваться различные термодинамические и медицинские критерии. В работе [12] получена высокая сходимость результатов гармонизации между зарубежными экспериментальными данными по пороговым значениям плотности теплового потока облучения и времени его воздействия, вызывающих ожог II степени с вероятностью 0,5, и прогнозированию той же степени поражения с той же вероятностью по пробит-функции авторов с использованием термодинамического критерия индекса облучения

$$I = q^{4/3} \tau, \quad (1)$$

где  $q$  — плотность теплового потока облучения, Вт/м<sup>2</sup>;  $\tau$  — время воздействия, с.

Практически важным свойством критерия (1) является его инвариантность ко времени воздействия постоянного теплового потока в диапазоне от 1 до 60 с, т. е. скорости нагрева. Поэтому этот критерий используется в пробит-функциях для прогнозирования вероятностей возникновения термических ожогов

$$\text{Pr} = a + b \ln I, \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  — постоянные коэффициенты, идентифицируемые в экспериментах по воспроизведению ожогов;  $\text{Pr}$  — пробит, нормированное отклонение случайной величины  $\ln I$  с нормальным законом распределения.

Следует отметить, что в медицинской статистике пробит-функции (2) используются для прогнозирования вероятности поражения не только тер-

мических ожогов, но и действия ударной волны и токсических веществ.

В зарубежных стандартах для прогнозирования теплового поражения открытых участков кожи кроме критерия пороговой дозы облучения применяется критерий критической температуры основного слоя кожи.

Однако в литературе не приводятся сведения о корреляции этих методов на основе экспериментальных данных по воспроизведению термических ожогов, что и мотивировало дальнейшие исследования в области гармонизации как отечественных, так и зарубежных методов оценки теплового поражения человека по критерию критической температуры.

### 2.2. Метод критической температуры

Для оценки теплового поражения во всем диапазоне вероятностей для различных степеней тяжести термического ожога необходима гармонизация отечественных методов, использующих аппарат пробит-функций, и методов, использующих критерий критической температуры в основном слое кожного покрова, успешно применяемые в зарубежных стандартах уже несколько десятилетий.

Для гармонизации этих методов авторами работы [12] предлагается математическое моделирование процесса теплопередачи в структурных слоях кожного покрова и расчет температурного поля при различных плотностях теплового потока излучения и времени его воздействия. Тепловая модель представляет собой уравнение нестационарной теплопроводности Фурье при заданных краевых условиях

$$c_i \rho_i \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_i \frac{\partial T(x, \tau)}{\partial x} \right) \pm \sum_{j=1}^2 Q_j, \quad (3)$$

где  $i$  — количество слоев;  $c_i$ ,  $\rho_i$ ,  $\lambda_i$  — теплофизические свойства структурных слоев кожи;  $Q_1$  — источник генерации теплоты за счет поглощения и рассеяния энергии фотонов;  $Q_2$  — сьем теплоты за счет кровотока.

В последние годы большое внимание уделяется моделированию процесса теплопередачи в каждом покрове при воздействии интенсивного излучения лазеров в связи с широким их применением в медицине [13]. Однако количественные зависимости интенсивности кровотока от температуры в литературе не приводятся. Более того, по ключевым аспектам проблемы имеются противоречивые данные. Например, в работе [14] принимается, что увеличение скорости кровотока начинается мгновенно после достижения температуры ткани 41...42 °С, а в работе [15] — с задержкой по времени 60...90 с.

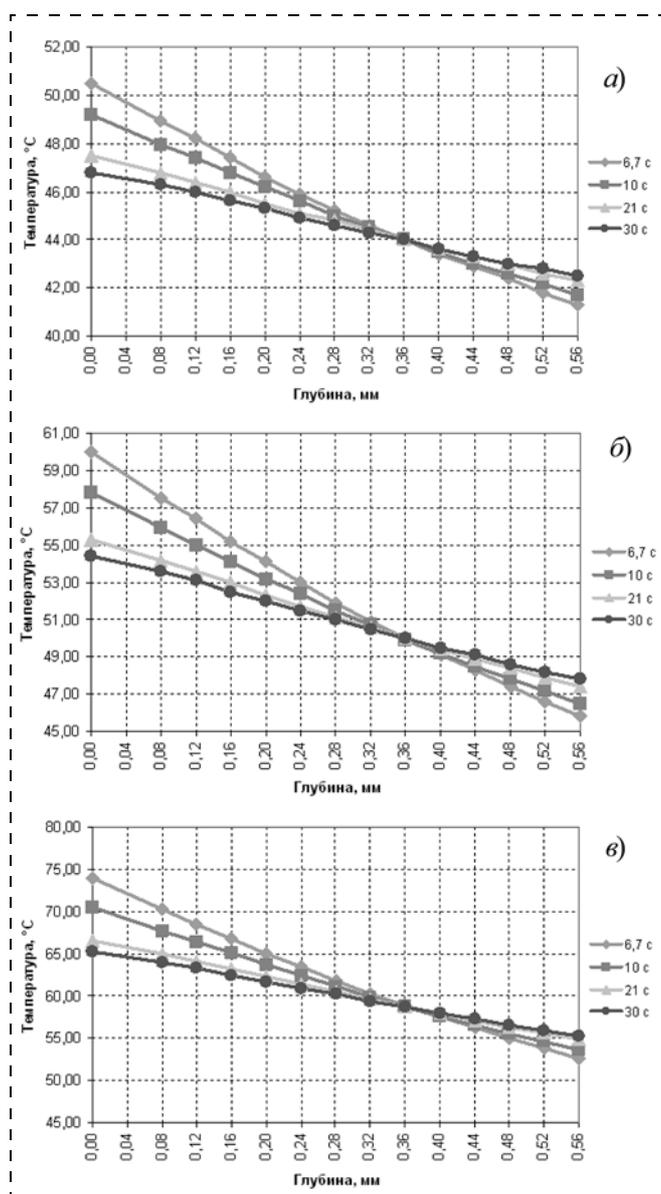


Рис. 1. Температурное поле кожи при ожоге II степени для вероятности:  
а — 0,05; б — 0,5; в — 0,95

Количественное описание конвективного теплообмена между кровотоком и структурными слоями кожи из-за отсутствия достоверных данных по зависимости объемной или линейной скорости крови от температуры, а также поверхности и коэффициента теплопередачи от капилляров к кожной ткани является трудноразрешимой задачей. Поэтому авторы предлагают переменную интенсивность съема теплоты кровотоком моделировать введением эффективного коэффициента теплопроводности, зависящего от скорости нагрева.

Результаты вычислительного эксперимента по тепловой модели получены следующим образом. По

пробит-функции для ожогов II степени для 10 значений вероятностей от 0,01 до 0,99 с шагом 0,1 рассчитываются индексы облучения. Для заданной вероятности индекс облучения не зависит от времени воздействия. В работах [10, 11] при исследовании контактных ожогов показано, что и температура на определенной глубине сохраняет постоянное значение с точностью 0,5 °C независимо от интенсивности облучения при постоянном индексе.

С целью дальнейшего развития этих работ в части моделирования и корреляции с зарубежными данными по возникновению ожогов от воздействия теплового излучения авторы идентифицировали скорость кровотока в дерме. Идентификация заключалась в оптимизации значения эффективного коэффициента теплопроводности. В качестве критерия оптимизации принято постоянство температуры на определенной глубине кожи при различных скоростях нагрева при постоянном индексе облучения.

В качестве примера на рис. 1 представлены результаты вычислительного эксперимента по расчету температурного поля кожного покрова для трех значений вероятности — 0,05, 0,5, 0,95.

На каждом рисунке (см. рис. 1, а—в) представлено четыре кривых для различного времени облучения (для сравнения с соответствующими данными зарубежных исследований). Интенсивность облучения рассчитывается по известным времени и индексу облучения, который определяется из пробит-функции для данной вероятности.

Как видно из рис. 1, независимо от времени нагрева на глубине кожи 0,36 мм от поверхности температура принимает одинаковые значения с отклонением не более 0,1 °C. Аналогичная картина наблюдается для вероятностей 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9. Следовательно, при одинаковых индексах облучения температура на глубине 0,36 мм оказывается постоянной, имеющей одно и то же значение. Поэтому значение этой температуры может быть принято в качестве инвариантного критерия возникновения ожогов для произвольной вероятности наступления события.

Стандартные зарубежные методы оценки теплового поражения основываются на зависимости скорости поражения от критической температуры на границе "эпидермис—дерма" (основной слой кожи), рассчитываемой по кинетической модели

$$\frac{d\omega}{d\tau} = A \exp(-E/RT); \quad (4)$$

$$\omega = \frac{C(0) - C(\tau)}{C(0)}, \quad (5)$$

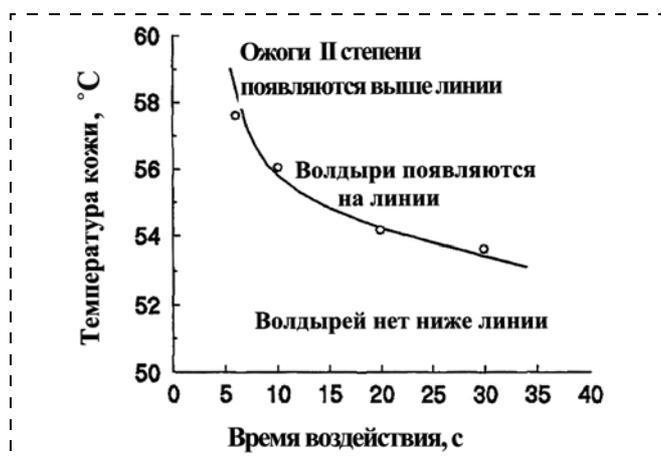


Рис. 2. Температура основного слоя кожи при воспроизведении ожогов II степени:

(—) — кинетическая модель, о — тепловая модель

где  $\frac{d\omega}{dt}$  — скорость теплового поражения;  $C(0)$  — начальная концентрация белка коллагена;  $C(\tau)$  — концентрация денатурированного белка;  $T$  — температура кожи на границе "эпидермис—дерма" или на другой глубине от поверхности;  $A$  — предэкспонент (частотный фактор);  $E$  — энергия активации;  $R$  — газовая постоянная.

Интеграл от скорости теплового поражения используется для количественной оценки тяжести поражения

$$P = \int_0^{\tau_{кр}} \frac{d\omega}{d\tau} dt, \quad (6)$$

где  $\tau_{кр}$  — время воздействия теплового источника до появления ожога.

При значениях  $P \leq 0,5$  основной слой остается без повреждений, при  $0,5 \leq P \leq 1$  — возникают ожоги I степени. Если  $P \geq 1$  — возникают ожоги II степени. Для  $P = 1$  в работе [16] получена аналитическая зависимость максимальной температуры основного слоя от времени, график которой приведен на рис. 2. Как видно из данных рисунка, для ожога II степени с вероятностью 0,5 расчетные значения температур, полученные по обеим моделям, практически совпадают.

Таким образом, результаты гармонизации отечественных и зарубежных методов подтверждают правомерность применения инвариантного критерия критической температуры для прогнозирования санитарных потерь от ожогов II степени с вероятностью 0,5 от воздействия теплового излучения в ЧС.

### 2.3. Скорость теплового поражения

Для сравнения данных по оценке поражения биообъектов обоими методами во всем диапазоне вероятностей на рис. 3 совмещены зависимости скорости теплового поражения человека от максимальной температуры основного слоя кожного покрова человека для кинетической модели [17] (левая логарифмическая ось координат) и зависимости логарифма индекса облучения от температуры дермы на глубине 0,36 мм от поверхности кожи (правая ось координат) по тепловой модели.

Из практического совпадения результатов по обеим моделям следует выделить несколько аспектов, имеющих важное теоретическое и практическое значение.

Как видно из рис. 3, по зарубежным данным имеется два линейных участка зависимости логарифма скорости теплового поражения в диапазоне 46...48 °C и 52...57 °C температур. Экстраполяция линейных зависимостей во всем диапазоне температур приводит к их пересечению при температуре 50 °C. Согласно зарубежным данным, этот перелом объясняется сменой кинетических параметров теплового поражения. Очевидно, в биологических системах такого резкого изменения механизма теплового поражения не должно происходить. Поэтому аппроксимация исследуемой зависимости только по 2...3 точкам для каждого участка во всем диапазоне температур является недостаточной.

По мнению авторов, более адекватно реальным экспериментальным данным соответствует зависимость, полученная с использованием пробит-

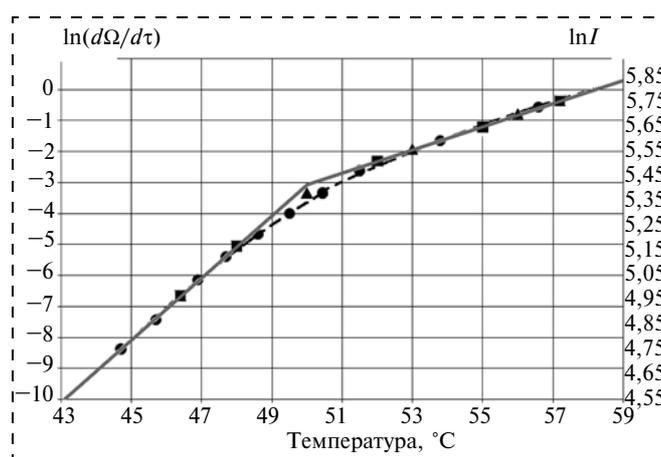


Рис. 3. Скорость теплового поражения человека в зависимости от максимальной температуры структурных слоев кожного покрова человека ■, ▲ — скорость поражения в зависимости от температуры основного слоя кожи на глубине 0,08 мм, рассчитанная по кинетической модели [17, 18], (—) — аппроксимация в зарубежных методах; ● — результаты вычислительного эксперимента по зависимости вероятности поражения от температуры дермы на глубине 0,36 мм от поверхности кожи, рассчитанной по тепловой модели, (---) — аппроксимация авторов



функции, которая получается на основании статистической обработки огромного массива экспериментов с биообъектами, и математической модели процесса теплопередачи в кожном покрове.

Прикладное значение полученных результатов исследования заключается в том, что при совершенствовании существующих и разработке новых количественных методов оценки опасности теплового поражения человека необходимо учитывать согласованные экспериментальные и теоретические данные, полученные отечественными и зарубежными специалистами.

При этом приоритет, очевидно, нужно отдать методам оценки, использующим пробит-функции, которые позволяют прогнозировать вероятность теплового поражения людей при различных индексах облучения.

### 3. Вероятность санитарных потерь различной степени тяжести

Гармонизированные отечественные и зарубежные методы оценки теплового поражения с использованием пробит-функции для ожога II степени позволяют предложить новый подход для построения пробит-функций и для других медицинских критериев возникновения ожогов. Действительно, для нормального закона распределения вероятностей и одинаковом механизме теплового поражения различных слоев кожного покрова в зависимости от температуры кожи все пробит-функции в полулогарифмической системе координат должны иметь одинаковый угловой коэффициент. Тогда, с использованием зарубежных экспериментальных данных [19] (рис. 4) можно найти недостающие вторые постоянные коэффициенты пробит-функций.

На основании предлагаемого подхода авторами построены пробит-функции для различных медицин-

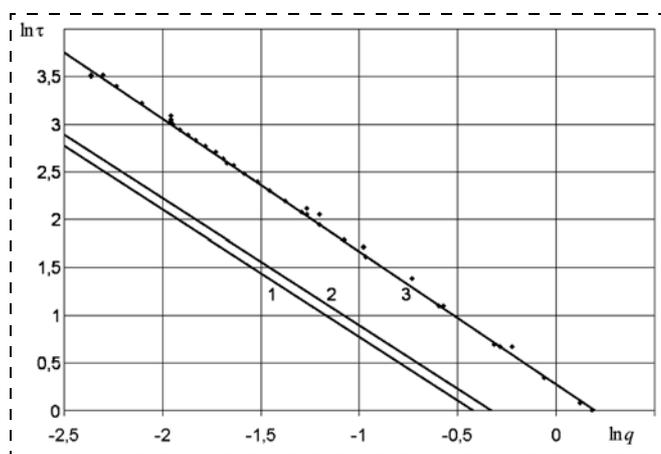


Рис. 4. Зоны теплового поражения кожи:

1 — порог болевого ощущения; 2 — ожог I степени; 3 — ожог II степени

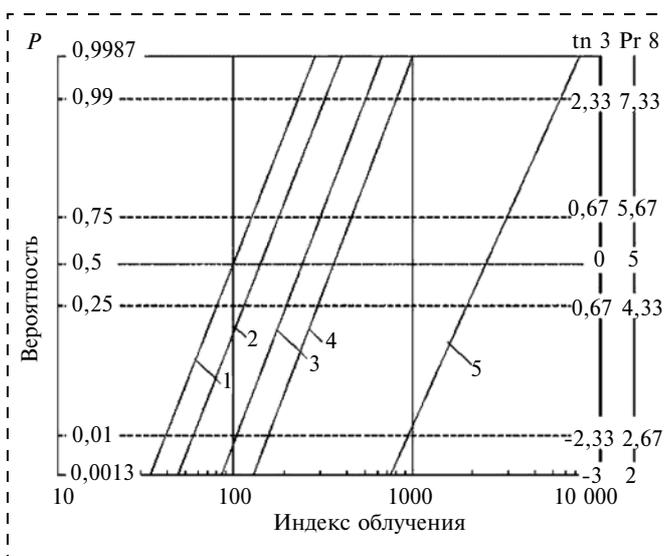


Рис. 5. Пробит-функция для различных степеней теплового поражения:

1 — болевой порог; 2 — ожог I степени; 3 — ожог II степени; 4 — ожог III степени; 5 — летальный исход;  $t_n$  — стандартное отклонение случайной величины

#### Пробит-функции для различных степеней поражения

Степень поражения	Пробит-функции
III	$Pr = -12,6 + 2,99 \ln I$
II	$Pr = -11,4 + 2,99 \ln I$
I	$Pr = -9,16 + 2,99 \ln I$
Болевой порог	$Pr = -8,74 + 2,99 \ln I$

ских критериев возникновения ожогов, представленных в таблице и на рис. 5.

Практическое значение построенных пробит-функций заключается в возможности оценки не только безвозвратных потерь по методике [5], но и санитарных потерь различных степеней поражения.

Реализация такой возможности с использованием информационных технологий позволяет разработать алгоритм автоматизированного вычислительного метода для прогнозирования санитарных потерь в аварийных ситуациях при пожарах на химических и нефтехимических предприятиях.

### 4. Прогнозирующая программа

Прогнозирование санитарных потерь основывается на теореме теории вероятности, согласно которой сумма вероятностей несовместных событий, образующих полную группу, равна единице, и на интегральной теореме Лапласа по оценке вероятностей в интервале между двумя соседними степенями теплового поражения. В качестве полной группы принимаются: отсутствие ожогов, болевой порог, ожоги I—III степеней, летальный исход.

Результатом работы прогнозирующей программы является визуальное, графическое или таблич-

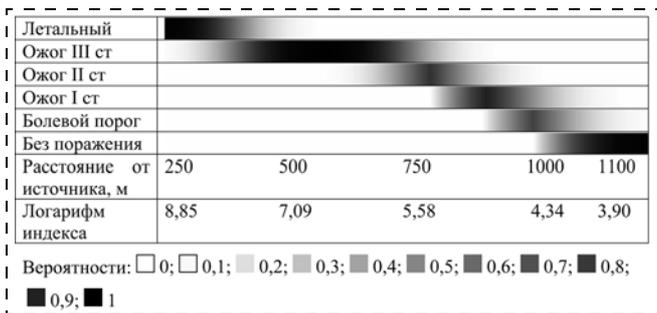


Рис. 6. Расчетный спектр теплового поражения

ное представление сопряженных полей логарифма индекса облучения на различных расстояниях от источника пожара и спектра теплового поражения различной вероятности.

Под спектром поражения понимается распределение вероятностей поражения каждой степени санитарных потерь в зависимости от расстояния от источника облучения. Общее количество потерь рассчитывается суммированием санитарных потерь каждой степени поражения по всем пространственным зонам. Расчет производится на основании теорем теории вероятности для несовместных событий.

На рис. 6 приведен расчетный спектр теплового поражения для практического примера, приводимого в ГОСТ 12.3.047—98 [3] для поражающего действия огненного шара при аварийном выбросе пропана массой 254 т.

Например, для 100 человек с равномерной плотностью распределения вокруг опасного источника на расстоянии до 1100 м общие санитарные потери, для которых необходима безотлагательная оперативная помощь, составляют: ожог I степени — 16 чел.; ожог II степени — 12 человек, ожог III степени — 28 человек, для остальных (44 человека) наступит летальный исход. Автоматизированный алгоритм расчета позволяет оценивать санитарные потери для любой плотности распределения обслуживающего персонала и населения вокруг опасного источника.

### Выводы

1. Предложен новый инвариантный к скорости нагрева температурный критерий возникновения ожогов II степени на глубине 0,36 мм от поверхности кожи.
2. Проведена гармонизация отечественных и зарубежных методов оценки теплового поражения от воздействия теплового излучения.
3. Обоснованы пробит-функции для прогнозирования санитарных потерь различной степени тяжести.
4. Разработана прогнозирующая программа для оценки зон теплового поражения и количества санитарных потерь различной степени тяжести.

### Заключение

Разработанная программа может найти практическое применение в Ситуационных центрах прогнозирования и моделирования чрезвычайных ситуаций на критически важных объектах в нашей стране и за рубежом.

### Список литературы

1. ASTM Standard D 4108, Standard test method for thermal protective performance of material for clothing by open flame method, American society for testing and materials, Philadelphia, PA, 1994.
2. International Organization for standardization. Clothing for protection against heat and flame — determination of heat transmission on exposure to both flame and radiant heat / ISO Standard 17492, Geneva, Switzerland, 2003.
3. ГОСТ Р 12.3.047—98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля.
4. Руководство по оценке пожарного риска для промышленных предприятий. — М.: ФГУ ВНИИПО, 2006, 36 с.
5. Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах. Приложение к приказу МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404.
6. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Хайруллин И. Р., Качалкин В. А. Критерии опасности теплового поражения человека // Безопасность жизнедеятельности. — 2008. — № 8. — С. 40—43.
7. Lees F. P. Loos Prevention in the Process Industries. Hazard Identification, Assessment and Control. Volume 1. Third Edition. 2004.
8. Henriques F. C., Moritz A. R. Studies of thermal injury. I. The conduction of heat to and through skin and the temperature attained therein. A theoretical and experimental investigation // Am. J. Path. — 1947. — V.23. — P. 695—720.
9. Столл А. Теплообмен в биотехнике // Успехи теплопередачи: Пер. с англ. — М.: Мир, 1970, 358 с.
10. Еналеев Р. Ш., Келин И. А., Качалкин В. А. и др. Применение математического моделирования для исследования термических ожогов // Труды Казанского Ордена Трудового Красного Знамени медицинского института им. С. В. Курашова. Т. 48. — Казань, 1978. С. 91—95.
11. Enalejev R. Sh., Kachalkin V. A. Mathematical Simulation of Heat and Mass Transfer Process in Skin Cover at Burn Injury // Annals of the NewYork Academy of Science. — 1998. — Vol. 858. — P. 30—35.
12. Еналеев Р. Ш., Теляков Э. Ш., Закиров А. М., Качалкин В. А., Осипова Л. Э. Методы оценки опасности теплового поражения людей в чрезвычайных ситуациях // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 9. — С. 30—36.
13. Huangetal. Predicting effects blood flow rate and size of vessels in a vasculature on hyperthermia treatments using computer simulation // BioMedical Engineering Online, 2010. V. 9. N 18. P. 1—19.
14. Zhu D., Luo Q., Zhu J., Liu W. // Lasers in surgery and medicine. — 2002. — V. 31, N 5. — 313 p.
15. Смирнов М. З., Пушкарева А. Е. Влияние кровотока на лазерный нагрев кожи // Оптика и спектроскопия. — 2005. — Т. 99. — № 5. — С. 875—878.
16. Lawson J. Randall. Fire fighter's protective clothing and thermal environments of structural fire fighting // National institute of standards and technology, Gaithersburg, MD 20899, August 1966, P. 1—22.
17. Weaver U. A., Stoll A. M. Mathematical model of skin exposed to thermal radiation // Aerospace medical research department. NADC-MR-6708. 22 August 1967. — P. 1—25.
18. Qian Feng, Hu Zhao-yan, Zhu Zhen-kang. The Establishment of the Mathematical Model of the 2nd Degree Burn Injury of Human Tissues and Its Application // Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medical and Biology 27th Annual Conference. Shanghai, China, September 1—4, 2005. — P. 2918—2921.
19. Stoll A. M., Chianta M. A. A Method and rating system for Evaluation of thermal Radiation. Aerospace medical research department. NADC-MR-6809. 2 December, 1968.

УДК 556.5.072

**Е. И. Шаврак**, канд. техн. наук, Южно-Российский государственный технический университет, Волгодонский институт; **И. А. Генераленко**, начальник отдела водопользования ФГУ "Управление водными ресурсами Цимлянское водохранилища"  
E-mail: npi-ecology@rambler.ru

## Тяжелые металлы в Цимлянском водохранилище

*Идентифицированы источники поступления тяжелых металлов (ТМ) в Цимлянское водохранилище, проведена их сравнительная характеристика. Проанализирована динамика изменения содержания ТМ в водной массе, установлены факторы, инициирующие процессы вторичного загрязнения и самоочищения водохранилища от ТМ. Охарактеризованы аккумуляционные процессы.*

**Ключевые слова:** Цимлянское водохранилище, тяжелые металлы, источники, пространственно-временная динамика, аккумуляция.

**Shavrak E. I., Generalenko I. A. Heavy metals in Zymliansk reservoir.**

*Sources of heavy metals entrance into Zymliansk reservoir have been identified, comparison between them has been realized. Spatio-temporal tendencies of heavy metals content change in water mass have been analyzed. Factors initiating processes of secondary soiling and self-clarification of reservoir from heavy metals have been determined. Features of accumulation processes have been considered.*

**Keywords:** Zymliansk reservoir, heavy metals, sources, space-time dynamics, accumulation.

### Введение

Цимлянское водохранилище (ЦВ) образовано в 1952 г. в долине реки Дон. Оно является одним из крупнейших искусственных водоемов России, осуществляющих многолетнее регулирование стока. В районе водохранилища проживает 457,5 тыс. человек, расположено 156,8 тыс. га сельхозугодий, 37,2 тыс. га лесов [1]. По берегам ЦВ размещено большое количество хозяйственных объектов, в том числе Ростовская атомная станция, Цимлянская гидроэлектростанция, порты в гг. Волгодонске и Калаче-на-Дону, нефтебазы, рыбзаводы и рыболовецкие хозяйства, турбазы, охотничьи хозяйства, заказники и природные парки.

Устойчивость функционирования водохозяйственного комплекса ЦВ во многом определяется

характеристиками водных ресурсов. Качество воды ЦВ в последние годы достаточно стабильно, соответствует 3-му классу загрязненности. К критическим загрязнителям, по которым наблюдается устойчивая загрязненность высокого уровня, относятся тяжелые металлы (ТМ) марганец и медь [2]. Кратности превышения ПДК<sub>вр</sub> по марганцу и меди в нижнем бьефе ЦВ варьировались в 2000—2009 гг. соответственно в диапазонах 2...5 и 1,5...2,5. Повторяемость случаев превышения ПДК составляла 50...100 % от всего объема измерений.

Данная работа посвящена количественной оценке загрязнения ЦВ водорастворимыми формами ТМ. В качестве источника информации использованы официальные данные аккредитованной гидрохимической лаборатории ФГУ "Управление водными ресурсами Цимлянское водохранилища" (ФГУ "УВРЦВ") за 2005—2008 гг., результаты исследований, проводимых в течение 2001—2009 гг. на кафедре инженерной экологии Волгодонского института Южно-Российского государственного технического университета (ВИ ЮРГТУ). Содержание ТМ определялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Перечень рассматриваемых ТМ включал в себя восемь ингредиентов, в том числе кадмий, свинец, цинк, хром шестивалентный, медь, никель, марганец двухвалентный, железо общее.

### Источники поступления ТМ в ЦВ

К основным источникам ТМ относятся стоки реки Дон и впадающих в ЦВ малых рек, абразия берегов и техногенное загрязнение, представленное преимущественно неочищенными ливневыми стоками муниципальных образований, расположенных по берегам водохранилища [2].

Количество ТМ в составе речных стоков рассчитывали по формуле:

$$M_{ik}^j = C_{ik}^j Q_{ik}^j, \quad (1)$$

где  $M_{ik}^j$  — масса  $i$ -го ТМ, поступившего на территорию водохранилища в  $k$ -й год в составе  $j$ -го стока, т;  $C_{ik}^j$  — среднегодовая концентрация этого



металла в соответствующем стоке, мг/дм<sup>3</sup>;  $Q_{ik}^j$  — объем стока, млн м<sup>3</sup>/год.

Массу водорастворимых форм тяжелых металлов, поступивших в водоем в результате абразионных процессов с плодородной почвой, определяли по формуле:

$$A_{ik} = Ln_k h \rho C_i \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где  $A_{ik}$  — количество  $i$ -го тяжелого металла, поступившего в ЦВ с продуктами абразии берегов в  $k$ -й год, т;  $L$  — общая протяженность береговых склонов ЦВ, подверженных переформированию, м (согласно "Схеме первоочередных мероприятий по берегоукреплению Цимлянского водохранилища", разработанной АО "Южгипроводхоз" в 1993 г.,  $L = 165\,000$  м;  $n_k$  — средняя величина движения бровки коренного берега ЦВ за  $k$ -й год, м;  $h$  — ориентировочная высота ежегодно смываемого в ЦВ слоя почвы, принята за 1 м;  $\rho$  — плотность смываемой почвы, равна 1,2 т/м<sup>3</sup> [3];  $C_i$  — концентрация подвижной формы  $i$ -го тяжелого металла в плодородной почве, мг/кг почвы [4];  $10^{-6}$  — коэффициент перевода массы в тонны.

При установлении количества тяжелых металлов, поступающих с антропогенным загрязнением в составе сточных вод, использована документация отдела водных ресурсов ФГУ "УВРЦВ".

В табл. 1 приведены результаты расчетов, отражающие усредненную информацию о поступлении водорастворимых ТМ в ЦВ в период 2005—2008 гг. Количество ТМ выражали в единицах массы (тонн в год) и в единицах ПДК<sub>вр</sub> (млрд ед. ПДК в год). В среднем в течение года в ЦВ поступает около 3,3 тыс. т ТМ. Наиболее значимым источником загрязнения водоема тяжелыми металлами является сток реки Дон (93 % всего загрязнения). Вклад абразии и боковой приточности составляет в целом около 7 %. Поступление ТМ с продуктами абразии почти в 2 раза меньше, чем в составе стока малых рек. Доля антропогенного загрязнения водохранилища ТМ очень незначительна.

В массовом выражении основными загрязнителями являются марганец и железо. С учетом токсичности ингредиентов наибольшую экологическую опасность представляет собою марганец (79 % от общего загрязнения, выраженного в единицах ПДК), а также железо и медь (в среднем по 8 % загрязнения).

Гидрографическая сеть ЦВ, помимо реки Дон, включает в себя 24 водотока, наиболее значительные из которых — реки Чир, Аксай Курмоярский, Аксай Есауловский, Донская Царица, Мышковка, Цимла, Россошь, Аксенец [5]. Определяющим фактором формирования состава воды является вынос загряз-

Таблица 1

Среднегодовое поступление ТМ в водохранилище

Источник	Масса металлов, т/год									% от общей массы
	Cd	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe	Всего	
Река Дон	6,9	10,6	3,8	9,6	17,2	35,5	1667	1373	3120	93
Малые реки	0,02	0	0,2	0,3	0,96	0,6	49,3	109,7	160	4,77
Абразия берегов	—	—	0,3	—	0,06	—	5,6	68	73,9	2,21
Сточные воды	—	—	0,08	—	0,004	—	—	0,52	0,6	0,02
Всего, т/год	6,92	10,6	0,6	9,9	17,3	36,1	1722	1551	3354	—
% масс.	0,2	0,3	0,02	0,3	0,5	1,1	51	46	100	—
Млрд ед. ПДК/год	1384	1767	56	4940	17 259	3608	172 180	15 512	216 707	—
% (ед. ПДК)	0,6	0,8	0,03	2,3	8	2	79	7	—	—

Таблица 2

Среднегодовые модули выноса ТМ поверхностным стоком, кг/(км<sup>2</sup>/год)

Источник — реки	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Тяжелый металл							
		Cd	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Mn	Fe
Дон	213 000	0,03	0,05	0,02	0,05	0,08	0,17	7,83	6,45
Аксай Курмоярский	1843	0,005	0	0	0,04	0,01	0,10	4,41	5,96
Аксай Есауловский	2650	0,002	0	0	0,015	0,01	0,06	1,59	3,23
Цимла	1650	0,003	0	0	0,05	0,01	0,08	1,91	8,27
Россошь	661	0,003	0	0	0,07	0,01	0,06	2,79	6,46
Аксенец	558	0,004	0	0	0,07	0,01	0,14	2,75	7,46
Донская Царица	1070	0,008	0	0	0,04	0,01	0,16	4,09	5,41
Чир	10 500	0,004	0	0,02	0,06	0,003	0,13	2,40	5,37
Мышковка	1400	0,003	0	0	0,03	0	0,08	3,37	3,85



нения с территории водосбора реки. Были определены модули выноса ТМ, соответствующие количеству металла, поступающего в воду конкретной реки с 1 км<sup>2</sup> территории. Результаты представлены в табл. 2. Максимальные значения модулей выноса характерны для марганца и железа. Из водотоков, питающих ЦВ, в наибольшей степени подвижными формами ТМ загрязнена территория водосбора реки Дон, что может быть объяснено высоким уровнем техногенного воздействия. Среди малых рек повышенной загрязненностью отличаются территории водосбора Донской Царицы и Аксая Курмоярского.

В последнее время отмечается отрицательный баланс марганца в поливных почвах юго-востока Ростовской области. За 1993—2000 гг. его содержа-

ние снизилось в полтора раза, что привело к снижению плодородия [6]. В совокупности с высокими значениями модулей выноса это свидетельствует о вымывании марганца поверхностным стоком из плодородных почв с последующим поступлением его в качестве загрязняющего вещества в ЦВ.

### Динамика изменения содержания ТМ в ЦВ

Поскольку наиболее значимым является загрязнение ЦВ железом, марганцем и медью (см. табл. 1), была рассмотрена пространственно-временная динамика содержания этих металлов в водной массе ЦВ.

#### Изменение содержания ТМ за период 1991—2008 гг.

В работе [7] приведена информация о концентрациях ТМ в воде ЦВ по состоянию на 1991 г. Для оценки тенденций изменения уровня загрязнения ЦВ тяжелыми металлами в период 1991—2008 гг. были определены усредненные концентрации ТМ за 2000—2008 гг. Основные результаты, в том числе минимальные и максимальные значения соответствующих выборок данных, представлены в табл. 3.

За рассматриваемый период значительно уменьшилось содержание ТМ в воде ЦВ: среднегодовая концентрация железа снизилась в 33 раза, меди — в 15 раз, марганца — в 4 раза. Одной из причин этого может быть уменьшение техногенного воздействия вследствие экономического кризиса.

#### Сезонные изменения содержания ТМ

К основным причинам сезонных изменений содержания ТМ в водной массе водохранилища можно отнести состояние продукционно-деструкционного равновесия в экосистеме и сезонную выраженность абразионных процессов.

Согласно [8] при преобладании деструкционных процессов уменьшается рН воды и содержание растворенного кислорода. Следствием этого может стать увеличение содержания растворимых соединений ТМ в воде [9]. Смещение баланса в экосистеме в сторону продукционных процессов имеет противоположные последствия.

В ходе проведенных исследований была проанализирована сезонная динамика рН воды ЦВ и установлено, что в осенне-летний период наблюдается незначительное уменьшение рН по сравнению с весной (рис. 1).

Уменьшение рН в теплое время года сопряжено с увеличением соответствующих концентраций ТМ (рис. 2).

Таким образом, в осенне-летний период происходит вторичное загрязнение воды ЦВ железом, марганцем, медью. Основной причиной этого яв-

Таблица 3

#### Концентрации ТМ в воде ЦВ за период 1991—2008 гг.

Ингредиент	Сезон	Концентрация, мкг/л		C <sub>1991</sub> /C <sub>2000—2008</sub>
		1991 г.	2000—2008 гг.	
Железо	Весна	$\frac{251^*}{44^{**}\dots 1959^{***}}$	$\frac{23}{4\dots 51}$	11
	Лето	$\frac{523}{666\dots 1649}$	$\frac{43}{5\dots 73}$	12
	Осень	$\frac{3762}{485\dots 40\ 352}$	$\frac{56}{0\dots 101}$	67
	Год в целом	$\frac{1329}{44\dots 40\ 352}$	$\frac{41}{0\dots 101}$	33
Марганец	Весна	$\frac{223}{10\dots 5012}$	$\frac{23}{11\dots 33}$	9
	Лето	$\frac{94}{11\dots 444}$	$\frac{49}{30\dots 82}$	1,9
	Осень	$\frac{66}{21\dots 497}$	$\frac{63}{12\dots 136}$	1
	Год в целом	$\frac{179}{10\dots 5012}$	$\frac{45}{11\dots 136}$	4
Медь	Весна	$\frac{14}{26\dots 92}$	$\frac{1}{0\dots 2,6}$	14
	Лето	$\frac{9,6}{2,3\dots 41}$	$\frac{1,6}{0\dots 4,6}$	5,8
	Осень	$\frac{34,6}{0\dots 250}$	$\frac{1,5}{0\dots 3}$	23
	Год в целом	$\frac{21,6}{2,6\dots 250}$	$\frac{1,4}{0\dots 4,6}$	15

\* Усредненное за расчетный период значение концентрации ингредиента.

\*\* и \*\*\* — минимальное и максимальное значения соответствующих выборок данных.

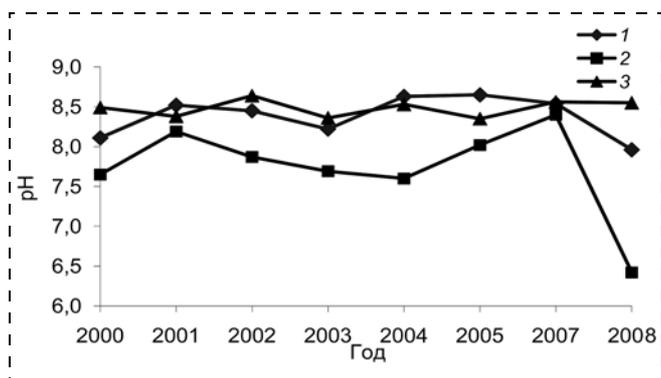


Рис. 1. Сезонные изменения рН воды ЦВ:  
1 — весна; 2 — лето; 3 — осень

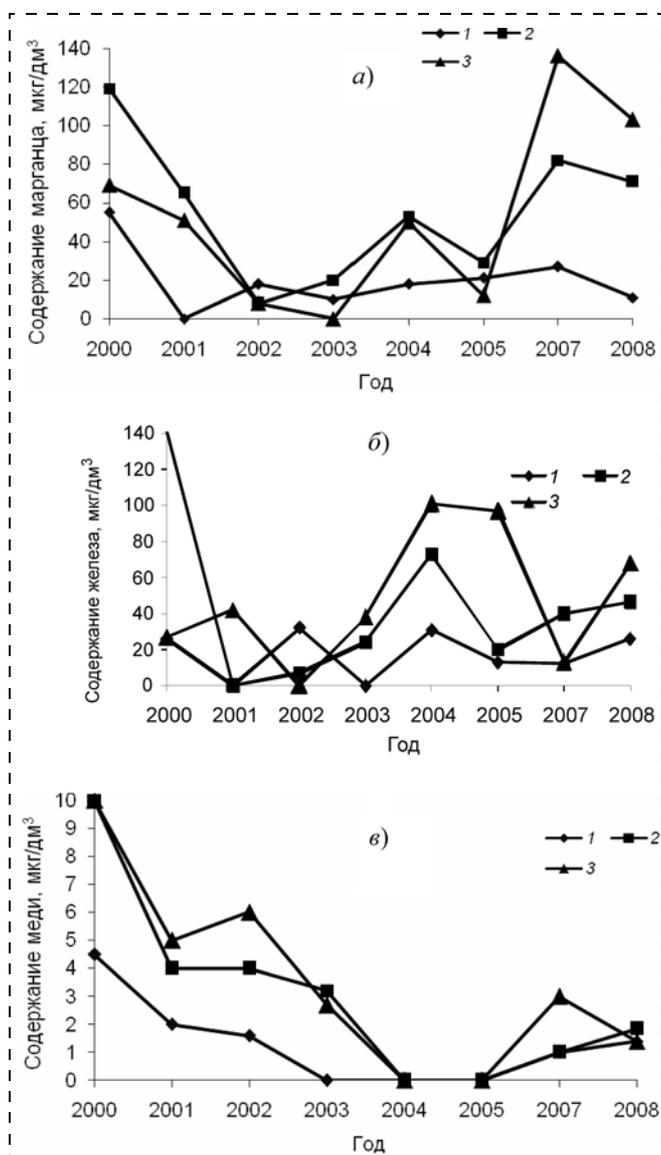


Рис. 2. Сезонные изменения содержания марганца (а), железа (б) и меди (в) в воде ЦВ:  
1 — весна; 2 — лето; 3 — осень

ляется преобладание деструкционных процессов, приводящих к увеличению кислотности воды (уменьшение рН) и созданию восстановительной среды (уменьшение концентрации растворенного кислорода) в придонных отложениях.

#### Пространственные тенденции изменения содержания ТМ в ЦВ

Цимлянское водохранилище включает три участка: Верхний (502...445 км от устья реки Дон), Центральный (445...368 км от устья реки Дон) и Приплотинный (368...309 км от устья реки Дон). Эти участки отличаются своими геолого-морфологическими показателями и характеристиками боковой приточности. Были рассмотрены взаимосвязи между усредненным за четыре года (2005—2008 гг.) количеством ТМ, внесенным на конкретный участок ЦВ в составе стока малых рек, и содержанием ТМ в водах этого участка (табл. 4). В качестве характеристики содержания ТМ использовали показатель  $A_{ij}$ , показывающий, сколько процентов составляет концентрация  $i$ -го металла в  $j$ -м створе от концентрации того же металла во входном створе ЦВ (502 км от устья реки Дон):

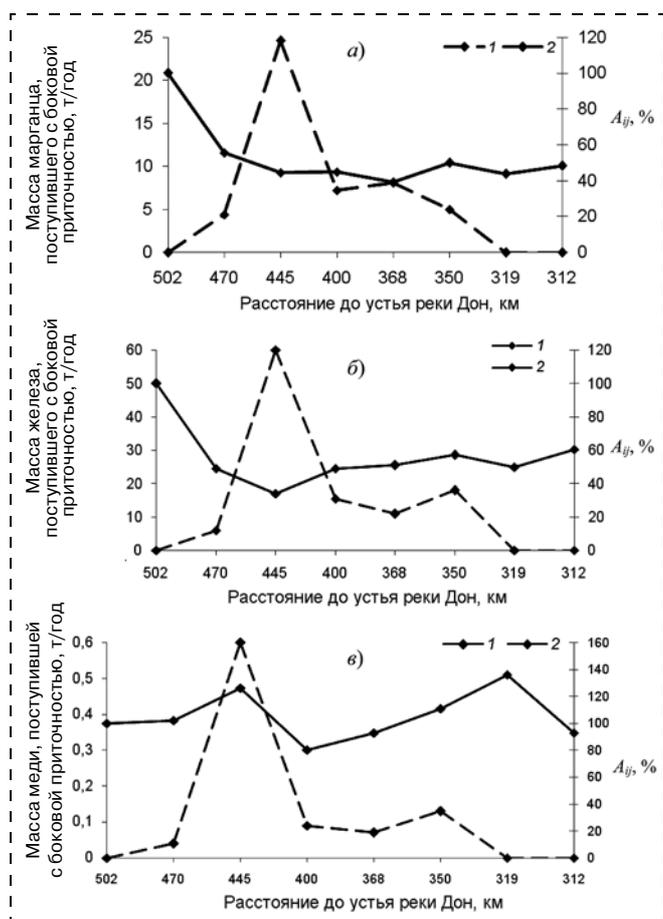
$$A_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (C_{ij}^k / C_{iД}^k)}{n} 100 \%, \quad (3)$$

где  $C_{ij}^k$  — концентрация  $i$ -го ТМ в  $j$ -м створе, усредненная за  $k$ -й год, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{iД}^k$  — концентрация  $i$ -го ТМ во входном створе ЦВ (502 км, г. Калач-на-Дону), усредненная за  $k$ -й год, мг/дм<sup>3</sup>;  $n$  — количество учитываемых лет (2005—2008 гг., всего 4 года).

Таблица 4

#### Количественная характеристика вклада рек боковой приточности в загрязнение ЦВ тяжелыми металлами

Расстояние от створа до устья реки Дон, км	Реки боковой приточности на соответствующем участке	Количество ТМ, поступивших с боковой приточностью, т/год		
		Железо	Марганец	Медь
312	—	0	0	0
319	—	6	4,4	0,04
350	Цимла, Россошь	60	24,6	0,6
368	Аксай Курмоярский	15,5	7,2	0,09
400	Аксай Есауловский, Аксенец, Солоная	11	8,1	0,07
445	Чир, Мышковка, Лиска	18	5	0,13
470	Донская Царица	0	0	0
502	—	0	0	0



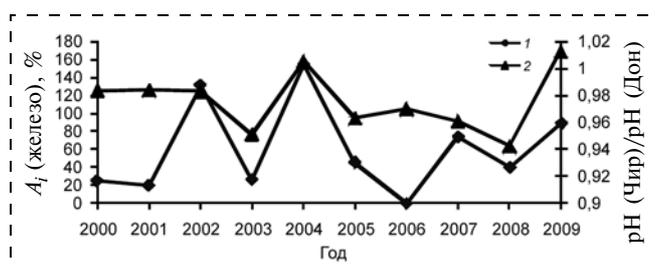
**Рис. 3. Взаимосвязи между массами марганца (а), железа (б), меди (в), поступившими в водоем в составе боковой приточности и относительным содержанием одноименных металлов в водной массе ЦВ:**

1 — масса металла, т в год; 2 — содержание металла по отношению к его концентрации во входном створе, %, характеризующееся показателем  $A_{ij}$

Графическая интерпретация полученных результатов представлена на рис. 3.

На Верхнем участке (502...445 км от устья реки Дон) происходит уменьшение концентрации железа и марганца в воде ЦВ по сравнению с водой речного стока Дона в среднем на 50 %. Об этом свидетельствуют соответствующие изменения показателей  $A_{ij}$  (см. рис. 3, а, б). Медь при смешивании водных потоков разного состава вступает в реакции комплексообразования с гуминовыми веществами, образуя растворимые, достаточно устойчивые соединения, способные мигрировать в водных массах. Валовое содержание растворимой меди при этом может возрасти по сравнению с водой реки Дон вследствие вклада боковой приточности (см. рис. 3, в).

Одной из вероятных причин наблюдаемого самоочищения водных масс от железа и марганца может являться инициирование электролитной коагу-



**Рис. 4. Взаимосвязь между соотношением pH смешиваемых водных масс рек Чир и Дон и относительным содержанием железа в ЦВ:**

1 — содержание железа в нижнем створе ЦВ по отношению к его концентрации во входном створе, %, характеризующееся показателем  $A_i$ ; 2 — соотношение pH воды в реке Чир к pH воды в реке Дон (верхний створ ЦВ)

ляции при смешении водных масс с разным гидрохимическим режимом: речного стока реки Дон, боковой приточности (река Чир) и воды, аккумулированной в ЦВ. Согласно работе [1] интенсивность коагуляции зависит от цветности, pH смешиваемых вод, а также от содержания в них взвешенных частиц. Были проверены взаимосвязи между соответствующими показателями и установлено, что, чем больше pH воды в реке Дон по сравнению с водой реки Чир, тем эффективнее происходят процессы самоочищения воды ЦВ от железа (рис. 4).

Таким образом, при исследовании пространственно-временных тенденций изменения содержания ТМ в ЦВ установлено, что в летние месяцы в ЦВ, вследствие усиления деструкционных процессов и связанных с этим изменений гидрохимического режима, происходит вторичное загрязнение водных масс марганцем, железом, медью. На Верхнем участке ЦВ (502...445 км от устья реки Дон) наблюдается самоочищение водных масс от марганца и железа вследствие перехода их в малорастворимые соединения с последующим осаждением. Интенсивность самоочищения определяется, в том числе соотношением pH смешиваемых на этом участке водных масс.

#### Аккумуляция ТМ в ЦВ

Среднегодовое количество аккумулируемого за последние годы в ЦВ  $i$ -го тяжелого металла ( $m_i$ , т/год) определяли по формуле:

$$m_i = \left( \sum_{k=1}^n [m_i^k(\text{Дон}) + m_i^k(\text{Абразия}) + m_i^k(\text{Приточность})] - \sum_{k=1}^n C_i^k [Q^k(\text{Нижний бьеф}) + Q^k(\text{Ирригация}) + Q^k(\text{Шлюзование}) + Q^k(\text{Промышленность})] \right) / n, \quad (4)$$

где  $m_i^k$  (Дон) — масса  $i$ -го ТМ, поступившего в ЦВ с водным стоком реки Дон в течение  $k$ -го года, т;  $m_i^k$  (Абразия) — масса  $i$ -го ТМ, поступившего в ЦВ в течение  $k$ -го года с продуктами абразии берегов, т;  $m_i^k$  (Приточность) — масса  $i$ -го ТМ, поступившего в ЦВ со стоком рек боковой приточности в течение  $k$ -го года, т;  $C_i^k$  — среднегодовая (за  $k$ -й год) концентрация  $i$ -го ТМ в створе реки Дон в нижнем бьефе ЦВ, мг/дм<sup>3</sup>;  $Q^k$  (Нижний бьеф) — объем воды, прошедший через нижний бьеф ЦВ в течение  $k$ -го года, млн м<sup>3</sup>;  $Q^k$  (Ирригация) — объем воды, поступивший в Донской магистральный канал для ирригационных целей в течение  $k$ -го года, млн м<sup>3</sup>;  $Q^k$  (Шлюзование) — объем воды, пропущенный через шлюзы в течение  $k$ -го года, млн м<sup>3</sup>;  $Q^k$  (Промышленность) — объем воды, израсходованный на нужды промышленности в течение  $k$ -го года, млн м<sup>3</sup>;  $n$  — количество рассматриваемых лет ( $n = 4$ , 2005—2008 гг.).

В качестве показателя аккумуляции использовали коэффициент удержания  $R$  [10], рассчитываемый по формуле:

$$R_i = \frac{m_i}{m_i^k(\text{Дон}) + m_i^k(\text{Абразия}) + m_i^k(\text{Приточность})} \cdot 100 \quad (5)$$

Характеристики процессов аккумуляции приведены в табл. 5. В рассматриваемый период в ЦВ аккумуляровалось около 60 % всех поступивших в водоем тяжелых металлов. Наибольший коэффициент удержания — у свинца. Минимальная степень аккумуляции — у меди и кадмия. Коэффициенты удержания хрома, никеля, марганца и железа отличаются незначительно и составляют  $60 \pm 3$  %. Наблюдается вторичное загрязнение вод ЦВ цинком.

С целью ориентировочной оценки усредненного содержания ТМ в образующихся донных отложениях по приведенной ниже формуле были рассчитаны соответствующие концентрации металлов (без учета влажности отложений):

$$C_i = 1000 \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i + m_{\text{CaCO}_3} + m_{\text{взвеси}} + m_{\text{абразии}}} \quad (6)$$

где  $C_i$  — содержание  $i$ -го металла, мкг/г отложений;  $m_i$ ,  $\sum_{i=1}^n m_i$ ,  $m_{\text{CaCO}_3}$ ,  $m_{\text{взвеси}}$ ,  $m_{\text{абразии}}$  — среднегодовые массы аккумулируемых на дне водохранилища как  $i$ -го ТМ, так и всех рассматриваемых металлов в сумме, массы карбонатов (в пересчете на  $\text{CaCO}_3$ ), взвешенных веществ, продуктов абразии берегов.

Были определены интенсивности аккумуляции отдельных металлов в ЦВ (т/(км<sup>2</sup>/год)) и сопоставлены с таковыми же характеристиками для Ивановского водохранилища [11], являющегося источником водоснабжения г. Москвы. Результаты расчетов представлены в табл. 6.

Содержание марганца в формирующихся донных отложениях практически такое же, как и в почвах водоохранной зоны ЦВ. Этот факт особенно важен в связи с тем, что в последние годы отмечается уменьшение концентрации этого металла в поливных почвах и, связанное с этим, ухудшение плодородных свойств почвы [6]. В перспективе иловые отложения могли бы быть использованы в качестве удобрений. Ограничения на это накладывает загрязнение отложений кадмием, превышающее нормативы для почв в 4 раза.

Сопоставление показателей накопления железа и меди в Цимлянском и Ивановском водохранилищах показывает, что в последнем случае интенсивность аккумуляции почти в 6 раз выше. Вероятной причиной этого может быть различная напряженность антропогенного воздействия на водоем.

Таблица 5

Характеристики процессов аккумуляции

Металл	Поступление ТМ, т/год			Вынос ТМ из водоема, т/год	Аккумуляция ТМ, т/год	Коэффициент удержания $R$ , %
	Река Дон	Абразия	Боковая приточность			
Кадмий	6,9	—	0,02	5,2	1,7	25
Свинец	10,6	—	0	1,9	8,7	82
Цинк	3,8	0,3	0,2	8,1	—3,8	Вторичное загрязнение
Хром	9,6	—	0,3	3,8	6,1	62
Медь	17,2	0,06	0,96	16,9	1,3	7
Никель	35,5	—	0,6	13,5	22,6	63
Марганец	1667	5,6	49,3	709,6	1012	59
Железо	1373	68	109,7	718,3	832	54
Всего	3120	74	160	1477	1881	56



Таблица 6

## Расчетные характеристики донных отложений

Показатель, размерность	Тяжелый металл						
	Fe	Mn	Cu	Cd	Pb	Ni	Cr
Концентрация ТМ, мкг/г							
В донных отложениях ЦВ (расчетный метод)	450	608	2	1	6	14	5
В почвах водоохранной зоны ЦВ [3]	12 500	665	35	0,25	27	26	64
Степень загрязнения металлом донных отложений ЦВ по сравнению с почвой, %	4	92	5,4	400	22	54	8,7
Интенсивность аккумуляции ТМ, т/(км <sup>2</sup> /год)							
В Цимлянском водохранилище	0,3	0,4	0,0005	0,0007	0,003	0,009	0,002
В Ивановском водохранилище	1,73	—	0,003	—	—	—	—

## Общие выводы

1. Ежегодно в ЦВ в среднем поступает около 3,3 тыс. т ТМ в растворенном состоянии. Основные источники ТМ: сток реки Дон (93 % от всей массы ТМ), малые реки (4,77 %), абразия берегов (2,21 %).

2. В наибольшей степени подвижными формами ТМ загрязнены территории водосбора реки Дон, Донской Царицы и Аксая Курмоярского.

3. Максимальную экологическую опасность для водных ресурсов ЦВ представляет марганец (79 % от общего загрязнения, выраженного в единицах ПДК), а также железо и медь (в среднем по 8 % загрязнения).

4. За последние 20 лет интенсивность загрязнения ЦВ железом уменьшилась в 33 раза, марганцем — в 4 раза, медью — в 15 раз.

5. Идентифицированы внутриводоемные факторы самоочищения и вторичного загрязнения ТМ. Самоочищение происходит вследствие инициации коагуляционных процессов при смешении на Верхнем участке ЦВ аккумулярованных водных масс с водой Дона и малых рек. Оно протекает тем интенсивнее, чем больше отличаются водотоки по своей щелочности. Вторичное загрязнение наблюдается в осенне-летний период по причине активизации деструкции органических веществ и связанных с этим физико-химических процессов.

6. В ЦВ ежегодно аккумулируется в среднем 1,8 тыс. т ТМ (56 % от поступивших в водоем в составе водного стока). В сравнении с Ивановским водохранилищем интенсивность аккумуляции железа и меди в ЦВ меньше в 6 раз. Источником эко-

логического риска для экосистемы ЦВ является определенное расчетным путем загрязнение донных отложений кадмием, содержание которого выше допустимого для плодородных почв.

## Список литературы

1. **Вода России.** Водохранилища / Под ред. А. М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. — Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2001. — 700 с.
2. **Экологический вестник** Дона "О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2008 году". — Ростов-на-Дону: ООО "Синтез технологий", 2009. — 300 с.
3. **Агафонов Е. В., Полуэктов Е. В.** Почвы и удобрения в Ростовской области. — Персияновка, 1995. — 150 с.
4. **Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.** Микроэлементы в почвах и растениях. — М., 1989. — 439 с.
5. **Гидрометеорологический режим** озер и водохранилищ СССР. Цимлянское, водораздельные и Манычские водохранилища. — М.: Гидрометеоздат, 1977. — 204 с.
6. **Заболотная О. Н.** Геохимия марганца и хрома в агроландшафтах Ростовской области // Материалы IV Международной научной конференции "Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа" (ЮРГТУ (НПИ)), г. Новочеркасск, 4—6 февраля 2004 г.
7. **Бессонов О. А.** и др. Биогеохимический цикл тяжелых металлов в экосистеме Нижнего Дона. — Ростов н/Д, РГУ, 1991. — 121 с.
8. **Дмитриев В. В., Фрумин Г. Т.** Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. — СПб., 2004. — 294 с.
9. **Даувальтер В. А.** Концентрации металлов в донных отложениях кислых озер / Водные ресурсы. — 1998. — Т. 25, № 3. — С. 358—365.
10. **Разгулин С. М., Гапеева М. В., Литвинов А. С.** Баланс биогенных элементов и ионов в Рыбинском водохранилище в 1980 г. // Труды ИБВВ. — Вып. 50 (53). — С. 81—91.
11. **Красинцева В. В.** и др. Процессы и формы нахождения химических элементов в поровых водах донных отложений в Ивановском водохранилище // Геохимия. — 1988. — № 9. — С. 1342—1355.

УДК [614.8.084:37]:001.8(043)

**В. И. Евдокимов**, д-р мед. наук, проф., Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А. М. Никифорова МЧС России, г. Санкт-Петербург;  
**Л. Н. Панфилова**, ст. препод., Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы МЧС России  
 E-mail: evdok@omnisp.ru

## Динамика и структура педагогических диссертационных исследований по безопасности жизнедеятельности в России

*Рассмотрены результаты анализа 215 педагогических диссертаций, в которых исследовались дидактические проблемы безопасности жизнедеятельности дошкольников и школьников, студентов вузов и сузов, специалистов, а также проблемы формирования учебного предмета "Безопасность жизнедеятельности".*

**Ключевые слова:** науковедение, педагогические диссертации, безопасность жизнедеятельности, школьники, студенты.

**Evdokimov V. I., Panfilova L. N. Trends over time and a structure of pedagogical dissertation research on the safety of living in Russia**

*There were studied 215 pedagogical theses that comprised. Didactic problems of formation of safety of living in pre-school and schoolchildren were reflected, in students of higher institutions and colleges in professionals, design and implementation of the "Safety of living" tutorial.*

**Keywords:** science of science, pedagogical theses, safety of living, schoolchildren, students.

### Введение

Диссертация (*dissertatio*, лат. — рассуждение, исследование) — особый вид индивидуального исследовательского труда, который представляется для публичной защиты в ученом совете с целью получения ученой степени кандидата или доктора наук. Диссертация должна содержать совокупность новых научных положений и результатов, обладать внутренним единством и свидетельствовать о личном вкладе автора в науку [6].

Объектом изучения диссертаций по безопасности жизнедеятельности является опасность с целью защиты от нее. Безопасность — состояние защищенности отдельного человека, общества и окружающей среды от чрезмерной опасности, обусловленной экологическими, техногенными и природными факторами. Управление безопасностью осуществляется на основании рис-

кометрического анализа объекта управления с позиций "выгода—ущерб".

В последние годы на первое место выдвигаются теоретические аспекты безопасности жизнедеятельности, анализ причин, прогноз и предупреждение развития чрезвычайных ситуаций, которые в широком смысле слова реализуют опасность, угрожают жизни и здоровью людей. Дидактические проблемы по формированию безопасности жизнедеятельности, так же как и здоровьесберегающего поведения и здорового образа жизни, имеют важное значение в системе непрерывного образования человека:

- 1) в семье и в дошкольном воспитании детям представляются начальные навыки безопасности жизни;
- 2) на уроках в школе и дополнительном внеклассном образовании формируются основы безопасности жизнедеятельности;
- 3) в сузе и вузе студенты получают теоретические знания (практические навыки) по безопасности профессиональной деятельности и технологических процессов производства;
- 4) на производстве специалисты изучают вопросы безопасности профессиональной деятельности, охраны труда и профилактики производственного травматизма.

Следует указать также на необходимость разработки инновационных образовательных технологий по курсу "Безопасность жизнедеятельности" и послевузовского дополнительного образования преподавателей курса. Следует отметить, что рискометрические проблемы сохранения здоровья в техносфере и дидактические проблемы безопасности жизнедеятельности находят широкое отражение на страницах журнала "Безопасность жизнедеятельности" [1, 3, 7].

### Материалы и методы

Для изучения общего потока педагогических диссертаций использованы опубликованные данные В. Н. Неволлина [5], Д. И. Фельдштейна [8], государственный библиографический указатель "Летопись авторефератов диссертаций" [4], электронные каталоги Российской государственной библиотеки (РГБ,



Москва) [9], Российской национальной библиотеки (РНБ, Санкт-Петербург) [10].

Указанные библиотеки входят в список обязательной рассылки авторефератов диссертаций. Алгоритм поиска в РГБ позволяет оптимально и быстро определить годовую структуру кандидатских и докторских диссертаций, в РНБ — структуру диссертаций по специальностям.

Статистическая обработка результатов проведена с использованием программ Excel for Windows. В статье представлены средняя арифметическая величина и ошибка средней величины ( $M \pm m$ ).

### Результаты и их анализ

Динамика педагогических диссертаций в России изображена на рис. 1. При высоком коэффициенте детерминации  $R_2 = 0,92$  и со статистической достоверностью прогнозируется некоторое снижение педагогических диссертаций на ближайшую перспективу. В 1993—2009 гг. ВАК утверждены около 33,7 тыс. педагогических диссертаций, в том числе докторских — 3,3 тыс., кандидатских — 30,4 тыс. [5, 8, 9]. В указанный период ежегодно представлялись к рассмотрению в диссертационные советы по (2000  $\pm$  200) диссертаций, в 2005—2009 гг. — по (2700  $\pm$  200) работ. Педагогические диссертации в 1993—2009 гг. составляли около 8,1 % общего потока диссертаций в России, в том числе: кандидатских — 8,7 %, докторских — 5,3 %.

Докторских диссертаций в общем потоке педагогических работ в 1993—2009 гг. было 9,8 %, а соотношение кандидатских и докторских — 1 : 9,2. Выявлено снижение количества педагогических докторских диссертаций, например, в 1993—1999 гг. докторские диссертации составляли 12,4 %, а соотношение докторских и кандидатских диссертаций — 1 : 7, в 2000—2004 гг. соответственно 10,4 % и 1 : 8,6, в 2005—2009 гг. — соответственно 7,6 % и 1 : 12,3. Аналогичная тенденция наблюдается и в общем потоке диссертаций в России [6, 8].

Из общего потока педагогических диссертаций, рассмотренных в диссертационных советах России в

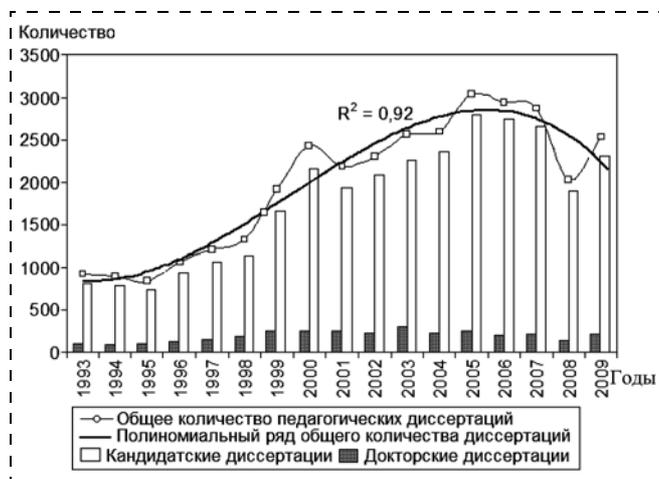


Рис. 1. Динамика педагогических диссертаций в России

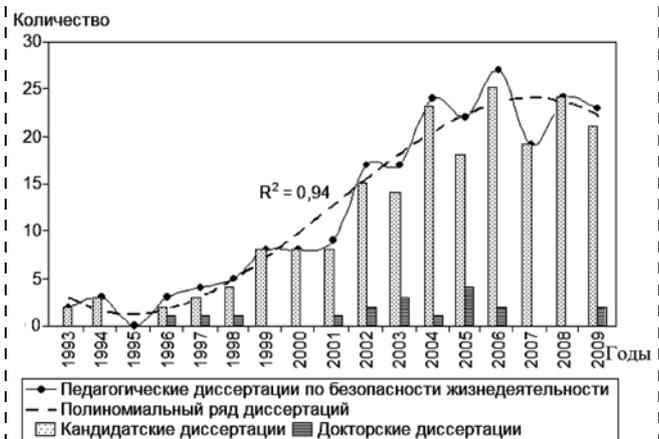


Рис. 2. Количественная динамика педагогических диссертаций по безопасности жизнедеятельности

1993—2009 гг., выбраны 215 [2, 10], в которых были отражены проблемы безопасности жизнедеятельности и которые составили около 0,6 % диссертаций отраслевого потока.

Количественная динамика педагогических диссертаций по проблемам безопасности жизнедеятельности, рассмотренных в диссертационных советах России в 1993—2009 гг., представлена на рис. 2. Полиномиальный ряд количественной динамики при коэффициенте детерминации  $R_2 = 0,94$  и со статистической значимостью показывает ее увеличение на ближайшую перспективу. В последнее пятилетие (2005—2009 гг.) ежегодно представлялось к рассмотрению (23  $\pm$  1) работ, в том числе докторских — (2  $\pm$  1), кандидатских — (22  $\pm$  1).

Сопряженность кривых количественной динамики педагогических диссертаций по безопасности жизнедеятельности и всех педагогических диссертаций высокие ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,001$ ). Докторские диссертации составили 8,4 %, а отношение докторских и кандидатских диссертаций — 1 : 11, что несколько ниже данных общего отраслевого потока педагогических диссертаций в России.

В структуре специальностей диссертаций по безопасности жизнедеятельности самый значимый вклад составляла специальность 13.00.08 "Теория и методика профессионального образования" — в 1,5 раза больше, чем в общем потоке педагогических диссертаций, что вполне закономерно, а диссертаций по специальности 13.00.04 "Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры" — в 1,5 раза меньше (см. таблицу). Можно полагать, что более широкое изучение дидактических проблем здоровьесберегающего поведения с применением сил и средств физической культуры и спорта будут формировать экологическое мышление, укреплять и сохранять здоровье у широких слоев населения страны, предупреждать вредные привычки и, тем самым, способствовать безопасности жизнедеятельности.

**Структура специальностей общего потока педагогических диссертаций в России (1)  
и диссертаций по безопасности жизнедеятельности (2) в 1993—2009 гг., %**

Шифр	Специальность	Содержание	1	2	$p_{1-2}$
13.00.01	Общая педагогика, история педагогики и образования	Исследование проблем философии образования, педагогической антропологии, методологии педагогики, теории педагогики, истории педагогики, истории педагогики и образования, этнопедагогики, сравнительной педагогики и педагогического прогнозирования	38	35	—
13.00.02	Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования)	Разработка теоретико-методологических основ теории, методики и технологии предметного образования (обучения, воспитания, развития) в разных образовательных областях, на всех уровнях системы образования в контексте отечественной и зарубежной образовательной практики	22	18	—
13.00.04	Теория и методика физического воспитания, спортивной тренировки, оздоровительной и адаптивной физической культуры	Изучение основных направлений теоретических, фундаментальных и прикладных исследований по научному обоснованию методологических подходов, средств, методов, нормативных требований, способов управления и организации, а также направленности таких компонентов системы физической культуры, как физическое воспитание, спорт, профессионально-прикладная, оздоровительная и адаптивная физическая культура	12	8	0,05
13.00.05	Теория, методика и организация социально-культурной деятельности	Исследование сущности, закономерностей и принципов развития, а также педагогических технологий развития личности и социальных общностей в условиях досуга, в контексте тех или иных социальных, культурно-исторических и национально-культурных ценностей	1	1	—
13.00.07	Теория и методика дошкольного образования	Разработка проблем содержания, форм, методов и средств воспитания, обучения и развития (психического, физического, интеллектуального и нравственно-эстетического) детей дошкольного возраста от рождения до перехода в школу в условиях деятельности разных видов дошкольных учреждений и управление этим процессом	1	1	—
13.00.08	Теория и методика профессионального образования	Исследование вопросов профессионального обучения, подготовки, переподготовки и повышения квалификации во всех видах и уровнях образовательных учреждений, предметных и отраслевых областях, включая вопросы управления и организации учебно-воспитательного процесса, прогнозирования и определения структуры подготовки кадров с учетом потребностей личности и рынка труда, общества и государства	23	35	<0,001

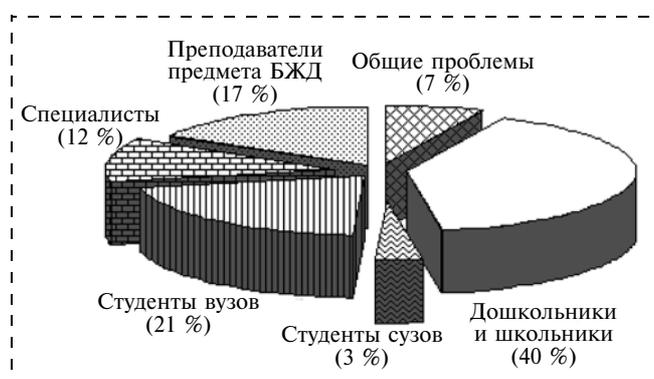
При участии Всемирного экспертно-аттестационного комитета, Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности и Международного института независимых педагогических исследований подготовлены шесть диссертаций, или 3 % по специальности 27.00.06 – "Педагогика безопасности жизнедеятельности". Заметим, что эта специальность не значится в номенклатуре специальностей научных работников России.

Структура объектов исследования в педагогических диссертациях по формированию безопасности жизнедеятельности представлена на рис. 3. Дидактическим основам формирования учебного предмета "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД), управлению профессиональным развитием педагогов в сфере обеспечения безопасности жизнедеятельности человека посвящены 36 диссертаций, или 17 % вклада в структуру общего потока диссертаций.

Наиболее часто объектами исследования являлись проблемы формирования безопасности жизнедеятельности у дошкольников и школьников (87 диссертаций, или 40 %), что вполне закономерно — формирование основ безопасности следует начинать в детском возрасте. В структуре объектов изучения в этой возрастной группе дидактические проблемы формирования безопасности жизнедеятельности у детей социально-

педагогических групп риска (воспитывающихся в неблагоприятных социальных условиях, употребляющих наркотики, алкоголь, склонных к бродяжничеству, к делинквентному поведению и т. д.) составили 40 %, у школьников средней школы — 36 % (рис. 4).

Следует также указать, что 19 работ (9 %) из изученного потока педагогических диссертаций по безопасности жизнедеятельности были посвящены формированию информационной безопасности, по шесть диссертаций (3 %) — экологической и эконо-



**Рис. 3. Структура объектов исследований в педагогических диссертациях по формированию безопасности жизнедеятельности, %**

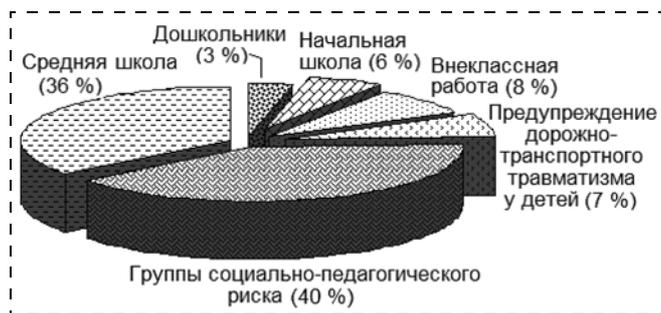


Рис. 4. Структура объектов исследований в педагогических диссертациях по формированию безопасности жизнедеятельности у дошкольников и школьников, %

мической безопасности, четыре работы (2 %) — навыкам охраны труда.

В заключение отметим, что формирование безопасности жизнедеятельности является актуальной педагогической проблемой.

#### Список литературы

1. Белов С. В., Готлиб Я. Г., Прусенко Б. Е. Состояние и совершенствование Российского образования подготовки научных кадров в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды // Безопасность жизнедеятельности. — 2007. — № 12. — С. 40–45.
2. Евдокимов В. И. Безопасность жизнедеятельности: библиогр. указ. отеч. автореф. пед. дис. (1993–2009 гг.) / Все-

рос. центр экстрен. и радиац. медицины им. А. М. Никифорова МЧС России. — СПб.: Политехника-сервис, — 2010. — 44 с.

3. Зиновьева О. М., Матрюков Б. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Дополнительное обучение учащихся, специалистов и руководителей образовательных учреждений в области обеспечения безопасности жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 2. — С. 47–51.
4. Летопись авторефератов диссертаций: гос. библиогр. указ. / Рос. кн. палата. — М., 1993–2009; 2010. — № 1–4.
5. Неволин В. Н. О некоторых тенденциях в аттестации кадров высшей научной квалификации // Бюл. ВАК Минобрразования РФ. — 2005. — № 5. — С. 2–6.
6. Об утверждении Единого реестра ученых степеней и ученых званий и Положения о порядке присуждения ученых степеней: Постановление Правительства РФ от 30 янв. 2002 г. № 74 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 12 авг. 2003 г. № 490, от 20 апр. 2006 г. № 227, от 4 мая 2008 г. № 330, от 2 июня 2008 г. № 424) [Электронный ресурс] // ВАК Минобрнауки РФ. — URL <http://vak.ed.gov.ru/docs/>
7. Ушаков И. Б., Бухтияров И. В., Солдатов С. К., Кукушкин Ю. А., Богомолов А. В., Сипаков А. С. Прогностические аспекты оценивания риска здоровью персонала химически опасных объектов // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 12. — С. 2–7.
8. Фельдштейн Д. И. О состоянии и путях повышения качества диссертационных исследований по педагогике и психологии // Бюл. ВАК Минобрнауки РФ. — 2008. — № 2. — С. 6–22.
9. Электронный каталог [Электронный ресурс] / Рос. гос. б-ка. — URL <http://www.rsl.ru/ru/s97/s339/>.
10. Электронный каталог [Электронный ресурс] / Рос. нац. б-ка. — URL <http://www.nlr.ru/poisk/>

УДК 331

Ю. Н. Хмельницкий, канд. техн. наук, зав. кафедрой, Б. В. Мусаткина, старший преподаватель, Омский государственный университет путей сообщения  
E-mail:iovv@mail.ru

## Кафедре "Безопасность жизнедеятельности и экология" Омского государственного университета путей сообщения — 45 лет

Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС) в декабре 2010 г. отмечал свой 110-летний юбилей. Кафедра "Безопасность жизнедеятельности и экология" образована 45 лет назад. В статье приведена краткая историческая справка о деятельности кафедры, ее профессорско-преподавательском составе, учебно-методической и научно-исследовательской работе, концепции дальнейшего развития.

**Ключевые слова:** безопасность жизнедеятельности, охрана труда, экология, кафедра, учебная работа, научные исследования.

*Khmelnitskiy Yu. N., Musatkina B. V. Of chair "Safety of ability and ecology" — of Omsk state transport university — 45 years*

*Omsk state transport university (OSTU) in december, 2010 celebrates the 110-year-old anniversary. The chair "Safety of ability to live and ecology" is formed 45 years ago. In article the short historical inquiry on chair activity, its faculty, educational, methodical and research work, the concept of the further development is resulted.*

**Keywords:** safety of ability, labor safety, ecology, chair, study, scientific researches.



Омский государственный университет путей сообщения (ОмГУПС) — одно из старейших учебных заведений в Сибири — в декабре 2010 г. отмечал свой 110-летний юбилей. Его образование связано со строительством великой Транссибирской магистрали, создавшим потребность в квалифицированных специалистах железнодорожного транспорта. С 1900 г. началась подготовка инженеров паровозного и вагонного хозяйств в г. Томске; с 1961 г. она продолжилась в г. Омске.

Сегодня ОмГУПС — это многопрофильный вуз, ведущий подготовку бакалавров, специалистов, магистров по широкому спектру образовательных программ высшего профессионального образования. В состав университетского комплекса входят два филиала, включающих в структуру техникумы железнодорожного транспорта; три института, шесть факультетов и 28 кафедр, где обучается свыше 13 тыс. студентов. Одной из ведущих кафедр университета является кафедра "Безопасность жизнедеятельности и экология".

### 1. Краткая историческая справка

До образования специализированной кафедры занятия по технике безопасности, промышленной санитарии и противопожарной технике в Томском электромеханическом институте инженеров транспорта (ТЭМИИТе) проводились сотрудниками кафедры "Вагоны и вагонное хозяйство" доцентом А. А. Брокком, преподавателями В. А. Пытляковым, Г. Ф. Гусевым, С. И. Капустиной. Замечательный лектор, всесторонне образованный человек А. А. Брок (совместно с Б. А. Заусайловым и Н. Г. Степановым) написал один из первых в стране учебников по охране труда "Основы техники безопасности и противопожарная техника на железнодорожном транспорте", вышедший в Москве в издательстве "Транспорт" в 1960 г.

3 мая 1965 г. образована кафедра "Техника безопасности и противопожарная техника на железнодорожном транспорте". 31 декабря 1965 г. кафедра была реорганизована в кафедру "Охрана труда". Первым заведующим кафедрой "Охрана труда" с 03.05.65 г. по 06.02.89 г. был доцент, кандидат технических наук Василий Филиппович Харламов — создатель учебных лабораторий, организатор "Народного университета охраны труда" на Ом-

ском отделении Западно-Сибирской железной дороги, где более 25 лет кафедра проводила занятия.

Кафедра "Охрана труда" выполняла учебную работу по дисциплинам: "Охрана труда на железнодорожном транспорте", "Советское право", "Общий курс железных дорог", "Правила технической эксплуатации железных дорог СССР". Учебный процесс, в том числе консультации раздела дипломных проектов, обеспечивался кафедрой на всех факультетах дневного и заочного обучения и на факультете повышения квалификации. При кафедре были оборудованы лаборатории "Условия труда" и "Электробезопасность", кабинет "Общий курс железных дорог". В лабораториях оснащены учебные места для выполнения 10 работ.

В разное время штатными сотрудниками кафедры избирались доценты А. Р. Сумин и В. Н. Пашков, старшие преподаватели П. А. Липская, Н. С. Стебляк, В. Г. Глозов, В. А. Курило, Б. П. Баталов, С. Н. Талызин, Я. Ф. Муляр, М. А. Ершов, С. В. Богданов, Л. Я. Уфимцева, Б. В. Мусаткина, О. В. Игнатов, преподаватели Ф. В. Букаев, Н. В. Аношко, И. М. Лапунов, А. А. Карасев, В. П. Великий.

С февраля 1989 г. кафедрой заведовал кандидат технических наук, доцент Олег Иванович Поздняков. 30 мая кафедра была реорганизована и получила название "Безопасность жизнедеятельности", в ее состав включен цикл "Гражданская оборона". 26 апреля 1996 г. она была преобразована в кафедру "Безопасность жизнедеятельности и экология" (БЖиЭ) и стала выполнять учебную работу по ряду следующих дисциплин: "Безопасность жизнедеятельности в нормальных ситуациях", "Безопасность жизнедеятельности в чрезвычайных ситуациях", "Экология", "Электробезопасность".

С декабря 2001 г. по сентябрь 2002 г. кафедрой заведовал доцент Валерий Артемьевич Курило. Ведущий специалист кафедры В. А. Курило работал государственным инспектором Министерства труда по Омскому отделению Западно-Сибирской железной дороги и советником государственной службы 2-го класса.

С сентября 2002 по сентябрь 2004 г. кафедрой заведовал профессор, д-р биол. наук Николай Игоревич Андреев. С сентября 2004 г. по настоящее время заведующим кафедрой "БЖиЭ" является проректор ОмГУПС по воспитательной работе и социальным вопросам, доцент, канд. техн. наук Юрий Николаевич Хмельницкий.

Основные направления научно-исследовательской работы кафедры в 1965—1989 гг.:

1. Анализ причин производственного травматизма в вагонных и локомотивных депо (Восточно-Сибирская, Красноярская, Западно-Сибирская, Южно-Уральская, Алма-Атинская железные дороги).

2. Исследование условий труда на рабочих местах предприятий железнодорожного транспорта и промышленных предприятий.

3. Анализ причин наездов подвижного состава на людей на путях железнодорожных станций и мероприятия по их предупреждению.

4. Обеспечение безопасности труда на электрифицированных участках переменного тока (БАМ, Крас-



ноярская, Южно-Уральская, Восточно-Сибирская железные дороги).

5. Технические средства для улучшения воздушной среды в помещениях баббито-заливочных цехов вагонных депо (Южно-Уральская, Западно-Сибирская, Восточно-Сибирская железные дороги).

Сотрудниками кафедры был разработан ряд рационализаторских предложений по техническим средствам, обеспечивающим предупреждение наездов подвижного состава на людей, и по электробезопасности на электрифицированных участках переменного тока.

Доцент В. Ф. Харламов — основной автор двух изданий книги "Охрана труда на железнодорожных станциях" (1972, 1986 гг.), опубликованных в издательстве "Транспорт", г. Москва.

Доцент А. Р. Сумин — специалист по электробезопасности, автор книги "Обеспечение электробезопасности на тяговых подстанциях переменного тока" (издательство "Транспорт", г. Москва, 1975 г.). Его докторская диссертация была принята во ВНИИЖТе, но не была защищена в связи со смертью автора.

Доцентом О. И. Поздняковым получено более 10 авторских свидетельств и патентов на изобретения, направленных на снижение травматизма на железнодорожном транспорте и повышение безопасности движения поездов.

В. Ф. Харламов, О. И. Поздняков и В. А. Курило были награждены знаком "Почетному железнодорожнику".

## 2. Развитие кафедры в 2000—2010 гг.

### 2.1. Учебно-методическая работа

В настоящее время кафедра выполняет учебную работу по дисциплинам: "Охрана труда на железнодорожном транспорте", "Безопасность жизнедеятельности", "Практическая техника безопасности", "Национальная безопасность", "Электробезопасность", "Экология", "Валеология".

Все новейшие лабораторные стенды имеют вновь разработанное учебно-методическое обеспечение, используются в учебном процессе.

Разработаны мультимедийные курсы лекций по дисциплинам "Практическая техника безопасности", "Национальная безопасность", "Охрана труда на железнодорожном транспорте".

В профессорско-преподавательский состав кафедры входят: два профессора, доктора биологических наук; один доцент, кандидат технических наук; три старших преподавателя; два преподавателя.

В 2003—2004 гг. на кафедре были созданы программные продукты — электронные издания, зарегистрированные в Государственном координационном центре информационных технологий отраслевого фонда алгоритмов и программ Министерства образования Российской Федерации (ОФАП). Получено два авторских свидетельства ОФАП.

В марте 2004 г. кафедра совместно с Омским отрядом вневедомственной охраны Западно-Сибир-

ской железной дороги участвовала в организации и проведении сетевой школы по охране труда Военизированной охраны МПС.

Сотрудники кафедры ведут занятия со слушателями Института повышения квалификации и переподготовки по охране труда, промышленной безопасности, экологии, электробезопасности, являются членами аттестационных комиссий ОмГУПСа по охране труда и промышленной безопасности.

### 2.2. Научные исследования

На кафедре ведется госбюджетная научно-исследовательская работа "Исследование опасных и вредных производственных факторов на предприятиях железнодорожного транспорта и разработка методов и средств защиты работающих от их воздействия" № ГР 01.9.500002207. В рамках госбюджетной НИР рассматриваются такие актуальные вопросы безопасности жизнедеятельности, как:

— анализ обеспечения требований безопасности труда на предприятиях Западно-Сибирской железной дороги;

— условия труда локомотивных бригад при работе на удлинённых плечах;

— прогнозирование и оценка электромагнитной нагрузки на работников контактной сети электрифицированных железных дорог;

— анализ средств и методов обеспечения электромагнитной безопасности;

— снижение негативного воздействия на окружающую среду объектов транспортной инфраструктуры.

В 2005—2009 гг. сотрудниками кафедры были проведены:

— четыре судебно-технические экспертизы (несчастные случаи на производстве) по просьбам Омской транспортной прокуратуры;

— одна экологическая экспертиза по лимитам добычи беспозвоночных в водоемах Омской области.

Общим направлением научных исследований профессором Н. И. Андреева и С. И. Андреевой является фауна и экология пресноводных моллюсков Западной Сибири.

Профессор, д-р биол. наук Н. И. Андреев является автором более 120 научных трудов в области биоэкологии, в том числе трех монографий; получил грант фонда Кэтрин и Джона Мак-Артуров и два гранта фонда Джорджа Сороса для экологических исследований.

Профессор, д-р биол. наук С. И. Андреева является автором 126 научных работ, в том числе трех монографий; ряда публикаций в иностранных экологических изданиях. Под ее руководством защищены две диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук, три аспиранта готовятся к защите. С 2001 по 2009 г. профессор С. И. Андреева руководила работой коллектива сотрудников Музея водных моллюсков Сибири, куда приезжали и продолжают приезжать аспиранты, молодые исследователи Алтая, Урала, Западной Сибири.

Профессора Андреев Н. И. и Андреева С. И. поддерживают международные научные связи с зарубежными исследователями — малакологами из Германии, Украины, ряда стран Западной Европы.

Дальнейшее развитие научных исследований на кафедре идет по следующим направлениям:

- влияние антропогенного эвтрофирования на водные экосистемы в целом и моллюсков в частности;
- анализ негативного воздействия на окружающую среду устройств токосъема электрического транспорта и разработка эффективных мероприятий по его минимизации;
- совершенствование методики оценки экологической и экономической эффективности применения альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания;
- проблемы энергосбережения и снижения вредных выбросов в окружающую среду при использовании водомазутного топлива на нагревательных печах кузнечного производства;
- исследование электромагнитной безопасности беспроводных телекоммуникационных систем.

За 2005—2010 гг. сотрудниками кафедры опубликованы 73 научных работы, в том числе: шесть отчетов о госбюджетной НИР, две монографии, четыре публикации в иностранных научных изданиях; два патента на полезную модель; пять статей в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертационных работ.

Зав. кафедрой Ю. Н. Хмельницкий является членом-корреспондентом Петровской академии наук и искусств, членом Координационного общественного Совета при мэре г. Омска (секция по вопросам безопасности, экологии и охраны окружающей среды).

Кафедра постоянно организует научно-исследовательскую работу студентов. Ежегодно проводятся научно-технические студенческие конференции с работой секций "Безопасность жизнедеятельности" и "Экология", в которых принимают участие студенты 1—5 курсов всех факультетов и институтов ОмГУПС. Тематика докладов, представленных на секции, вызывает интерес у слушателей. Количество участников (докладчиков и слушателей) студенческих конференций за период 2003—2010 гг. составило 453 человека, или в среднем ежегодно 57 человек.

В 2008—2010 гг. восемь студентов и аспирантов ОмГУПС в очной и заочной формах участвовали в одной международной и двух межвузовских научных конференциях по проблемам экологии и безопасности жизнедеятельности (гг. Омск, Новосибирск, Томск) с публикациями тезисов докладов и статей в сборниках трудов. В качестве научных руководителей выступали профессор Н. И. Андреев, старший преподаватель Б. В. Мусаткина.

### 2.3. Развитие материально-технической базы

В 2000 г. в соответствии с планом развития университета кафедра переехала в третий лабораторный корпус, где ей были отведены учебные помещения и кабинеты общей площадью 128 м<sup>2</sup>.

На 2000 г. на балансовой стоимости оборудования было на 40,637 тыс. руб. В настоящее время материальный баланс кафедры составляет 3 005,75 тыс. руб.

За указанный период для лабораторий кафедры приобретены:

- робот-тренажер "Гоша" для обучения приемам оказания первой помощи пострадавшим от действия электрического тока (с компьютерной имитационной программой);
- сертифицированные лабораторные стенды (восемь наименований), рекомендованные Примерными программами дисциплин "Безопасность жизнедеятельности" и "Охрана труда";
- современные приборы контроля факторов производственной среды (17 наименований).

В лаборатории "Условий труда" установлена действующая приточно-вытяжная вентиляционная установка, используемая в лабораторной работе "Исследование эффективности и паспортизация вентиляционных установок".

**Концепция дальнейшего развития кафедры** предполагает перечисленные ниже направления деятельности.

- Системный подход и совершенствование методики преподавания дисциплин с целью формирования у будущих специалистов мировоззрения о неразрывном единстве эффективной профессиональной деятельности и безопасности и защищенности человека.
- Отражение в учебном процессе новейших научных и технологических достижений в области охраны труда и экологии и увязка их с отраслевыми проблемами.
- Постоянное обновление законодательной и нормативно-правовой базы документов, используемых в образовательном процессе.
- Дальнейшее внедрение в учебный процесс мультимедийных технологий.
- Подготовка кадров высшей научной квалификации.
- Увеличение контингента студентов, участвующих в НИР в области экологии и безопасности жизнедеятельности; активизация самостоятельной исследовательской работы студентов с представлением результатов на всероссийских, региональных и межвузовских конференциях.
- Отражение в тематике госбюджетных НИР актуальных проблем охраны труда и промышленной безопасности на железнодорожном транспорте.
- Совершенствование и обновление материально-технической базы в соответствии с планами развития университета.

## Переход на многоуровневую систему высшего образования идет по плану (О совещании УМС "Техносферная безопасность")

18 октября 2010 г. в МГТУ им. Н. Э. Баумана состоялось расширенное совещание Учебно-методического совета "Техносферная безопасность", на котором рассматривался ход разработки примерных основных образовательных программ (ПООП) по профилям подготовки бакалавров в рамках направления "Техносферная безопасность".

Совещание вступительным словом открыл председатель УМС "Техносферная безопасность", зав. кафедрой БЖД МГТУ им. Н. Э. Баумана проф. Павлихин Г. П. О подготовленных версиях ПООП по отдельным профилям выступили их разработчики: по профилю "Безопасность технологических процессов и производств" зав. кафедрой БЖД СПГПУ доц. Ефремов С. В., которому, как первому докладчику, было задано больше всего вопросов; по профилю "Защита в чрезвычайных ситуациях" — начальник методотдела АГЗ МЧС России Бойцов И. Г.; по профилю "Пожарная безопасность" начальник методотдела АГПС МЧС России Баскаков С. В.; по профилю "Защита окружающей среды" — зам. председателя УМК ЗОС, проф. МАТИ—РГТУ им. К. Э. Циолковского Дмитренко В. П.; по профилю "Охрана природной среды и ресурсосбережение" — зав. кафедрой БЖД УГАТУ проф. Красногорская Н. Н.; по профилю "БЖД в техносфере" — зам. председателя УМС, доц. кафедры БЖД МГТУ им. Н. Э. Баумана Девисилов В. А.

Представленные ПООП были подвергнуты серьезному анализу со стороны членов УМС и приглашенных лиц. Общее количество присутствующих составило 58 человек. В вопросах и выступлениях отмечалось беспокойство по реальному

внедрению программ, их соответствию требованиям "электронных шаблонов", связанных переводом зачетных единиц (допустим, по физ. культуре) в учебные часы, возможности перехода с одного образовательного маршрута на другой, о легитимности имеющихся лицензий и т. д.

Обстоятельные ответы на многие вопросы были даны в выступлении зам. председателя УМО по университетскому политехническому образованию Коршунова С. В. К наиболее существенным разъяснениям можно отнести следующие ответы. ПООП по профилям будут подписываться ректором базового вуза, т. е. разработчиком ФГОС. Минобрнауки России число профилей не ограничивает, но они должны быть полностью готовы до конца календарного года. Вузы могут выбирать профиль, который имеется в стандарте. Для нового профиля нужно создавать новую инновационную площадку. Лицензии сохраняются только у "переходников", т. е. тех бакалаврских программ, которые совпадают по названию с действующими специальностями. Если студент учился на специалиста, то защищать выпускную работу на бакалавра нельзя. Во всем мире в крупнейших вузах наблюдается тенденция увеличения доли магистров и аспирантов в общем выпуске.

Совещание приняло к сведению представленные проекты ПООП и рекомендовало закончить всю работу с учетом критических замечаний до конца текущего года, назначив промежуточный контрольный рубеж 5 ноября сего года.

*Член УМС проф. Малаян К. Р.*

### Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

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

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

**Телефон редакции журнала (499) 269-5397, тел./факс (499) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>**  
**Телефон главного редактора (812) 670-9376, e-mail: [rusak-maneb@mail.ru](mailto:rusak-maneb@mail.ru)**

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *М. Г. Джавадян*

Сдано в набор 15.11.10. Подписано в печать 23.12.10. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,14. Заказ 13.

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.