



БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

9(117)
2010

Редакционный совет:

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

Главный редактор
РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора
ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь
ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

- Гоман В. В., Васендин В. Н.** Электромагнитные поля частотно-регулируемого электропривода и их влияние на производственный персонал 2
- Гусев С. А.** Математическое выражение зависимости уровня противорадиационной защиты оператора от габаритно-массовых параметров шасси гусеничного трактора 6
- Ким К. К., Спичкин Г. Л., Воробьев К. В.** Новые подходы к повышению качества воздуха помещений 11

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

- Бажин В. Ю., Власов В. В., Патрин Р. К.** Утилизация техногенных отходов электролизного производства алюминия 18
- Добряков А. В., Голованчиков А. Б.** Очистка сточных вод от радиоактивных изотопов 22
- Климов Е. С., Давыдова О. А., Бузаева М. В., Семенов В. В., Подольская З. В., Ваганова Е. С., Шарифзянов Р. Б., Ваганов А. С.** Экологическая безопасность ферритизированных гальванических шламов 26
- Ксенофонтов Б. С., Капитонова С. Н., Козодаев А. С., Таранов Р. А., Морозов С. Д.** Возможности доочистки сточных вод с использованием комбинированных флотомашин с фильтрующими элементами 32
- Малочкина Е. И., Афанасьева А. А., Назаренко Д. И., Швецова-Шиловская Т. Н.** Моделирование распространения экотоксикантов в окружающей природной среде 38

ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ

- Кукушкин Ю. А., Солдатов С. К., Богомолов А. В., Шмакова Л. В.** Определение вероятности возникновения первичных травм при воздействии ударной волны 43

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

- Андропова А. В., Трефилова А. В., Артамонова М. С., Иорданский М. А., Гинзбург А. С., Гранберг И. Г., Минашкин В. М., Обвинцев Ю. И.** Дисперсный состав и содержание химических элементов в аэрозолях приземного слоя атмосферы Москвы 47
- Зенина Т. Л.** Состояние пожарной безопасности в сельской местности Ивановской области 51

СТАНДАРТИЗАЦИЯ

- О национальном стандарте "Экологический менеджмент. Воздействующие факторы. Классификация"** 54
- Приложение. Белов С. В., Симакова Е. Н.** Ноксология. Учебное пособие. Выпуск 4

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

УДК 504.06:537.212; 504.06:537.612; 504.06:537.53

В. В. Гоман, канд. техн. наук, доц., **В. Н. Васендин**, канд. техн. наук,
Нижнетагильский технологический институт (филиал) ГОУ ВПО "Уральский
государственный технический университет — УПИ имени первого президента России
Б. Н. Ельцина"
E-mail: vvg_electro@hotmail.com

Электромагнитные поля частотно-регулируемого электропривода и их влияние на производственный персонал

Описаны результаты экспериментальных исследований электромагнитных полей частотно-регулируемых электроприводов. Показано, что применение данных электроприводов приводит к повышению уровней электромагнитных полей в производственных помещениях.

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, электромагнитное поле, электромагнитная совместимость, электромагнитная обстановка.

Goman V. V., Vasendin V. N. Electromagnetic fields of variable-frequency electric drive and its effect on factory personnel

The article describes results of variable-frequency electric drives electromagnetic fields experimental investigations. Usage of this electric drives result in increasing of electromagnetic fields levels in working areas.

Keywords: variable-frequency electric drive, electromagnetic field, electromagnetic compatibility, electromagnetic environment.

В настоящее время все большее применение в промышленности находит частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Хорошо известными его недостатками являются искажение формы напряжения источника питания, а также наличие ряда гармоник напряжения преобразователя частоты и тока электродвигателя, что требует принятия мер по обеспечению электромагнитной совместимости (как между элементами электропривода, так и с другими потребителями) [5].

Выходное напряжение преобразователя частоты представляет собой высокочастотную последовательность прямоугольных импульсов различной полярности и длительности с одинаковой амплитудой. Крутизна фронта импульсов напряжения определяется скоростью переключения силовых

ключей, которая для широко применяемых GBT-транзисторов составляет 0,05...0,1 мкс [5].

Таким образом, основными причинами проблем электромагнитной совместимости являются широтно-импульсная модуляция (ШИМ) и быстрое переключение транзисторов инвертора, что приводит к возникновению широкополосного спектра помех, которые воздействуют на окружающую среду [5].

При этом существуют производственные объекты, где воздействию присущих частотно-регулируемому электроприводу электромагнитных полей (ЭМП) может подвергнуться персонал. Электроприводы данных объектов (например, подъемно-транспортных механизмов, электротранспорта) зачастую имеют значительную мощность, а их элементы расположены в непосредственной близости от операторов. К числу таких объектов можно отнести и учебно-лабораторные стенды по электрическим машинам и электроприводу (несмотря на их невысокую мощность), так как их элементы, как правило, расположены на рабочем столе рядом со студентами и преподавателями.

В технической литературе проблема электромагнитной совместимости частотно-регулируемого электропривода в основном рассматривается с точки зрения снижения потерь энергии, повышения коэффициента мощности, коэффициента полезного действия и надежности электропривода, а вопросам воздействия ЭМП на человека уделяется немного внимания, несмотря на признаваемое производителями и специалистами наличие воздействия ЭМП частотно-регулируемого электропривода на окружающую среду.

Долгие годы считалось, что электромагнитные поля оказывают на организм лишь тепловое воздействие, а ЭМП имеющихся техногенных источников, особенно в области низких частот, обладают слишком малой энергией, чтобы оказывать заметное влияние на человеческие ткани. Однако

уже в 50—60-е годы XX века особенно благодаря вкладу ученых Ленинградского института гигиены труда и профзаболеваний, проводивших массовые обследования здоровья персонала, обслуживающего высоковольтные подстанции и некоторые другие мощные электроэнергетические установки, была установлена достаточно устойчивая корреляция между временем нахождения персонала в зоне действия электромагнитного поля и наличием ряда неврологических нарушений организма (головная боль, раздражительность, повышенная утомляемость), а также расстройства сердечно-сосудистой и пищеварительных систем [7]. В настоящее время считается установленным факт воздействия на организм ЭМП даже незначительной интенсивности [2].

Доказано, что организм человека реагирует на электромагнитное воздействие довольно сложным образом. Кроме того, исследования последних десятилетий показали, что во многих практических случаях организм оказывается более чувствительным к магнитным полям, чем к электрическим.

Многие специалисты считают достаточно медицински обоснованным предельно допустимым уровнем (ПДУ) магнитной индукции низкочастотных полей значение 0,2 мкТл [2]. В частности, в Швеции данное значение официально принято в качестве ПДУ, также оно рекомендовано в качестве ПДУ Всемирной организацией здравоохранения.

Вместе с тем магнитная индукция многих полей антропогенного происхождения превышает данное значение. При этом установлено, что при продолжительном облучении электромагнитными полями, превышающими 0,2...0,4 мкТл (несколько часов в день, особенно в ночные часы, в течение периода более года) весьма вероятно развитие онкологических заболеваний. Данный факт установлен в результате проведенных независимо друг от друга исследований специалистами разных стран (Швеция, США, Дания, Польша, Норвегия, Франция, Канада, Россия) для ЭМП источников диапазона 0...3 кГц [2].

Вопросы воздействия на человека электромагнитных полей высоковольтных линий электропередач, трансформаторных подстанций, распределительных устройств, кабельных линий и различного электрооборудования исследуются достаточно давно и подробно освещены в литературе, например [1, 4, 6], в том числе в публикациях последних лет. В частности еще в 70-х годах XX века для населения СССР были введены жесткие нормативы по электрическим полям промышленной частоты, по настоящее время являющиеся одними из самых жестких в мире. Они изложены в СанПиН 2971—84 "Защита населения от воздействия электрического поля, создавае-

мого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты".

Ввиду изложенного выше было проведено экспериментальное исследование уровней электромагнитных полей частотно-регулируемых электроприводов. Целью экспериментов являлось выявление основных зависимостей уровней электромагнитного поля от режима работы и параметров электропривода, а также сопоставление полученных уровней электромагнитного поля с нормативными значениями (ПДУ).

Измерения производились на следующих объектах:

— лабораторная установка № 1 (в составе типового комплекта учебно-лабораторного оборудования), состоящая из асинхронного двигателя номинальной мощностью 370 Вт с номинальным током 1,37 А и преобразователя частоты номинальной мощностью 0,4 кВт с номинальным током 1,8 А в режиме скалярного управления (поддержание постоянного соотношения напряжения и частоты $U/f = \text{const}$).

— лабораторная установка № 2, состоящая из асинхронного двигателя номинальной мощностью 1,1 кВт с номинальным током 2,74 А и преобразователя частоты номинальной мощностью 2,2 кВт с номинальным током 5,6 А также в режиме скалярного управления.

Используемые измерительные приборы: комплект "Циклон", измерители ИМП-05, ИЭП-05, погрешность измерений в пределах 20 %. Приборы позволяют производить измерение в двух диапазонах: 5...2000 Гц и 2...400 кГц. Следует отметить, что данные диапазоны не охватывают высокочастотную часть спектра ЭМП, свойственную рассматриваемым электроприводам.

В ходе экспериментов были получены следующие результаты:

1. Индукция магнитного поля в диапазоне 1 ($B_{Д1}$) на расстояниях менее 1 м от асинхронного двигателя выше на 15...20 % при питании от преобразователя частоты, по сравнению с питанием от сети при том же токе электродвигателя.

2. Индукция магнитного поля в диапазоне 2 ($B_{Д2}$) на расстоянии 0,01...0,1 м от асинхронного двигателя в 2—4 раза (в зависимости от расстояния и направления) выше при питании от преобразователя частоты, по сравнению с питанием от сети при том же токе электродвигателя. На расстояниях 0,1...0,5 м превышение не столь значительно, всего в 1,5—2 раза. На расстояниях более 0,5 м значения $B_{Д2}$ во всех случаях совпадают с фоновыми уровнями магнитного поля.

3. Уровни электрических полей достаточно малы и слабо зависят от наличия или отсутствия преобразователя частоты в цепи питания асинхронного двигателя. На расстояниях более 0,2 м напряженность электрического поля соответствует

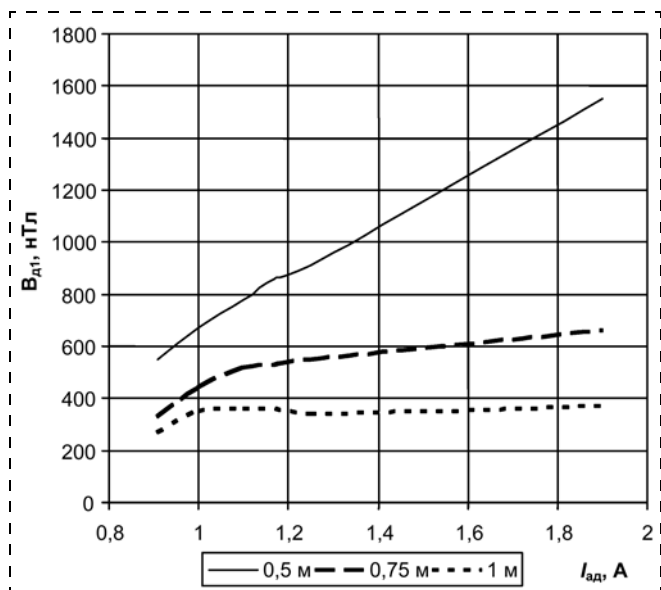


Рис. 1. Зависимость магнитной индукции (диапазон 1) от тока электродвигателя

фоновому уровню. Максимальное значение 60 В/м наблюдается у поверхности асинхронного двигателя (возле клеммной коробки).

4. Наблюдается зависимость индукции магнитного поля от тока электродвигателя (от нагрузки). На рис. 1 показан график изменения магнитной индукции в диапазоне 1 от тока асинхронного двигателя при задании на пониженную скорость вращения (при частоте 10 Гц) на различных расстояниях от электродвигателя. Значения, соответствующие токам 0,9...1,2 А, получены на установке № 1, значения при токах 1,2...1,9 А — на установке № 2.

5. При уменьшении задания на скорость (т. е. частоты выходного напряжения преобразователя частоты с 50 Гц до 10 Гц) индукция $B_{Д1}$ заметно увеличивается (рис. 2, а), а индукция $B_{Д2}$ уменьшается (рис. 2, б).

6. Зависимость магнитной индукции от расстояния до электродвигателя показана на рис. 3 (индукция в диапазоне 1) и рис. 4 (индукция в диапазоне 2). Замеры проводились на высоте рабочего стола, на котором установлено оборудование (0,75 м). Для обработки (интерполяции) данных и построения графиков использовались возможности среды MATLAB.

Картина электромагнитного поля (в виде линий уровня) на рис. 3 получена на реальном рабочем месте учебно-лабораторного стенда, с учетом взаимного влияния асинхронного двигателя АД, преобразователя частоты, питающего кабеля и дополнительного электрооборудования и цепей стенда. Картина на рис. 4 показана только для пространства возле электродвигателя.

На расстояниях более 0,7...1 м значения индукции $B_{Д1}$ приближаются к рекомендуемому ПДУ 0,2 мкТл.

На расстояниях менее 0,3...0,4 м значения индукции $B_{Д1}$ превышают 2 мкТл, что находится за пределами верхней шкалы используемого прибора.

7. На уровень ЭМП влияет также частота коммутации ключей инвертора. При повышении частоты коммутации с 4 до 16 кГц индукция $B_{Д1}$ изменяется мало, а $B_{Д2}$ значительно снижается (в 1,5–2 раза). Также с ростом частоты коммутации снижается уровень шума, исходящего от электродвигателя.

8. Практически во всех рассмотренных случаях значения магнитной индукции на расстояниях до 0,5 м превышали 0,2 мкТл (200 нТл). Однако, если за основу брать нормативы СанПиН 2.2.4.1191–03 "Электромагнитные поля в производственных условиях", то значения находятся в допустимых пределах (100 мкТл).

В экспериментальных исследованиях были задействованы электроприводы учебно-лаборатор-

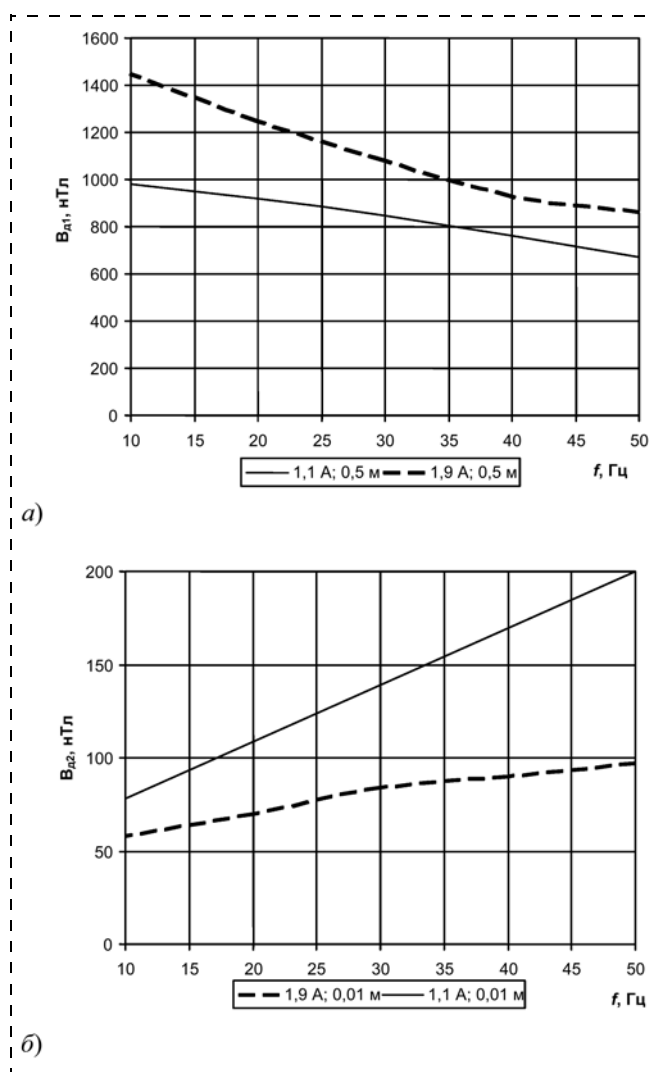


Рис. 2. Зависимость магнитной индукции от выходной частоты: а — в диапазоне 1; б — в диапазоне 2

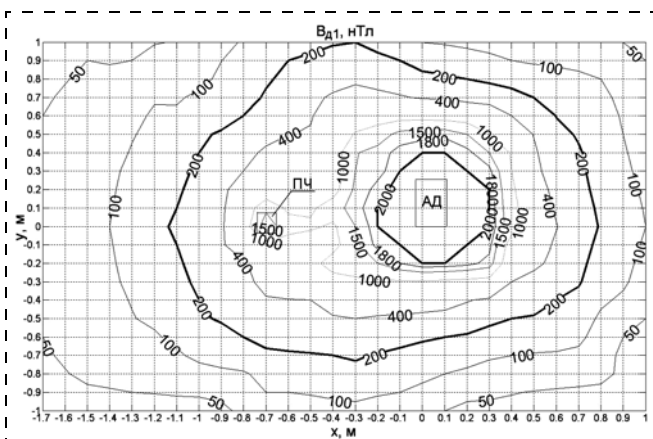


Рис. 3. Линии уровня магнитной индукции в диапазоне 5...2000 Гц

ных стендов малой мощности. С нашей точки зрения, предполагая линейную зависимость магнитной индукции от тока (согласно СанПиН 2.2.4.1191—03) и с учетом экстраполяции графиков на рис. 1, можно сделать вывод, что ПДУ магнитного поля промышленной частоты 100 мкТл на расстоянии 0,5 м будет превышен при токах электродвигателей более 100 А, что приблизительно соответствует мощности электропривода около 50 кВт. На больших расстояниях (0,75...1 м) это значение будет достигнуто при больших токах (300...500 А).

9. Следует также учитывать еще одну особенность частотно-регулируемых электроприводов — наличие специфического шума высокой частоты, исходящего от электродвигателя. Причиной его являются непрерывные изменения магнитной индукции, вызванные ШИМ, которые приводят к незначительным изменениям длины листов сердечника статора (эффекту магнитострикции) [5]. Таким образом, проблемы влияния электромагнитного поля и шума частотно-регулируемых электроприводов на персонал обусловлены одним и тем же явлением и должны решаться в комплексе.

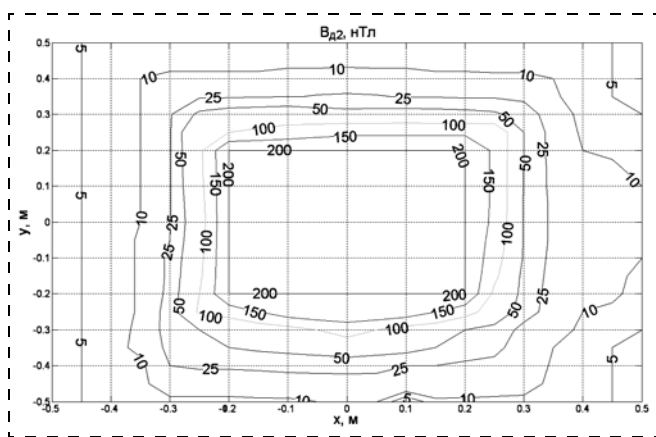


Рис. 4. Линии уровня магнитной индукции в диапазоне 2...400 кГц

Выводы

Применение частотно-регулируемого электропривода приводит к повышению уровней электромагнитных полей в производственных помещениях, что подтверждают результаты, изложенные в пп. 1, 6, 8. При этом имеется ряд специфических зависимостей магнитной индукции от режима работы и параметров электропривода, подробнее описанных в пп. 4, 5, 7. Для некоторых категорий электроприводов требуется учет указанных особенностей.

Предполагается дальнейшее применение результатов работы для разработки рекомендаций и предложений по следующим направлениям:

1. Аттестация рабочих мест. Согласно СанПиН 2.2.4.1191—03 следует проводить замеры ЭМП при максимальной мощности источника, т. е. при наилучших условиях. Определить необходимые условия измерения или наиболее подходящий момент для этого возможно при использовании изложенных результатов.

2. Проектирование частотно-регулируемого электропривода на этапе выбора компоновочных решений.

3. Эксплуатация частотно-регулируемого электропривода при настройке параметров преобразователей частоты.

Список литературы

1. Довбыш В. Н., Маслов М. Ю., Сподобаев Ю. М. Электромагнитная безопасность элементов энергетических систем: Монография. — Самара: ООО "ИПК "Содружество", 2009. — 198 с.
2. Григорьев О. А., Григорьев Ю. Г., Степанов В. С., Пальцев Ю. П. Возможные отдаленные последствия воздействия электромагнитных полей на население // Электромагнитное загрязнение окружающей среды и здоровье населения России: серия докладов по политике в области охраны здоровья населения; Под ред. А. К. Демина. — М.: Российская ассоциация общественного здоровья, 1997. — 91 с.
3. Григорьев О. А., Бичелдей Е. П., Меркулов А. В., Степанов В. С., Шенфельд Б. Е. Определение подходов к нормированию воздействия антропогенного электромагнитного поля на природные экосистемы // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений: сборник трудов. — М.: РУДН, 2003. — С. 46—74.
4. Григорьев О. А., Петухов В. С., Меркулов А. В. Магнитное поле промышленной частоты в условиях непромышленного воздействия: источники и методология инструментального контроля // Ежегодник Российского национального комитета по защите от неионизирующих излучений: сборник трудов. — М.: РУДН, 2003. — С. 85—105.
5. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М. П. Белов, О. И. Зементов, А. Е. Козырук и др.; Под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. — М.: Издательский центр "Академия", 2006. — 368 с.
6. Сподобаев Ю. М., Кубанов В. П. Основы электромагнитной экологии. — М.: Радио и связь, 2000. — 240 с.
7. Электромагнитные поля в биосфере / Под ред. Н. В. Красноросской. — М.: Наука, 1984.



УДК 331.45:331.435:623.437.425

С. А. Гусев,

канд. техн. наук, гл. конструктор, ООО "ЧТЗ "Уралтрак"

E-mail: gskb@chtz.uic.ru

Математическое выражение зависимости уровня противорадиационной защиты оператора от габаритно-массовых параметров шасси гусеничного трактора

На основе предлагаемой методики расчета получена формула, позволяющая при минимуме исходных данных оперативно определять значение уровня противорадиационной защиты (ПРЗ) оператора узлами шасси трактора. Показана оценка влияния размеров шасси и места расположения оператора на уровень его защиты от гамма-излучений грунта. Используя предлагаемую методику, можно оценить влияние узлов шасси на уровень ПРЗ оператора различных гусеничных или колесных машин.

Ключевые слова: противорадиационная защита, защитный экран шасси гусеничного трактора, мощность дозы и энергия гамма-излучения, кратность ослабления излучения.

Gusev S. A. Mathematical expression of the level of operator radiation protection vs. crawler chassis dimension-weight parameters

On the basis of the calculation procedure that has been put forward the formula is derived, which allows with the minimum basic data efficient evaluation of the radiation protection level (RPL) of an operator, which is ensured by the crawler chassis. The evaluation of the influence of chassis dimensions and operator location on the level of protection against ground gamma radiation was demonstrated. With the help of this calculation procedure the influence of the chassis units of various crawler and wheeled machines on operator RPL can be estimated.

Keywords: radiation protection, crawler chassis shield, dose rate and gamma energy, radiation attenuation ratio.

Проблема борьбы с радиоактивным загрязнением выдвигается на первый план среди других экологических проблем ввиду ее огромных масштабов и особо опасных последствий. Решение этой проблемы требует выполнения большого объема земляных и других работ с широким использованием тракторов и агрегатов на их базе

(бульдозеров, погрузчиков и т. д.) с противорадиационной защитой оператора.

Ряд известных методик оценки уровня защиты оператора от гамма-излучения (ГИ) радиоактивно зараженной местности (РЗМ) [1, 2, 3 и др.] не позволяет оценить ПРЗ, не имея данных по расположению и габаритно-массовым параметрам всех основных металлоемких узлов машины. Эти методики сложно использовать на начальном этапе проектирования при сопоставлении большого количества различных вариантов компоновки узлов машины или не имея конкретных данных по расположению отдельных узлов.

Очевидна необходимость упрощенной методики экспресс-оценки влияния шасси на уровень защиты оператора от ионизирующих излучений. Рассмотрим более подробно основные положения такой методики и примеры ее применения для решения практических задач, используя результаты, изложенные в статье [4], где показана и обоснована возможность использования при расчете уровня защиты оператора от ГИ РЗМ модели защитного экрана шасси гусеничного трактора в виде стального параллелепипеда.

Особенностью компоновочной схемы гусеничного трактора является то, что практически все металлоемкие узлы и агрегаты шасси (машины без кабины) расположены ниже рабочего места оператора. При этом они в определенной мере защищают оператора от ГИ грунта РЗМ.

При оценке ПРЗ узлами шасси гусеничного трактора примем следующие допущения по формализации основных признаков, влияющих на защиту оператора от излучения:

а) моноэнергетическое поле ГИ на грунте считаем бесконечно тонким диском с равномерным распределением радиоактивного источника с постоянным значением поверхностной плотности активности σ [МКи/см²];

б) координаты расчетных точек *A* и *B*, в которых определяется уровень биологической защиты человека от ГИ, выбираются на оси, перпендикулярной плоскости диска излучения и проходящей

через его центр, и соответствуют координатам точек *A* (уровень головы) и *B* (уровень низа живота) находящегося в кабине оператора;

в) защитный экран шасси гусеничного трактора класса 10...25 т представляется в виде стального параллелепипеда с размерами по длине и ширине, равными соответствующим размерам шасси в плане, с толщиной b_W , см, соответствующей приведенной к размерам экрана массе шасси, с положением центра тяжести от грунта, совпадающим с центром тяжести шасси;

г) проекции прямых, проходящих через точки *A* и *B* и края защитного экрана на грунте, должны находиться внутри диска — модели поля ГИ; эти проекции формируют на диске перекрытую защитным экраном шасси площадь в виде прямоугольника.

Графически формализация основных параметров шасси гусеничного трактора (рис. 1) и поля РЗМ для расчета уровня защиты оператора от ионизирующих излучений показана на рис. 2.

Линейные размеры L_W, B_W, Z, l, h, r с различными индексами, обозначенные на рис. 2, как правило, приводятся в метрах. Но при расчете по приведенным в данной статье формулам эти размеры могут быть подставлены с использованием одного типа дольных приставок (см, мм и т. д.), так как в формулах учитываются соответствующие относительные значения размеров.

Как видно из рис. 2, мощность дозы ГИ в расчетной точке определяется излучением, проходящим из двух условно выделенных зон РЗМ — не перекрытой и перекрытой шасси. Зона РЗМ, перекрытая шасси, на рис. 2 изображена в виде соответствующего расчетной точке общего заштрихованного прямоугольника, полученного исходя

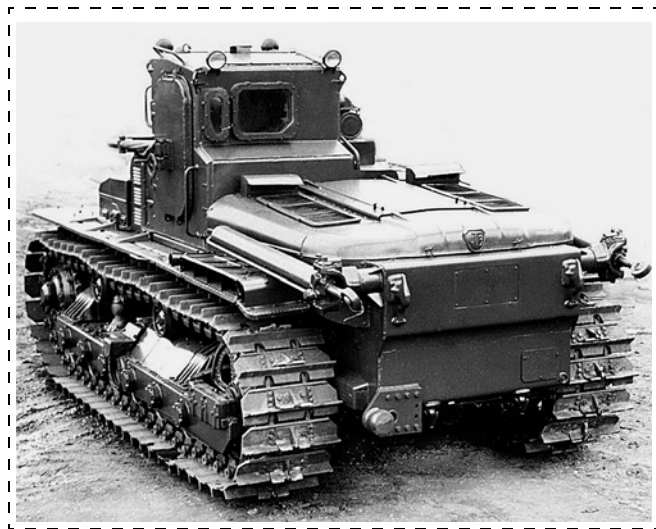


Рис. 1. Трактор ДЭТ-250М2 с защитной кабиной (с ПРЗ оператора)

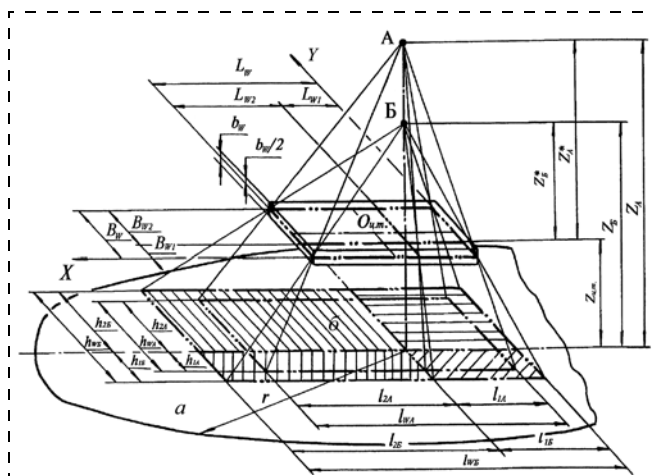


Рис. 2. Схема к расчету влияния шасси на уровень защиты оператора от ГИ грунта:

a — зона излучения, не перекрытая шасси; *b* — зона излучения, перекрытая шасси (разделенная на 4 части); L_W, B_W, b_W — габаритные параметры защитного экрана; Z — соответствующие расстояния по высоте до расчетных точек (Z_A, Z_B) или центра тяжести защитного экрана $Z_{Ц.т.}$; r — радиус диска излучения; h, l — соответствующие размеры зоны РЗМ, перекрытой шасси, для заданных расчетных точек

из условий в) и г) формализации признаков. Зона РЗМ, не перекрытая шасси, снаружи ограничена размерами излучающего диска, внутри — размерами зоны, перекрытой шасси (размерами заштрихованного прямоугольника).

Кратность ослабления излучения находящегося на грунте источника узлами шасси в расчетной точке определяется по формуле:

$$K_W = \frac{P_0}{(P_0 - P_1) + P_2}, \quad (1)$$

где P_0 — мощность дозы ГИ источника в виде диска (мощность дозы ГИ РЗМ), мР/ч; P_1 — мощность дозы ГИ прямоугольного источника из зоны, перекрытой шасси; P_2 — мощность дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси, за защитным экраном шасси.

Мощность дозы ГИ в точке *A* (*B*) при круговом распределении излучения

В данном случае используется формула [5]

$$P_{0i} = \pi P_\gamma \sigma \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}, \quad (2)$$

где P_γ — гамма-постоянная радиоактивного изотопа, $\text{Р} \cdot \text{см}^2 / (\text{ч} \cdot \text{мКи})$; i — индекс, означающий заданную точку (*A* или *B*).

При расчете уровня ПРЗ оператора любое бесконечное поле излучения можно представить в виде излучающего диска радиусом 300 м, с которого



снимается более 90 % мощности дозы излучения бесконечного поля [6]. Однако на практике, оценивая дозу излучения реальной РЗМ для ровной поверхности без глубинного распределения с учетом травяного покрова и неровностей на поверхности грунта, рекомендуется уменьшить теоретическую дозу излучения в два раза [5]. С учетом этого, расчет по формуле (2) показывает, что мощности дозы реальной РЗМ с излучающего диска 300 м (бесконечное поле излучения) на рабочем месте оператора соответствует теоретическая доза излучения, полученная с диска радиусом около 20 м.

Мощность дозы ГИ в точке А (Б) из зоны, перекрытой шасси

Мощность дозы ГИ, создаваемая прямоугольным источником (рис. 3, а):

$$P = P_{\gamma}\sigma \left\{ \int_0^n \frac{m}{\sqrt{1+\psi^2 m^2}} \arctg \frac{m}{\sqrt{1+\psi^2 m^2}} d\psi \right\} = P_{\gamma}\sigma \Phi(m, n), \quad (3)$$

где $n = h_w/l_w = B_{wi}/L_{wi}$ — относительные размеры источника; $1/m = z_w/l_w$, $\psi = y/l_w$ — относительные расстояния до заданной точки.

Интеграл в формуле (3) в элементарных функциях не выражается, в связи с чем необходимо численное интегрирование.

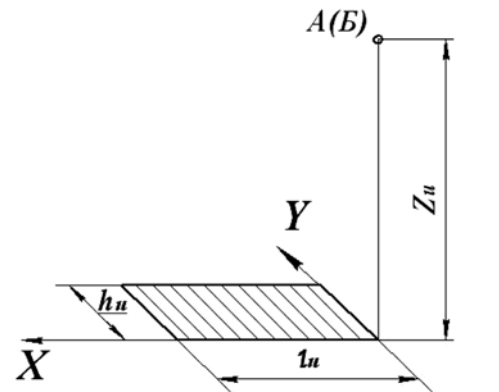
Формула (3) позволяет находить мощность дозы ГИ в случае, показанном на рис. 3, а, когда проекция точки совпадает с вершиной одного из углов прямоугольника.

Для вычисления мощности дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси, когда проекция точки находится в пределах площади источника (см. рис. 2), можно использовать правило аддитивности, по которому мощность дозы ГИ любого источника равна сумме мощностей доз ГИ всех составляющих его частей:

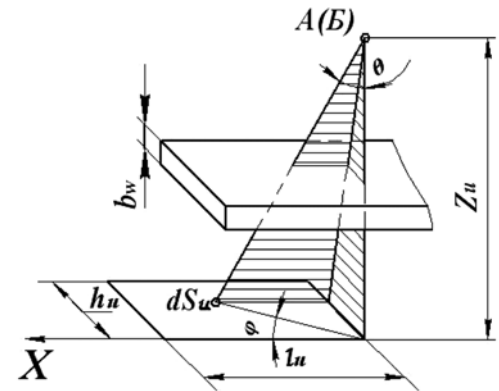
$$P_{1i} = P_{\gamma}\sigma \left[\Phi_i \left(\frac{z_i}{l_{1i}}; \frac{h_{1i}}{l_{1i}} \right) + \Phi_i \left(\frac{z_i}{l_{2i}}; \frac{h_{1i}}{l_{2i}} \right) + \Phi_i \left(\frac{z_i}{l_{2i}}; \frac{h_{2i}}{l_{2i}} \right) + \Phi_i \left(\frac{z_i}{l_{1i}}; \frac{h_{2i}}{l_{1i}} \right) \right] = P_{\gamma}\sigma \sum_{j=1}^4 \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j), \quad (4)$$

где j — индекс (относительные габаритные параметры) соответствующей части зоны (из рис. 2 видно, что таких частей 4).

В выражении (4) все слагаемые находятся по формуле (3), поскольку правило аддитивности позволяет свести рассматриваемый случай (см. рис. 2) к более простому (см. рис. 3, а).



а



б

Рис. 3. Схемы к расчету мощности дозы излучения в точке А (Б): а — от плоского прямоугольного источника; б — от плоского прямоугольного источника за защитным экраном

Мощность дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси в точке А (Б) за защитным экраном толщиной b_w

Выражение мощности дозы ГИ в случае, показанном на рис. 3, б, с учетом дозового фактора накопления B_{δ}^q :

$$P = P_{\gamma}\sigma B_{\delta}^q \left\{ \int_0^{\arctg n} d\varphi \int_0^{\arctg(m \sec \varphi)} \operatorname{tg} \theta e^{-\mu b_w \sec \theta} d\theta + \int_{\arctg n}^{\pi/2} d\varphi \int_0^{\arctg(m n \operatorname{cosec} \varphi)} \operatorname{tg} \theta e^{-\mu b_w \sec \theta} d\theta \right\}, \quad (5)$$

где e — основание натурального логарифма; μ — коэффициент ослабления ГИ в защите; θ — угол между нормалью и точечным источником излучения на диске.

Выполняя в выражении (5) интегрирование по θ и используя интегрально-показательную функцию E_i , получим:

$$\begin{aligned}
 P &= P_\gamma \sigma B_8^q \left\{ \frac{\pi}{2} \left[-E_i(-\mu b_W) \right] - \right. \\
 &- \int_0^{\text{arctgn} \left[-E_i \left(-\mu b_W \sqrt{1 + m^2 \sec^2 \varphi} \right) \right]} d\varphi - \\
 &- \left. \int_{\text{arctgn} \left[-E_i \left(-\mu b_W \sqrt{1 + m^2 n^2 \text{cosec}^2 \varphi} \right) \right]}^{\pi/2} d\varphi \right\} = \\
 &= P_\gamma \sigma B_8^q \Phi(m; n; \mu b_W). \quad (6)
 \end{aligned}$$

Для вычисления мощности дозы ГИ из зоны, перекрытой шасси, за защитным экраном толщиной b_W , когда проекция точки А (Б) не совпадает с какой-либо из вершин прямоугольника, можно воспользоваться аддитивностью доз поверхностных источников ГИ. При этом для зоны, перекрытой шасси, на рис. 2 условно разделенной на четыре части, мощность дозы ГИ можно рассчитать по формуле:

$$P_{2i} = P_\gamma \sigma B_8^q \sum_{j=1}^4 \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j; \mu b_W). \quad (7)$$

В выражении (7) все слагаемые находятся по формуле (6), поскольку правило аддитивности позволяет свести рассматриваемый случай (рис. 2) к сумме мощностей доз четырех его частей в виде прямоугольников, у которых проекция расчетной точки совпадает с вершиной угла, как на рис. 3, б.

Кратность ослабления дозы ГИ узлами шасси в точке А (Б)

На основании схемы расчета (см. рис. 2) и формул (2)–(7) кратность ослабления дозы ГИ шасси определяется следующим уравнением:

$$\begin{aligned}
 K_{Wi} &= \frac{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2}}{\pi \ln \frac{r^2 + z_i^2}{z_i^2} - \sum_{j=1}^4 \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j) + B_8^q \sum_{j=1}^4 \Phi_{ij}(m_{ij}; n_j; \mu b_W)}. \quad (8)
 \end{aligned}$$

На рис. 4, 5 приведены результаты расчета по формуле (8) влияния шасси тракторов Т-170.61 и ДЭТ-250М2 на уровень защиты оператора от ГИ грунта. Минимальные значения радиуса поля ГИ выбирались исходя из условия нахождения проекции защитного экрана на грунте (образуемой лу-

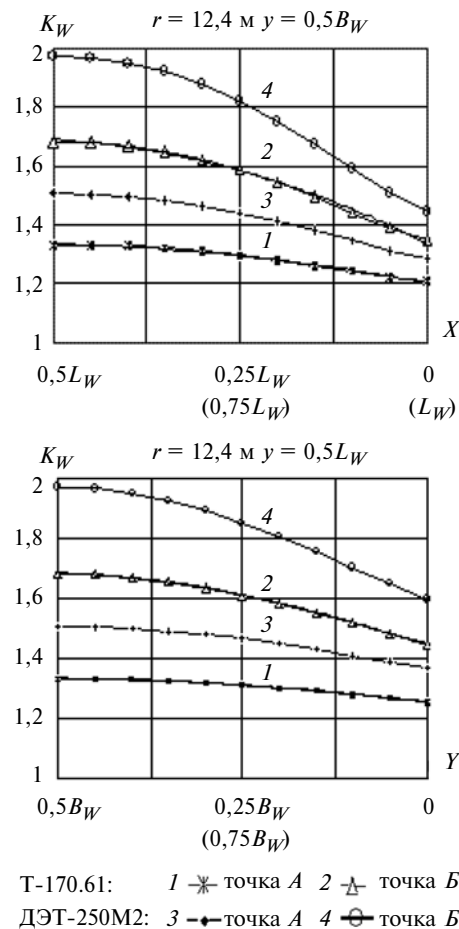


Рис. 4. Рассчитанная по формуле (8) кратность ослабления ГИ узлами шасси на рабочем месте оператора для различных значений L_W и B_W (источник ГИ на грунте $E_\gamma = 0,8 \text{ МэВ}$)

чами, проходящими из точки Б через край экрана) внутри поля излучения, максимальное соответствует бесконечному полю ГИ ($r = 20 \text{ м}$).

Формула (8) позволяет изучать влияние того или иного параметра шасси (машины) на уровень защиты оператора.

Из данных кривых кратностей ослабления излучения (см. рис. 4) видно, что при удалении места расположения оператора от середины защитного экрана уровень защиты падает, причем чем ближе к краю шасси, тем быстрее.

Для Т-170.61 и ДЭТ-250М2 расположение оператора ближе к краю шасси по сравнению с расположением в средней части снижает уровень его защиты от рассмотренных источников ГИ до 50 %. Расчеты по формуле (8) показывают, что при уменьшении радиуса излучающего диска падение уровня защиты оператора в зависимости от его размещения будет достигать гораздо больших значений. То же самое

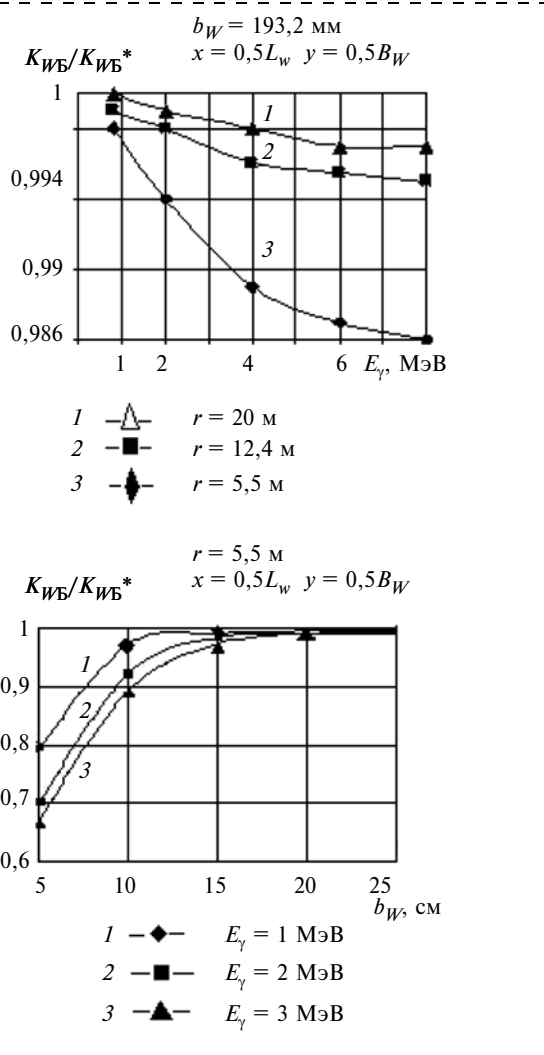


Рис. 5. Отношение кратностей ослабления ГИ с учетом (K_{WB}) и без учета (K_{WB}^* при $P_{02} = 0$) излучения, проходящего через защитный экран шасси с габаритными размерами трактора Т-170.61

может происходить и на реальной РЗМ с неравномерным рассредоточением источников ГИ на грунте.

Из рис. 5 видно, что влияние излучения из зоны, перекрытой шасси, на кратность ослабления излучения в расчетных точках за защитным экраном с параметрами шасси Т-170.61 при круговом поле ГИ незначительно. Это условие сохраняется для наиболее вероятной энергии поля ГИ РЗМ $E_\gamma \leq 2 \text{ МэВ}$ с $r = 4,31 \text{ м}$ при $b_W \geq 15 \text{ см}$, с $r = 5,5 \text{ м}$ при $b_W \geq 10 \text{ см}$, с $r = 20 \text{ м}$ при $b_W \geq 3 \text{ см}$. Увеличение радиуса излучающего диска и уменьшение энергии поля ГИ приводит к значительному уменьшению влияния излучения из зоны, перекрытой защитным экраном шасси, на мощность дозы ГИ в расчетных точках.

Полученные результаты подтверждаются экспериментальными исследованиями. Расхождение рас-

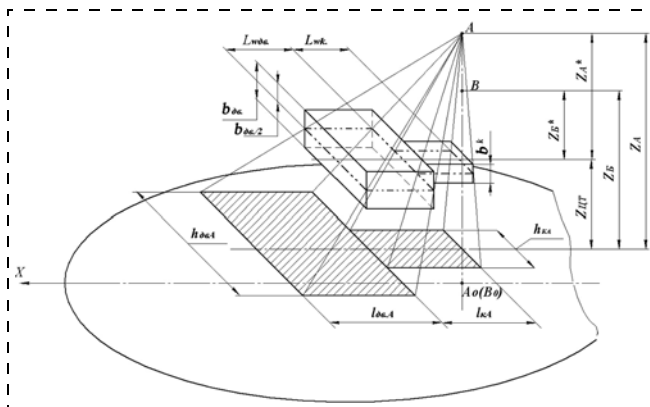


Рис. 6. Схема к расчету влияния шасси грузового автомобиля на уровень защиты оператора от ГИ грунта (обозначения см. на рис. 2)

четов по предлагаемой методике и ГОСТ В 26457—85 для рассматриваемых тракторов не превышает 7 % [1].

Очевидно, что все основные выводы по защите оператора от радиации узлами шасси, полученные для Т-170.61 и ДЭТ-250М2, имеют место и для других гусеничных тракторов класса 10...25 т.

Используя приведенную выше методику, скорректировав расположение и габаритно-массовые параметры защитного экрана, можно оценить влияние узлов шасси на защиту различных гусеничных и колесных машин. В качестве примера на рис. 6 показана схема к расчету влияния шасси грузового автомобиля с классической компоновочной схемой (кабина за двигателем) на уровень ПРЗ оператора в точке А. На этой схеме формализованно представлены двигатель (с приведенной толщиной $b_{дв}$), коробка передач с муфтой сцепления (с приведенной толщиной b_k), которые, в основном, и определяют уровень защиты оператора от ГИ РЗМ узлами шасси такой машины. Разделив на рис. 6 зоны излучения на части, подобно рис. 2, можно по формуле (1) (используя вычисления, подобные приведенным выше) определить кратность ослабления дозы ГИ (в заданной точке) узлами шасси грузового автомобиля.

Выводы

1. Разработана методика, позволяющая на начальном этапе проектирования оценить влияние узлов шасси на уровень защиты оператора от ГИ грунта РЗМ. По этой методике защитный экран шасси гусеничного трактора класса 10...25 т представляется в виде стального параллелепипеда с размерами, по длине и ширине равными соответствующим размерам шасси в плане, с толщиной, соответствующей приведенной к размерам экрана массе шасси, с положением центра тяжести от грунта, совпадающим с центром тяжести шасси.

2. Увеличение радиуса излучающего диска и уменьшение энергии поля ГИ приводит к умень-

шению влияния излучения из зоны, перекрытой шасси, на мощность дозы в расчетных точках.

3. При равномерном распределении радиоактивного источника на грунте для кругового поля ГИ РЗМ ($E_\gamma \leq 2$ МэВ) с размерами источника больше размеров проекции шасси на грунт, образуемой лучами, проходящими из расчетной точки через края защитного экрана шасси, и габаритно-массовых параметрах защиты, характерных для шасси гусеничных тракторов класса 10...25 т.

— более 90 % дозы оператор получает из зоны, не перекрытой экраном шасси;

— на бесконечном поле ГИ ($r \geq 20$ м) рациональная толщина защитного экрана шасси (в том числе и с учетом локальной защиты) около 3 см по стали, дальнейшее увеличение толщины защитного экрана незначительно увеличивает уровень защиты оператора.

4. Уровень защиты оператора от ГИ грунта зависит от места расположения кабины (оператора) на шасси.

Наилучшие показатели защиты имеет размещение оператора на оси, проходящей через центр защитного экрана шасси (в средней части машины). При удалении места расположения оператора от

этой оси уровень защиты падает, причем чем ближе к краю защитного экрана, тем быстрее.

У гусеничных тракторов установка кабины на краю шасси, по сравнению с установкой в средней части, снижает уровень защиты оператора от ГИ грунта до 50 %. В реальных условиях РЗМ падение уровня защиты может достигать и гораздо больших значений.

Список литературы

1. **ГОСТ В 26457—85.** Защита экипажей и аппаратуры бронетанковой техники от проникающих излучений ядерного взрыва и радиоактивно зараженной местности. Метод расчета.
2. **Указания** по расчету и проектированию противорадиационной защиты средств инженерного вооружения. Книга 2. Машины инженерного вооружения. — МО СССР, 1988.
3. **Руководство** по радиационной защите для инженеров. В 2-х томах: Пер. с англ. / Под ред. Д. А. Бродлера и др. — М.: Атомиздат, 1972.
4. **Гусев С. А., Позин Б. М., Трояновская И. П.** Анализ влияния узлов шасси на уровень защиты оператора от гамма-излучения грунта радиоактивно зараженной местности // Вестник Уральского межрегионального отделения Академии транспорта РФ. — 2001. — № 3—4. — С. 132—139.
5. **Козлов В. Ф.** Справочник по радиационной безопасности. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. **Глушков В. Ф.** и др. Оценка защиты бронетанковой техники от гамма-излучения // Вестник бронетанковой техники. — 1986. — № 2. — С. 24—25.

УДК 613.648; 613.63; 613.14/15

К. К. Ким¹, д-р техн. наук, проф., **Г. Л. Спичкин**², канд. техн. наук,
К. В. Воробьев², д-р биол. наук

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения

² Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

E-mail: kimkk@inbox.ru

Новые подходы к повышению качества воздуха помещений

Приведены результаты выпускаемых технических средств, предназначенных для повышения качества воздуха помещений, с точки зрения современных гигиенических представлений. Сформулированы требования к "идеальному" устройству, предназначенному для очистки и увлажнения воздуха, а также насыщения воздуха помещения аэроионами. Приведены экспериментальные данные по использованию аппаратно-биологического комплекса для повышения качества воздуха помещения.

Ключевые слова: воздух, качество, гигиена, аэроионы, увлажнитель, ионизатор, очиститель, аппаратно-биологический комплекс.

Kim K. K., Spitchkin G. L., Vorobev K. V.
New approaches to increasing air quality of rooms

Taking into account the modern hygienic regulations the analysis of manufactured technical equipment for increasing of air quality in the rooms is carried out. We formulated the demands to the "ideal" device. It is meant to purify and humidify air. It also saturates air with air ions. There are experimental data of using the hardwired biological complex to increase the quality of internal air.

Keywords: air, quality, hygiene, airions, humidifier, ionizer, purifier, hardwired biological complex.



Современные системы вентиляции и кондиционирования способны в целом решить проблему очистки воздуха и поддержания оптимальных параметров микроклимата в помещениях. При этом некоторые параметры воздушной среды, как правило, остаются без внимания специалистов по управлению качеством воздуха помещений.

Основным фактором ухудшения качества воздуха в закрытых помещениях является наличие мелкодисперсных взвесей, деформированный аэрионный фон и отсутствие активных форм кислорода (АФК). Подвергаясь фильтрации и проходя по протяженным вентиляционным воздуховодам, атмосферный воздух теряет аэрионы и АФК и, как следствие, утрачивает ощущения чистоты и свежести.

В настоящее время техника кондиционирования воздуха достигла очень высокого уровня развития. Однако применение даже самой современной техники без глубокого понимания всех параметров воздушной среды и их взаимного влияния друг на друга не гарантируют создания качественного воздуха.

Главными показателями качества воздуха являются параметры микроклимата (температура, влажность и подвижность) и его физико-химический состав.

Вопросы микроклимата проработаны достаточно глубоко. Для того чтобы человек чувствовал себя в помещении комфортно, параметры микроклимата должны быть близки к вполне определенным показателям. Большинство людей чувствуют себя комфортно при температуре около 20 °С, относительной влажности — 45...55 %, подвижности воздуха 0,1...0,5 м/с. Индивидуальное ощущение комфортности может несколько отличаться от средних показателей в ту или иную сторону в зависимости, например, от специфики организма или от вида производимой работы, поэтому одной из инженерных задач в области кондиционирования воздуха является разработка систем управления индивидуумом параметрами микроклимата непосредственно на его рабочем месте (создание так называемого локального микроклимата).

Если с параметрами микроклимата все более или менее понятно, то с физико-химическим составом воздуха все обстоит сложнее.

Идеально, чтобы в помещение поступал воздух, по своему физико-химическому составу максимально приближенный к природному воздуху курортных зон. Природный воздух представляет собой сложную смесь газов, аэрионов, АФК, аэрозолей, биологически активных веществ. Как уже отмечалось, сохранение параметров поступающего в помещение воздуха, характерных для "природного"

воздуха, при взаимодействии его с системами вентиляции и кондиционирования невозможно. Использование такого воздуха для дыхания нельзя назвать комфортным. Улучшить физико-химический состав воздуха, хотя бы немного приблизив его к природным показателям, возможно путем применения в помещении устройств, предназначенных для очистки воздуха от аэрозолей, увлажнения воздуха, насыщения воздуха аэрионами и активными формами кислорода — ионизаторов, очистителей, увлажнителей.

В настоящее время на рынке бытовой техники присутствует большое количество таких устройств.

Проанализируем предлагаемую Потребителю продукцию как с организационно-технической, так и с гигиенической точки зрения. Посмотрим, какие технические характеристики приводит Производитель в паспорте, прилагаемом к устройствам, заявленным как "очиститель", "увлажнитель", "ионизатор"?

Увлажнители

В паспорте устройств, предназначенных для увлажнения воздуха, кроме обязательных характеристик (потребляемая мощность, гарантированный срок службы и т. д.), Производителем обычно указываются следующие характеристики:

- тип устройства (например, "ультразвуковой увлажнитель"),

- производительность увлажнителя (количество испаряемой воды в единицу времени, г воды в час),

- объем помещения, для которого рекомендуется установка увлажнителя с заявленной производительностью.

Как правило, Производитель не сообщает, как часто следует менять воду в накопительном резервуаре при продолжительных паузах в работе увлажнителей, какой степени очистки от минеральных загрязнителей должна быть вода, не разъясняет, к чему может привести использование воды с большим содержанием солей.

В подавляющем большинстве бытовых увлажнителей, основанных на испарении капельной влаги, не предусматривается деминерализация воды. Во время работы таких увлажнителей в воздухе помещения происходит увеличение концентрации сухого аэрозоля, получающегося при испарении водного аэрозоля во время его гравитационного падения. При характерной для бытовых увлажнителей производительности испарения 300...500 г воды в час даже в случае использования обычной "мягкой" водопроводной воды с относительно небольшим содержанием солей 0,1...0,2 мг/л интенсивность насыщения воздуха помещения сухим

аэрозолем составляет 30...100 мг в час. Таким образом, в помещении объемом 30...100 м³, на которые рассчитаны такие увлажнители, концентрация аэрозольного загрязнения только за 1 ч работы увлажнителя увеличивается примерно на 1 мг/м³, т. е. на весьма значительную величину.

При использовании относительно "жесткой" воды, характерной, например, для центральных регионов России, с большим содержанием минеральных солей на уровне 1...10 г/л и более концентрация аэрозольного загрязнения при работе такого увлажнителя многократно превышает все допустимые концентрации по аэрозольной загрязненности.

Особо следует отметить, что высушенный солевой аэрозоль является вредным для здоровья сильным аллергеном. Кроме того, высокая концентрация солевых аэрозолей по аналогии с табачными и другими аэрозолями крайне отрицательно сказывается на состоянии аэроионного фона: концентрация легких аэроионов в помещении в данном случае падает практически до нуля, при этом возрастает концентрация вредных для здоровья тяжелых аэроионов.

В случае использования деминерализованной воды, в результате испарения которой содержание высушенного остатка несколько ниже, Потребителя подстерегает опасность другого рода. Дело в том, что повышение микробиологической обсемененности воды происходит в деминерализованной воде гораздо более быстрыми темпами, чем в водопроводной воде, содержащей консерванты. Поэтому содержание микроорганизмов, поступающих с испаряемой водой в воздух помещения, в некоторых случаях может достигать критических концентраций. К сожалению, в рекомендациях по пользованию бытовыми увлажнителями многие Производители не упоминают о перечисленных негативных последствиях работы увлажнителей и не дают четких рекомендаций по их возможному устранению.

Ионизаторы

В паспорте устройств, предназначенных для ионизации, Производители обычно приводят выражения рекламного характера ("нормализация аэроионного состава", "оживление воздуха"), а также характеристики потребляемой мощности, габаритов, массы и т. д. В лучшем случае, еще приводится информация о значении концентрации аэроионов отрицательной или отрицательной и положительной полярности (ион/см³) на некотором фиксированном расстоянии, а также объем помещения, для которого рекомендуется установка данного ионизатора.

Подавляющее большинство из представленных на рынке ионизаторов обеспечивают генерацию аэроионов только отрицательной полярности. В основу такой идеологии положено мнение некоторых исследователей, утверждающих, что аэроионы отрицательной полярности более полезны для организма человека, нежели аэроионы положительной полярности [1—3].

Однако "природный" воздух всегда содержит аэроионы обеих полярностей примерно в равных долях и человек эволюционно адаптирован к вдыханию именно такого воздуха. Чистый атмосферный воздух насыщен легкими аэроионами каждого знака в концентрациях 1000...5000 ионов/см³ (лесной и морской воздух), 5000...10 000 ионов/см³ (воздух горных курортов, воздух у водопада).

Именно биполярная, а не униполярная ионизация воздуха в помещении необходима во избежание накапливания электростатических зарядов, не только окончательно деформирующих аэроионный фон в воздухе помещения, но и приводящих к возникновению устойчивых электростатических полей, оказывающих негативное влияние на организм человека.

С 2003 г. в Российской Федерации введены в действие новые "Гигиенические требования к аэроионному составу воздуха производственных и общественных помещений" (СанПиН 2.2.4.1294—03), которые в качестве нормируемых показателей ионизации воздуха устанавливают следующие показатели:

Нормируемые показатели	Концентрация аэроионов ρ , ион/см ³		Коэффициент униполярности $U = \rho^+ / \rho^-$
	положительной полярности	отрицательной полярности	
Минимально допустимые	$\rho^+ \geq 400$	$\rho^- > 600$	$0,4 \leq U < 1,0$
Максимально допустимые	$\rho^+ < 50\,000$	$\rho^- \leq 50\,000$	

По сравнению с действовавшими с 1980 г. "Санитарно-гигиеническими нормами допустимых уровней ионизации воздуха производственных и общественных помещений" (СГН 2152—80) в новых нормах отсутствует показатель "оптимальный уровень концентрации аэроионов". "Оптимальный уровень" являлся хорошим ориентиром для нормализации аэроионного режима помещений — 1500...3000 ион/см³ для аэроионов положительной полярности и 3000...5000 ион/см³ для аэроионов отрицательной полярности.

Диапазон коэффициентов униполярности $U = 0,4...1,0$ означает, что отрицательных ионов в помещении должно быть больше, чем положительных, при этом данная разница может дости-



гать 2,5 крат. Отметим, что коэффициент униполярности для природного воздуха $U = 0,9...1,1$.

Обращает на себя еще один пункт СанПиН 2.2.4.1294—03, а именно п. 2.6, который допускает "... отсутствие аэроионов положительной полярности" "... на рабочих местах, где имеются источники электростатических полей", т. е. например, возле мониторов ПК. Таким образом, для этих рабочих мест следует определять концентрацию только отрицательных аэроионов. Правильность редакции п. 2.6 с технической точки зрения вызывает сомнение. Действительно, при включении мониторов предыдущего поколения (электронно-лучевые мониторы) на экране монитора индуцировался электростатический заряд положительной полярности, приводящий к деформации аэроионного фона вблизи ПК.

Для нейтрализации индуцированного заряда положительной полярности могут использоваться ионизаторы, генерирующие аэроионы только отрицательной полярности. Однако обычный ионизатор способен нейтрализовать наведенный на экран монитора заряд в течение нескольких минут. Дальнейшая работа ионизатора приводит к перекомпенсации заряда на экране монитора и наведении заряда отрицательной полярности, создающего электростатические поля высокой интенсивности. Кроме того, мониторы последнего поколения (ЖК-мониторы) практически не деформируют аэроионный фон, поэтому использование на рабочих местах вблизи ПК ионизаторов, генерирующих аэроионы только отрицательной полярности, необоснованно.

В бытовых устройствах искусственной ионизации поток насыщенного аэроионами воздуха имеет достаточно узкую диаграмму направленности. По мере удаления от ионизатора концентрация аэроионов снижается довольно быстро. Удаление от ионизатора, при котором концентрация аэроионов соответствует оптимальным значениям, составляет 0,5...1,5 м. Для получения пользы от ионизатора человек должен находиться в достаточно ограниченной области помещения, по существу, быть в стесненном статичном положении, что существенно ограничивает комфортность условий пребывания в помещении.

Чрезвычайно важным моментом работы ионизаторов является тот факт, что функционирование ионизаторов в присутствии человека должно осуществляться только в чистом воздухе, очищенном от аэрозольных и газовых загрязнителей. В противном случае, аэроионы, активизируя дыхательные процессы в организме, способствуют усилению проникновения в организм вышеуказанных

загрязнителей, что неизменно неблагоприятно скажется на самочувствии человека.

В связи с этим вызывают недоумение рекомендации некоторых Производителей ионизаторов очищать воздух помещения, например, от табачных аэрозолей путем насыщения воздуха аэроионами и создания заряженных аэрозольных кластеров. Аэрозольные кластеры в результате действия электростатического поля их собственного объемного заряда выносятся из зоны действия ионизатора, адсорбируясь на различных поверхностях, в том числе, на слизистой органов дыхания находящихся в помещении людей. При этом, как правило, Производитель "забывает" напомнить Потребителю, что находиться рядом с ионизатором, работающим в условиях аэрозольной загрязненности воздуха, просто вредно.

Понятие "объем обслуживаемого помещения", как правило, плохо применимо к ионизаторам, так как область помещения, заполненная насыщенным аэроионами воздухом, определяется, как уже отмечалось, весьма узкой диаграммой направленности распространения ионизованного воздуха. Попадая в область с низкой скоростью потока ионизированного воздуха, обусловленной работой ионизатора, аэроионы быстро гибнут либо в результате ион-ионной рекомбинации, либо в результате адсорбции на различных поверхностях.

Очистители воздуха

В паспорте на устройство очистки воздуха Производитель обычно указывает эффективность очистки воздуха, например, 90...98 %, дисперсность задерживаемых частиц, например, 0,1...10 мкм и объем обслуживаемого помещения.

К сожалению, при декларировании эффективности очистки не указывается, что высокая степень очистки достигается по массовому показателю, при этом умалчивается, что наиболее "вредные" фракции загрязнителей с дисперсностью 0,1...1 мкм имеют гораздо более низкую эффективность удержания на фильтрах. Для повышения эффективности очистки воздуха и снижения вероятности "залповых" выбросов из фильтрующих элементов, целесообразно использовать фильтры с высокой адгезивной способностью, например, так называемые "мокрые" фильтры. Кроме того, задержанные фильтром микроорганизмы интенсивно размножаются.

Проанализировав ситуацию на рынке устройств, предназначенных для повышения качества воздуха помещений и отметив некоторые общие "слабые" места таких устройств, попробуем сформулировать технические и гигиенические требования к "идеальному" устройству с заявленными

функциями очистки, увлажнения и ионизации воздуха. Итак:

1. Ионизация должна осуществляться только в очищенном воздухе. Поскольку основными загрязнителями, влияющими на аэроионный фон в помещении, являются аэрозольные загрязнители, необходимо предварительно очистить воздух от аэрозольных загрязнителей. Если в устройстве функции ионизации и очистки включаются независимо друг от друга, ионизатор должен включаться относительно момента включения очистителя с задержкой, гарантирующей требуемую очистку воздуха от аэрозолей. Если включения ионизатора и очистителя осуществляются одновременно, то насыщение воздуха аэроионами должно осуществляться непосредственно на выходе устройства, в зоне уже очищенного воздуха.

2. Ионизатор должен обеспечивать генерацию аэроионов обеих полярностей. Только в этом случае, независимо от наличия в помещении наведенных или индуцированных зарядов и их полярности, возможно формирование аэроионного фона, отвечающего требованиям санитарных норм и способствующего снижению уровня электростатических полей.

3. Область воздушной среды помещения, насыщенной аэроионами в оптимальных концентрациях, должна быть достаточной для того, чтобы Потребитель не был "жестко привязан" к своему рабочему месту.

4. Процесс увлажнения воздуха должен быть автоматизированным с целью поддержания влажности на уровне, близком к оптимальному значению 45...55 %. Интенсивность увлажнения должна зависеть от исходной влажности воздуха помещения. При достижении оптимального уровня влажности (50 ± 5 %) интенсивность увлажнения должна снижаться. Наконец, процесс увлажнения должен быть экологически чистым — при работе увлажнителя в воздушную среду помещения не должно вноситься дополнительных аэрозольных загрязнителей; таким образом, поступление влаги в воздух помещения должно осуществляться на молекулярном уровне.

5. Для снижения интенсивности роста колоний микроорганизмов, задержанных фильтрами, материал фильтров должен иметь асептические свойства.

Реализовать указанные требования в опытном образце устройства, сочетающего в себе функции "мокрой" очистки воздуха от аэрозольных загрязнителей, экологически чистого увлажнения и биполярной ионизации удалось в рамках аппаратно-биологического комплекса [4]. Фотография опытного образца аппаратно-биологического комплекса открытого типа "Зеленая стена" представлена на рис. 1 (см. 2-ю стр. обложки).

В состав аппаратно-биологического комплекса входят искусственный фитоценоз (сообщество растений) и аппаратные средства. В качестве грунтов, в которые высажены растения, используются гипоаллергенные минеральные грунты, практически исключающие развитие на своей поверхности микроорганизмов.

Принцип действия аппаратно-биологических комплексов основан на использовании специальным образом подобранных растений, обладающих избирательной очистительной способностью по отношению к различным загрязнителям воздушной среды, а также технических средств, обеспечивающих жизнедеятельность и функционирование растений.

Работая в автоматическом режиме, аппаратно-биологические комплексы очищают воздух от газовых органических и аэрозольных загрязнений, интенсивно поглощают углекислый газ и выделяют кислород, на молекулярном уровне увлажняют воздух помещения с эффектом саморегуляции уровня влажности. Комплексы обеспечивают элиминацию микроорганизмов в зоне его действия и угнетение жизнедеятельности бактерий и вирусов в воздухе всего помещения.

Для очищения воздуха от аэрозольных и микробных загрязнителей, а также для увлажнения воздуха в АБК целесообразно использовать растения, характеризующиеся значительной площадью листовой мозаики, высокой адгезивной способностью и развитой транспирационной функцией листьев (транспирация — процесс выхода влаги из листа наружу). При усилении транспирационной функции под действием внешних факторов (интенсивное освещение) листья представляют собой природный аналог "мокрого" фильтра, часто используемого в промышленных технологиях очистки воздуха. В качестве таких растений в комплексах использовались традесканция (*Tradescantia fluminensis Vell*) и монстера.

Растения являются идеальным природным увлажнителем. Во-первых, в воздух помещения поступает чистая влага в виде молекул, а не в виде аэрозолей. Появляющаяся с высокой интенсивностью на листьях растений, характеризующихся развитой транспирационной функцией, влага в результате подвижности воздуха вблизи растений интенсивно испаряется и поступает в воздух помещения в виде молекул. Во-вторых, при влажности воздуха, соответствующей верхнему уровню оптимальной влажности 50...55 %, выделение влаги растениями значительно замедляется, таким образом, исключается переизбыток влаги в воздухе помещения — имеет место саморегуляция процесса увлажнения. Наконец, увлажнение воздуха с помощью растений осуществляется без дополнительных затрат энергии.



Функциональная схема аппаратно-биологического комплекса вертикального исполнения рециркуляционного типа представлена на рис. 2 (см. 2-ю стр. обложки). Загрязненный воздух с помощью вентилятора поступает в АБК укомплектованный растениями, установленными на разных ярусах. Растения (традесканции, монстеры) интенсивно освещаются энергосберегающими лампами, в результате чего резко возрастает выход на поверхность листьев влаги и биологически активных веществ, в том числе, фитонцидов. Воздушные потоки внутри корпуса комплекса формируются таким образом, чтобы аэрозольные кластеры, проходя сквозь листья растений, оседали на них. Влажные листья хорошо удерживают аэрозоли, а фитонциды инактивируют микроорганизмы. Таким образом, наружу поступает очищенный от аэрозольных и микробных загрязнителей и увлажненный воздух, насыщенный биологически активными веществами. Проходя воздухораспределительные решетки, воздух насыщается легкими аэроионами в концентрациях, соответствующих СанПиН 2.2.4.1294—03.

Для исследования эффективности очистки воздуха от аэрозольных загрязнений с помощью растений использовался счетчик частиц ГЗА. В качестве

смеси модельных аэрозолей использовались табачные аэрозоли. Под эффективностью очистки воздуха в данном случае принималось соотношение

$$K_{\text{эф}} = \frac{(N_{\text{ВХ}} - N_{\text{ВЫХ}})}{N_{\text{ВХ}}} 100 \%,$$

где $N_{\text{ВХ}}$, $N_{\text{ВЫХ}}$ — концентрация аэрозолей соответствующей дисперсности на входе в устройство и выходе из него.

Счетчик позволяет определять количество частиц в воздухе в шести спектральных диапазонах: 0,3...0,4 мкм, 0,4...0,5, 0,5...1, 1...2, 2...5, 5...10 мкм. Замеры аэрозольной загрязненности воздуха в камере производились в течение 10 с с интервалом 1 мин. Длительность измерений осуществлялась в течение 100 мин. Для определения эффективности очистки воздуха от аэрозолей наиболее информативны спектральные диапазоны: 0,3...0,4 мкм, 0,4...0,5, 0,5...1, 1...2 мкм. Поэтому при анализе эффективности очистки в первую очередь учитывалось изменение количества частиц именно в этих диапазонах. Интерес к данным диапазонам обусловлен и тем, что именно мелкодисперсные аэрозоли имеют наибольшую проникающую способность

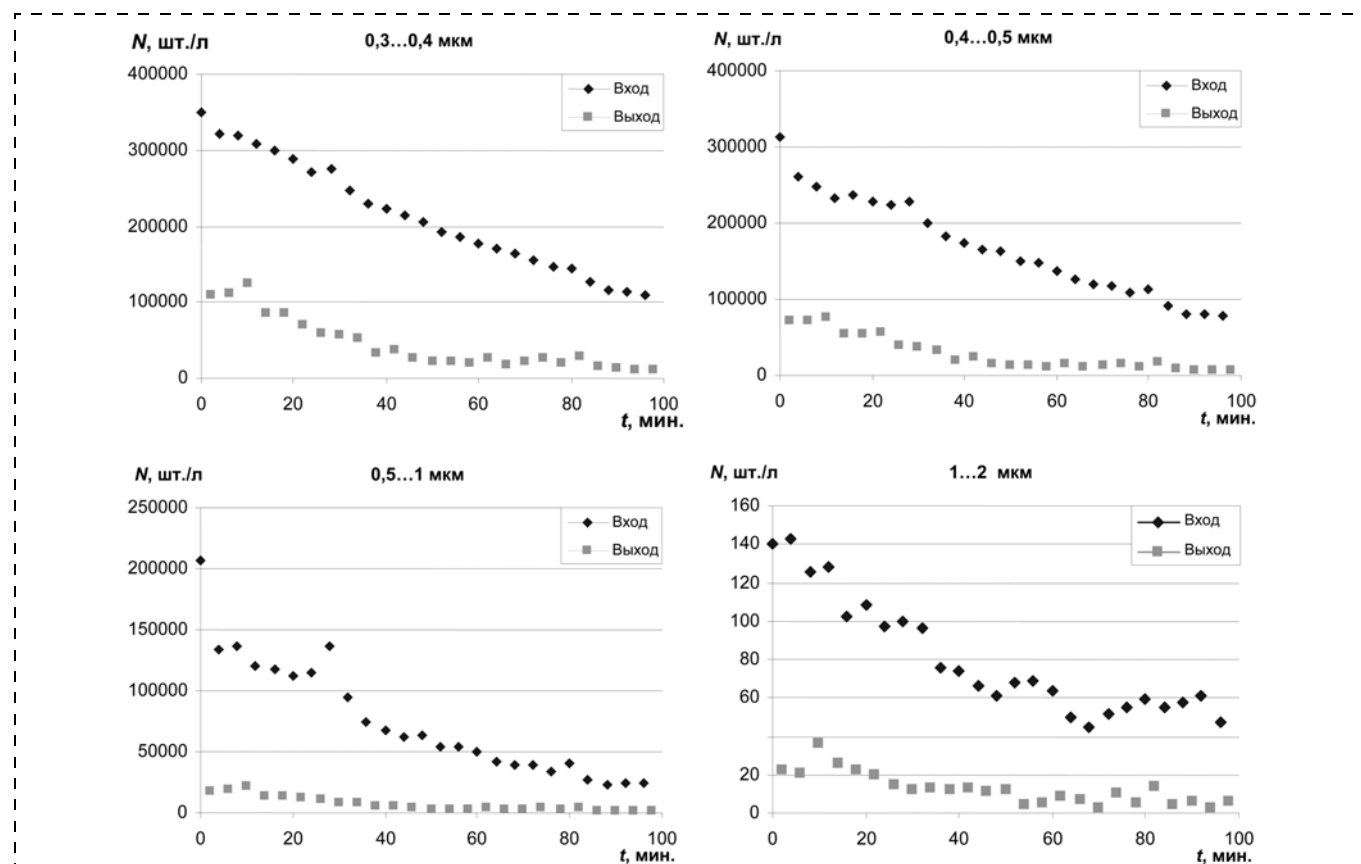


Рис. 3. Изменение концентрации табачных аэрозолей N различной дисперсности в помещении с объемом 130 м^3 при прокачке загрязненного воздуха с расходом $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ через АБК, укомплектованный традесканциями *Tradescantia fluminensis Vell*



в легкие человека, нанося максимальный вред организму.

Результаты опытов приведены на рис. 3, на котором показано снижение концентрации табачных аэрозолей различной дисперсности в помещении с объемом 130 м^3 при использовании восьми Tradescantia fluminensis Vell с общей площадью листьев около $(0,5 \pm 0,1) \text{ м}^2$.

Для подтверждения механизма очистки воздуха путем захвата аэрозольных кластеров именно листьями растений, а не вследствие оседания их на внутренние стенки корпуса устройства были проведены контрольные эксперименты без растений. В этих опытах измерялась концентрация аэрозолей на входе и на выходе устройства при расходах 10 и $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, а также внутри корпуса устройства в отсутствие расхода воздуха. Во всех контрольных опытах скорость спада концентрации аэрозолей была, как минимум на порядок ниже, чем в аналогичных опытах с растениями.

Основные технические характеристики опытного образца аппаратно-биологического комплекса вертикального исполнения рециркуляционного типа:

— эффективность очистки при расходе воздуха $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ от аэрозолей в спектральном диапазоне $0,3...1 \text{ мкм}$ — 85 %, в спектральном диапазоне $2...10 \text{ мкм}$ — 65 %;

— эффективность очистки при расходе воздуха $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ от аэрозолей в спектральном диапазоне $0,3...1 \text{ мкм}$ — 95 %, в спектральном диапазоне $2...10 \text{ мкм}$ — 85 %;

— производительность по увлажнению (при температуре воздуха $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и относительной влажности в помещении 20 %) — 30 мл/ч;

— снижение содержания микроорганизмов в воздухе помещения объемом 130 м^3 (приточно-вытяжная вентиляция выключена) спустя 3 ч работы АБК составляет: в 2,6 раза (бактерии), в 2,8 раза

(актиномицеты), в 4 раза (Mucor), в 5 раз (Penicillium), в 3 раза (Cladosporium), в 2 раза (Fusarium);

— содержание аэроионов в воздухе помещения на расстоянии:

• 1 м от АБК через 30 мин работы комплекса и далее в течение всего рабочего дня — $25\,000 \pm 10\,000$ ион/см³ (отрицательные аэроионы), $15\,000 \pm 10\,000$ ион/см³ (положительные аэроионы);

• 4 м от АБК через 30 мин работы комплекса и далее в течение всего рабочего дня — 2500 ± 1000 ион/см³ (отрицательные аэроионы), 1500 ± 1000 ион/см³ (положительные аэроионы).

— энергопотребление; АБК — 150 Вт.

Работа представленного аппаратно-биологического комплекса (включение/выключение освещения, увлажнение и подкормка растений, включение генератора биполярных аэроионов, периодическая "мокрая" очистка поверхности листьев от осевших аэрозолей с помощью УЗ увлажнителя) полностью автоматизирована и осуществляется в соответствии с выбранным алгоритмом.

Список литературы

1. Кондрашова М. Н. Отрицательные аэроионы и активные формы кислорода // Биохимия. — 1999. Т. 64. — Вып. 3. — С. 430—432.
2. Ливанова Л. М., Элбакидзе М. Г., Айрапетянц М. Г. Влияние кратковременного воздействия отрицательными аэроионами на организм людей с вегетативными нарушениями // Журнал высшей нервной деятельности. — 1999. — Т. 49. — Вып. 5. — С. 760—765.
3. Шальнова Г. А. Ионизация воздуха и ее влияние на иммунную систему человека и животных // Радиационная биология. Радиоэкология. — 1994. — Т. 34. — Вып. 3. — С. 391—395.
4. Федоров М. П., Воробьев К. В., Замараева В. С., Спичкин Г. Л. Аэроионы для здоровья // Экология и жизнь. — 2008. — № 8 (81). — С. 76—82.

Издательство "Новые технологии" начинает выпускать
теоретический и прикладной научно-технический журнал

ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Журнал распространяется только по подписке.
Оформить подписку можно через подписные Агентства
или непосредственно в редакции журнала.

Подписные индексы по каталогам:

"Роспечать" — 22765; "Пресса России" — 39795.

Адрес редакции для авторов и подписчиков

✉ 107076, г. Москва, Стромьинский пер., 4
Издательство "Новые технологии"

Редакция журнала "Программная инженерия"

☎ Телефоны: (499) 269-55-10, 269-53-97; 📠 Факс: (499) 269-55-10

✉ E-mail: prin@novtex.ru

Основные тематические направления журнала приведены на с. 42

УДК 621.746.58.001.57

В. Ю. Бажин, канд. техн. наук, доц., **А. А. Власов**, асп., **Р. К. Патрин**,
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)
E-mail: bazhin-alfoil@mail.ru

Утилизация техногенных отходов электролизного производства алюминия

Обсуждается проблема утилизации твердых отходов алюминиевого производства. Приведены данные химического состава футеровочных материалов демонтированного катодного устройства алюминиевого электролизера. Рассмотрены возможности организации безотходных технологий и специальных производств по переработке отработанной футеровки на алюминиевых заводах.

Ключевые слова: алюминиевый электролизер, катодная футеровка, отходы футеровки.

Bazhin V. Y., Vlasov A. A., Patrín R. K.
A utilization placer waste disposal of aluminium smelters

In this paper research problem of solid waste aluminium production. There are data of chemical composition of lining materials from dismantled cathode of aluminium cell. The organization non-waste technologies and special productions in waste lining for aluminium plants were considered in this paper.

Keywords: aluminium reduction pot, cathode lining, waste lining products.

На территории Ленинградской, Мурманской, Свердловской, Иркутской областей, и особенно в Красноярском крае, где сосредоточены заводы по производству алюминия электролитическим способом образуются и хранятся сотни тысяч тонн твердых отходов. В этих российских регионах остро стоит проблема утилизации и переработки техногенных продуктов для обеспечения безопасной жизнедеятельности.

Сведения по выбросам контролируются Международным институтом алюминия (IAI). По отчетам российских алюминиевых предприятий на 1 т алюминия при использовании электролизеров с самообжигающимися анодами приходится 130...155 кг выбросов, а при применении прогрессивной технологии с обожженными анодами — 67 кг. В 2009 г. по отчетам компании "РУСАЛ" про-

изведено 3,9 млн т алюминия. В результате на алюминиевых заводах ежегодно образуется и вывозится в отвал или складывается в накопителях более 400 тыс. т кирпичной и угольной футеровки демонтированных электролизеров, а также анодных огарков.

При электролизе растворенного глинозема в расплаве фтористых солей при температуре 960 °С происходит стабильное кумулятивное образование высокотоксичных алюминийфторуглеродсеросодержащих отходов — отработанной футеровки электролизеров, огарков анодов и тонкодисперсного шлама с содержанием углерода — 25...70 %, фтора — 6...16, алюминия — 4...10, натрия — 6—19, серы — 0,1...1,3, цианидов — до 1 % и других компонентов [1, 2].

Проведены научно-поисковые работы с целью создания технологической схемы для переработки отходов электролизного производства. Изучено состояние футеровочных материалов на трех предприятиях компании "РУСАЛ". Разработаны методики и составлены карты отбора проб с участков футеровки электролизеров различной мощности. Химический анализ с назначенных участков катодного устройства представлен в табл. 1.

Снижение уровня содержания фторидов на электролизерах большой мощности связано с применением в боковой футеровке карбидокремневых плит, а также с использованием новых барьерных материалов. Увеличение содержания фторида алюминия связано с технологией работы для электролизеров ОА на низком криолитовом отношении (избытке AlF_3).

С увеличением срока службы повышается уровень пропитки углеграфитовых и огнеупорных материалов фтористыми солями. На рис. 1 показана зависимость пропитки футеровки от срока службы электролизера по обработанным статистическим данным для катодных устройств электролизеров с обожженными анодами на 175 кА. Степень пропитки определялась по разности весов катодного устройства перед пуском и после отключения электролизера в капитальный ремонт. После разборки и выбойки угольной поди-

Таблица 1

Состав отработанной футеровки электролизеров различной мощности после отключения в капитальный ремонт

Мощность электролизера, кА	160	175	300
Срок службы электролизера, сут.	1266	1157	1031
Компонентный состав отходов, масс. %:			
Углерод свободный С	51,6	52,3	58,9
Алюминий металлический	4,9	5,6	3,8
Глинозем Al_2O_3	9,9	10,1	5,4
Диоксид кремния SiO_2	19,1	22,8	14,1
Фторид натрия NaF	9,5	5,9	4,8
Фторид алюминия AlF_3	3,2	2,6	3,9
Фторид магния MgF_2	2,2	1,9	0,5
Фторид кальция CaF_2	5,5	4,9	4,3
Диоксид титана TiO_2	0,05	0,03	0,003

ны рассчитывали пропитку огнеупорных материалов по разработанной схеме.

В среднем на алюминиевом предприятии отключаются в капитальный ремонт от 30 до 100 электролизеров в год, а материалы с отключенных ванн хранятся под воздействием атмосферных осадков.

Разработка технологии рециклинга и модернизация отвалов началась только в последнее десятилетие. В настоящее время нет полных данных по ситуационной обстановке на полигонах и степени разложения отходов. Отобранные пробы с различных участков трех полигонов алюминиевых заводов показали, что за 20 лет хранения 65 % неорганического материала, попавшего на свалку, не разложилось (табл. 2).

Кирпичная футеровка, содержание оксидов кремния и алюминия в которой в среднем превышает 40 %, не перерабатывается на предприятиях, а отправляется в отвалы. С увеличением срока хранения снижается в основном содержание фторидов. Наибольшую опасность ухудшения экологической ситуации в результате хранения твердых отходов представляют именно водорастворимые фториды, напри-

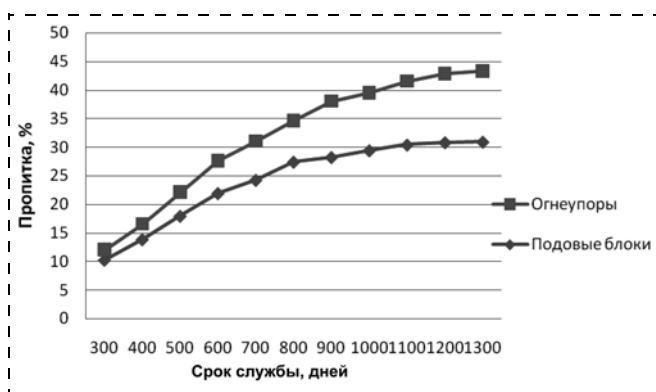


Рис. 1. Зависимость пропитки материалов катодного устройства от срока службы электролизера

мер, фторид натрия и цианиды. Эти соединения вымываются осадками и оказывают неблагоприятное влияние на здоровье не только рабочих, но и на население, проживающее в зоне влияния производства.

Методы утилизации основаны на физико-химических исследованиях свойств и структуры отходов электролизного производства, позволяющих определить принципиальную возможность их использования в том или ином производстве. Организация переработки отработанной футеровки в мелких масштабах нецелесообразна. Поэтому в небольших цехах электролиза предусматривается только предварительное дробление и сортировка демонтированной футеровки.

Несмотря на то, что необходимость переработки старых отвалов и полигонов отходов электролизного производства очевидна, только на двух российских алюминиевых заводах (Братский алюминиевый завод и Хакасский алюминиевый завод) предприняты попытки переработки футеровки и огарков на специализированных участках. Извлекаемые при демонтаже из катодного кожуха электролит и алюминий возвращают в электролизный цех на переплавку, а угольную футеровку направляют на переработку.

Существует несколько технически проработанных альтернатив для переработки отходов производства [3]. Их можно разделить на технологии разложения и повторного использования в других областях промышленности и технологии извлечения, где фториды извлекают для использования при производстве первичного алюминия. Дальнейшую переработку можно подразделить на процессы, при которых получают фторид алюминия или криолит как конечный продукт. Эти способы представляют самый большой интерес с экономической точки зрения. Наконец, некоторые углеродные материалы могут быть возвращены обратно в ванну или в катод.

Таблица 2

Среднестатистический состав отходов с полигонов в зависимости от их срока хранения

Компонентный состав отходов, масс. %	Срок хранения, лет		
	3	10	20
Углерод свободный С	49,6	45,3	44,9
Алюминий металлический	2,9	2,6	1,8
Глинозем Al_2O_3	9,9	8,1	5,4
Диоксид кремния SiO_2	19,1	18,8	17,1
Фторид натрия NaF	10,5	3,9	1,8
Фторид алюминия AlF_3	4,2	3,6	1,1
Фторид магния MgF_2	2,2	1,9	0,05
Фторид кальция CaF_2	5,5	3,9	0,3
Диоксид титана TiO_2	0,01	0,02	0,007



Ниже перечислены технологии разложения и повторного использования:

- сжигание для производства энергии;
- использование в качестве флюсующих добавок для сталелитейной промышленности;
- использование в качестве энергетических и минеральных добавок в производстве цемента;
- превращение в инертный материал для отвалов;
- производство красного кирпича.

К технологиям извлечения относят следующие:

- извлечение фторидов выщелачиванием;
- силикопирогидролит с получением микрокремнезема;
- извлечение углеродных материалов.

Некоторые зарубежные алюминиевые заводы проявляют высокую активность в разработке различных версий переработки отходов производства. В табл. 3 даны основные способы их переработки.

До промышленной реализации доведены лишь некоторые способы, которые не предусматривают полной утилизации огарков анодов и отработанной футеровки из-за низкой эффективности способов или по экономическим соображениям [4]. Рассматриваемые отходы содержат в своем составе ценные компоненты, при переработке которых можно получить существенный экономический и экологический эффект.

В связи с этим предлагается схема переработки отходов электролизного производства, предусматривающая:

- дробление, сортировку по крупности, перемалывание;

- термальную обработку (высокотемпературное выщелачивание);

- химическую обработку с целью удаления опасных газов;

- перемешивание с химическими веществами, сушку, изготовление конечного продукта.

Рассмотрим эту схему (рис. 2).

Угольная и огнеупорная футеровка поступает на склад и далее после операции дробления подвергается выщелачиванию в кислой среде, где происходит разделение на два потока.

Поток 1. Шлам и пар после выщелачивания подвергаются взаимодействию с окислителем (серной кислотой) с образованием паров HF. Отходящие газообразные продукты улавливаются и поступают в систему газоочистки, где происходит их частичная регенерация с получением плавиковой кислоты. После взаимодействия с окислителем производится выщелачивание с полученной плавиковой кислотой и сгущение продукта до AlF_3 . Пульпа периодически пускается в оборот. Полученный фторид алюминия отфильтровывают, просушивают и направляют на склад готовой продукции. Пульпа в конце потока после выщелачивания поступает в сгуститель, откуда сгущенный кек, смешиваясь с продуктом сгущения, направляется на промывку, фильтрацию и сушку.

Поток 2. После дробления отходы попадают в сгуститель. Жидкая фаза обрабатывается гидроксидом аммония в мешалках и поступает на последующие стадии перемешивания и сгущения, а пульпа направляется на линию получения силикатного продукта.

Верхний слив, перемешанный с гидроксидом аммония после сгущения, разбавляют и выщелачивают с серной кислотой с добавкой глинозема. После фильтрации получают сульфат алюминия, который отгружается заказчику.

Пульпа сгустителя проходит через пресс-фильтр и сушку с получением силикатного продукта (микрокремнезема), который отгружается на производство кирпичей, силикатной продукции и стекла.

На всех этапах производственной деятельности осуществляется контроль за содержанием в воздухе токсичных веществ и его очистка, чтобы удалить из них вредные выбросы, которые могут попасть в окружающую среду.

Результаты проведенных исследований с учетом промышленной практики позволяют разработать безотходную технологию утилизации алюминиевых фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства с получением товарных продуктов (фторид алюминия, микрокремнезем, сульфат алюминия и др.).

Таблица 3

Основные способы переработки отходов производства

Процесс	Извлекаемый материал	Масштаб	Задача
Каустическое выщелачивание Осаждение	Криолит Фторид натрия	Промышленный Промышленный	Производство криолита Продажа, доход
Вакуумная дистилляция Гидратация	Криолит, натрий Углерод	Опытный Промышленный	Производство криолита Возврат катодного углерода
Обработка кислотой Дистилляция, пирогидролит	$HF(AlF_3)$, алюминат	Лабораторный	Производство AlF_3
Известковое выщелачивание	$HF(AlF_3)$, углерод алюминат		
Мембранный электролиз	AlF_3	Опытный	
Гидролитическая обработка	Нет	Пилотный	Переработка

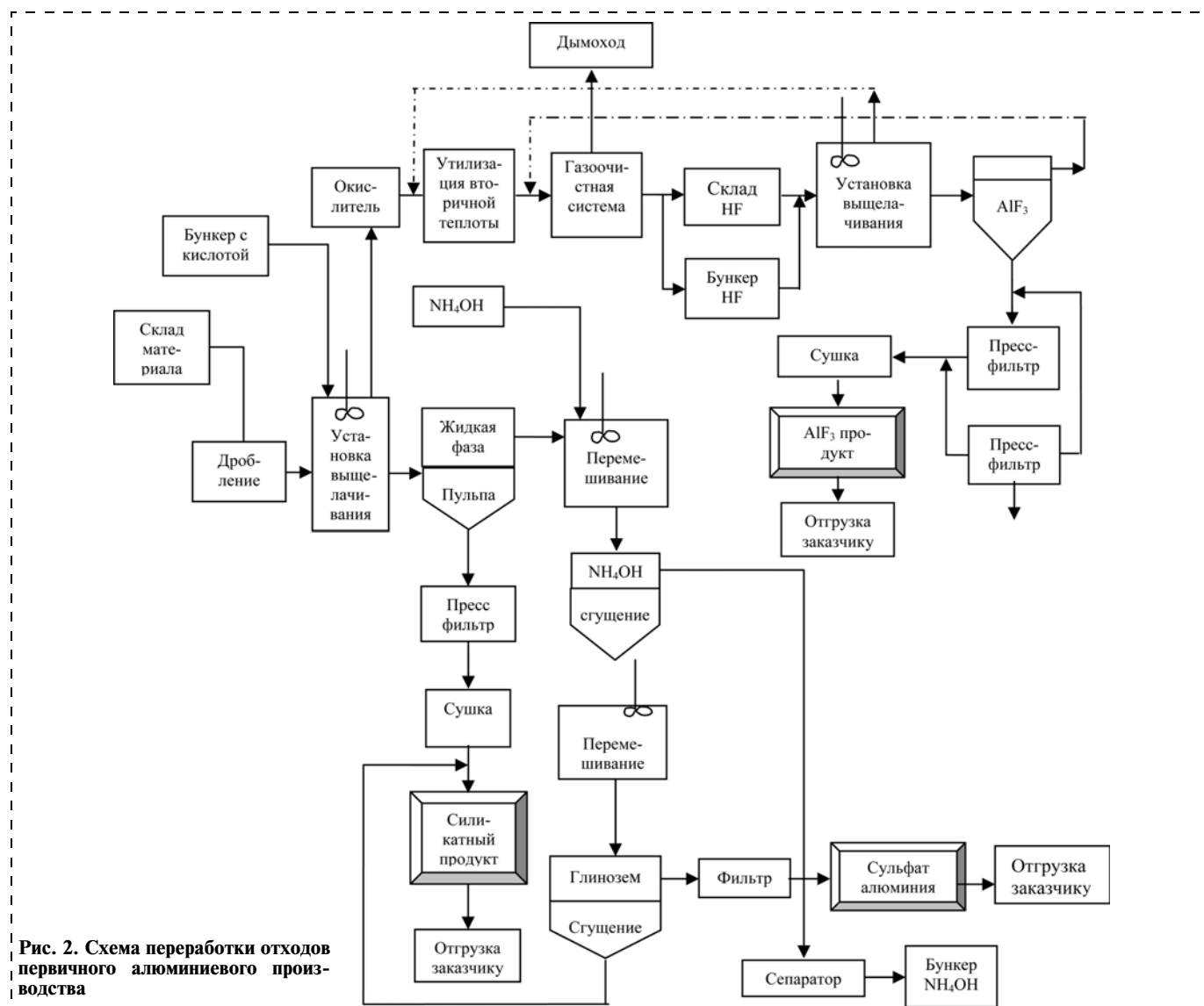


Рис. 2. Схема переработки отходов первичного алюминиевого производства

Применение новых способов рециклинга отходов производства позволяет улучшить экологическое состояние окружающей среды путем связывания водорастворимых фтористых соединений футеровки в нерастворимые формы, а нейтрализацией цианидов извлечь из сырья и футеровки около 90 % содержащихся в них соединений алюминия и щелочных металлов.

В настоящее время разработаны методологические и технические основы способов переработки алюминиевых отходов, которые смогут решить проблемы утилизации отходов электролизного производства.

Выбросы (пыль и газы) и твердые отходы (отработанная футеровка) производства являются отрицательными статьями материального баланса электролизера, поэтому появляется возможность развивать

ресурсосберегающие технологии наряду с решением вопросов безопасной жизнедеятельности в регионах, где сосредоточены алюминиевые предприятия.

Список литературы

1. **Экологические** аспекты производства алюминия электролизом: Аналитический обзор / А. Г. Акшиц, П. В. Поляков, А. В. Кучеренко, В. А. Крюковский. — Новосибирск: Изд. ГПНТБ СО АН СССР, 1991. — 92 с.
2. **Истомин С. П.** Проблемы использования фторсодержащих отходов криолитовых и алюминиевых заводов // Цветные металлы. — 2002. — № 1. — С. 63—67.
3. **Сорлье М.** Катоды в алюминиевом электролизе. Пер. с англ. П. В. Полякова. — Красноярск: Красноярский Государственный университет, 1997. — 460 с.
4. **Современные** способы переработки, обезвреживания и утилизации отработанной футеровки алюминиевых электролизеров НТЦ "Сибирский алюминий". — Санкт-Петербург, 1999. — 21 с.



УДК 504.054

А. В. Добряков, асп., **А. Б. Голованчиков**, д-р техн. наук, проф.,
Волгоградский государственный технический университет
E-mail: dobrykoff26@mail.ru

Очистка сточных вод от радиоактивных изотопов

Рассмотрены проблемы очистки сточных вод от радиоактивных изотопов. Проведено компьютерное моделирование процессов очистки сточных вод от радионуклидов в ионообменных колоннах.

Ключевые слова: жидкие радиоактивные отходы, сточные воды, радиоактивные изотопы, радионуклиды, адсорбция, ионный обмен, ионообменная колонна, ионит.

Dobryakov A. V., Golovanchikov A. B.
Sewage treatment from radioactive isotopes

Problems of sewage treatment from radioactive isotopes are considered in this article. Computer modeling of processes of sewage treatment from radionuclides in the ion-exchange column is realized.

Keywords: watery radioactive waste, sewage, radionuclides, radioactive isotopes, adsorption, ion-exchange, ion-exchange column, ionit.

На территории Российской Федерации расположено 36 атомных реакторов, 31 из которых работает и пять установлены. Кроме того, ведется строительство еще восьми атомных энергоблоков.

Три прилегающих к Волгоградской области субъекта РФ (Ростовская, Саратовская и Воронежская области) имеют на своей территории постоянно действующие АЭС: Балаковская АЭС, Нововоронежская АЭС и Ростовская (Волгодонская) АЭС. Суммарная мощность этих трех АЭС составляет порядка 7 ГВт, общее количество реакторов — 10, два реактора находятся в стадии строительства.

В процессе эксплуатации любой АЭС образуется огромное количество радиоактивных отходов. В литературе [4, 8] приведены средние данные по количеству отходов, образующихся при производстве электроэнергии. Так, при производстве 1 ГВт · год электроэнергии в атомном реакторе любой АЭС образуется около 1 т радиоактивных продуктов деления и коррозии, активностью в среднем около 10^{19} беккерелей (Бк) или 300 млн кюри (Ки), включающих около 300 различных радиоактивных изотопов 36 элементов периодической системы. Состав этих отходов включает в себя твердые, жидкие и газообразные радиоактивные отходы.

Огромную проблему представляют жидкие радиоактивные отходы (ЖРО), прежде всего своим

количеством и активностью. Объем жидких радиоактивных отходов зависит от типа реактора. На реакторе типа РБМК в год образуется до 100 тыс. м³ ЖРО, на реакторной установке типа ВВЭР — от 40 до 135 тыс. м³ ЖРО [1]. Большая их часть просто сливается в открытые водоемы, остальные хранятся в специальных емкостях на АЭС в ожидании кондиционирования и организованного захоронения.

В среднем же, по расчетам некоторых авторов [5, 6], на реакторе типа ВВЭР/PWR на 1 ГВт · год выработанного электричества образуется (Бк): трития — $1,5 \cdot 10^{13}$; цезия-137 — $3,4 \cdot 10^{10}$; бария-140 — $3,4 \cdot 10^{10}$; кобальта-58 — $27 \cdot 10^{10}$; кобальта-60 — $2,2 \cdot 10^{10}$; цезия-134 — $2,2 \cdot 10^{10}$; лантана-140 — $6,2 \cdot 10^9$; йода-131 — $5,2 \cdot 10^9$; хрома-51 — $3,7 \cdot 10^9$; марганца-54 — $2,5 \cdot 10^9$, а также 22 других радионуклида в меньших количествах. Все эти радионуклиды (или их дочерние продукты распада, которые тоже могут быть радиоактивными), в конце концов оказываются в грунтовых или поверхностных водах около АЭС. В результате, например, содержание токсичных радионуклидов стронция-90 и цезия-137 в водоемах около АЭС достигает $15...20$ Бк/м³ и $20...30$ Бк/м³ соответственно [10].

Для очистки сточных вод от радионуклидов используют три группы методов: *термические, сорбционные и мембранные*. Наиболее распространены сорбционные методы, которые предполагают поглощение радионуклидов твердой фазой. Применение сорбционной технологии для очистки сточных вод от радионуклидов подробно рассмотрено в ряде работ [7, 11, 14, 18]. Сорбция проводится как в динамических, так и статических условиях. Динамическая сорбция предполагает осуществление ее путем непрерывного фильтрования очищаемого раствора через слой сорбента. В качестве сорбентов в атомной промышленности широко применяют ионообменные смолы — органические полимеры с заданными свойствами, обладающие способностью к ионному обмену. В течение длительного времени в России для очистки сточных вод от радионуклидов используют катиониты марки КУ-2, КУ-2-8 и аниониты АВ-17-8, АН-31 и АН-2ФН.

Теоретические основы процесса ионного обмена изложены в работах [2, 16, 17]. Равновесная линия ионообмена, которая характеризует связь кон-

центрации поглощаемого вещества в растворе и концентрации этого вещества в катионите в состоянии равновесия, описывается формулой, аналогичной уравнению Ленгмюра для сорбционных процессов:

$$x = \frac{Ac}{1 + Bc},$$

где A и B — параметры равновесной линии сорбции; c — концентрация ионов в растворе, кг/м³; x — концентрация извлекаемого вещества в ионите, кг/кг.

В процессе теоретического исследования было проведено компьютерное моделирование процесса очистки сточных вод, содержащих радиоактивные изотопы, в ионообменной колонне [3, 13]. Приблизительно, не вдаваясь в подробности, ионообменную колонну можно представить в виде трубы, внутри которой на мелкой решетке расположен слой ионообменного материала (в нашем случае катионита, так как извлекаем из раствора положительно заряженные ионы) высотой h . Очищаемая жидкость пропускается через данный слой с определенным расходом (производительностью колонны). На выходе колонны получается очищенная вода. С течением времени происходит насыщение катионита радиоактивными изотопами и в момент времени t происходит проскок в фильтрат поглощаемых ионов и процесс останавливается. Таким образом определяется динамическая емкость катионита. Под динамической или рабочей обменной емкостью любого ионита (катионита или анионита) понимают количество грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита в фильтре при обработке воды до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов. Кроме того, данная модель позволяет определить в конечный момент времени t распределение концентрации извлекаемых ионов в растворе и катионите по высоте слоя и параметры равновесной линии адсорбции.

Моделирование процесса очистки сточных вод в ионообменной колонне с неподвижным слоем ионита на катионите КУ-2 для одновалентного цезия-137 дало значения коэффициентов $A = 132,34$ м³/кг и $B = 33,9$ м³/кг. Для двухвалентного радиоактивного стронция-90 параметры равновесной линии адсорбции соответственно равны $A = 135,7$ м³/кг и $B = 52,91$ м³/кг. Катионит КУ-2 был выбран из-за его ярко выраженных селективных свойств по отношению к положительным катионам стронция-90 и цезия-137.

Теоретическое исследование процесса ионного обмена проводилось в полуметровом слое катионита ($h = 0,5$ м) при следующих данных: в качест-

Таблица 1
Исходные параметры для моделирования процесса очистки сточных вод от стронция-90 и цезия-137

Наименование параметра	Размерность	Величины параметров	
		Стронций-90	Цезий-137
Производительность ионообменной колонны	м ³ /ч	10	10
Начальная концентрация в очищаемой воде	кг/м ³	$3,78 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$
Конечная концентрация в очищаемой воде	кг/м ³	$7,3 \cdot 10^{-10}$	$3,1 \cdot 10^{-8}$
Полная динамическая обменная емкость ионита	кг/кг	0,2137	0,6507
Параметры равновесной линии:			
A	м ³ /кг	67,85	132,35
B	м ³ /кг	52,91	33,89
Коэффициенты диффузии	м/с	$0,57 \cdot 10^{-9}$	$0,73 \cdot 10^{-9}$

ве начальной концентрации бралась концентрация радиоактивных ионов в жидких отходах первого контура АЭС ($1,9 \cdot 10^5$ Бк/л для цезия-137 и $1,5 \cdot 10^5$ Бк/л для стронция-90 [11]). В качестве конечных значений концентрации в растворе (воде) были взяты предельно допустимые концентрации (ПДК) радионуклидов в питьевой воде (10 Бк/л для цезия-137 и 3,7 Бк/л для стронция-90 [12]). Исходные параметры для моделирования процесса очистки сточных вод от стронция-90 и цезия-137 приведены в табл. 1. Связь между активностью и массой вещества выражается формулой [9]:

$$m = 2,8 \cdot 10^{-6} A_m T_{1/2},$$

где A_m — атомная масса радионуклида; $T_{1/2}$ — период полураспада, год; m — удельная масса, г/Ки.

Результаты проведенного моделирования приведены на графиках, которые соответствуют конечным моментам времени 333,88 ч для цезия-137

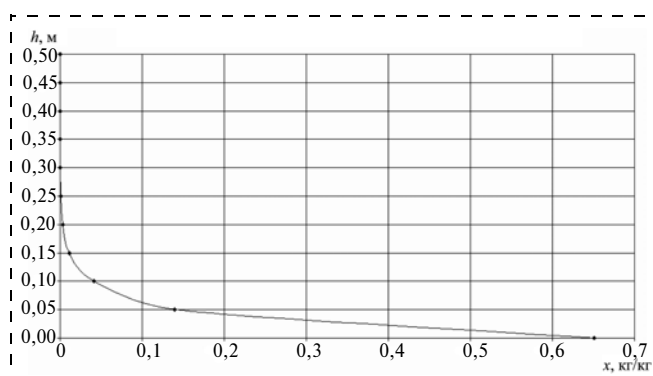


Рис. 1. Изменение рабочей концентрации x ионов цезия-137 в катионите по высоте неподвижного слоя катионита в конечный момент времени



и 132,82 ч для стронция-90 (рис. 1—4). На рис. 1 и 3 показано изменение рабочей концентрации x ионов цезия и стронция соответственно в гранулах катионита по высоте неподвижного слоя катионита в конечный момент времени t . На рис. 2 и 4 показано распределение равновесной c_p и рабочей c_k концентраций цезия и стронция соответственно в растворе по высоте неподвижного слоя катионита в конечный момент времени t .

В табл. 2 приведены данные по концентрациям ионов цезия и стронция в воде и катионите в конце периода очистки. Степень использования динамической емкости ионита в данном процессе очень мала и составляет всего лишь 5,42 % для цезия-137 и 22 % для стронция-90. Причиной такой низкой степени использования ионита являются малые концентрации извлекаемых веществ. Для увеличения степени использования ионита необходимо применять ионообменные колонны с движущимся слоем ионита.

Недостатки, присущие методу очистки сточных вод в неподвижном слое адсорбента (периодичность, трудность автоматизации, громоздкость аппаратуры, неполная обработка адсорбционной емкости, несо-

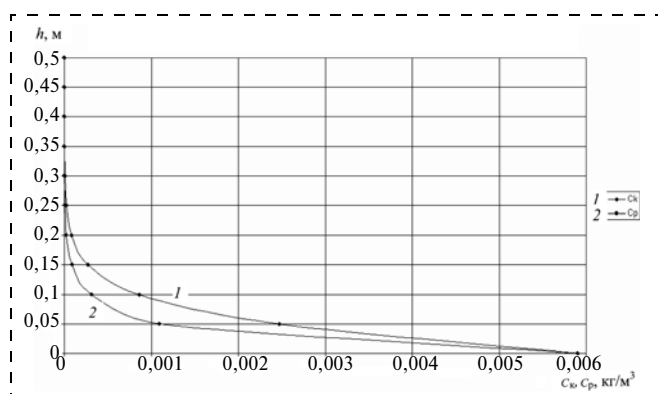


Рис. 2. Распределение рабочей c_k и равновесной c_p концентраций цезия-137 в растворе по высоте неподвижного слоя катионита в конечный момент времени t

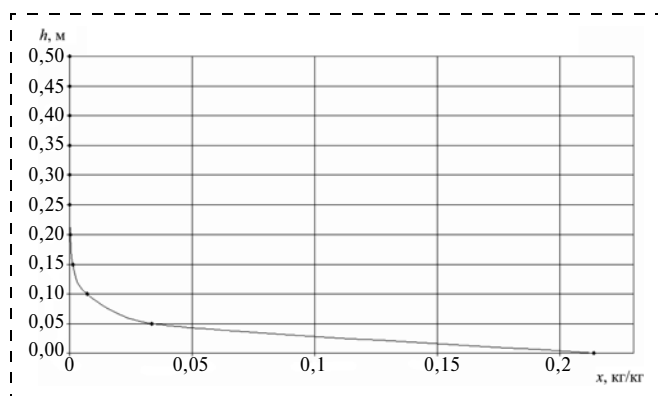


Рис. 3. Изменение рабочей концентрации x ионов стронция-90 в катионите по высоте неподвижного слоя катионита в конечный момент времени

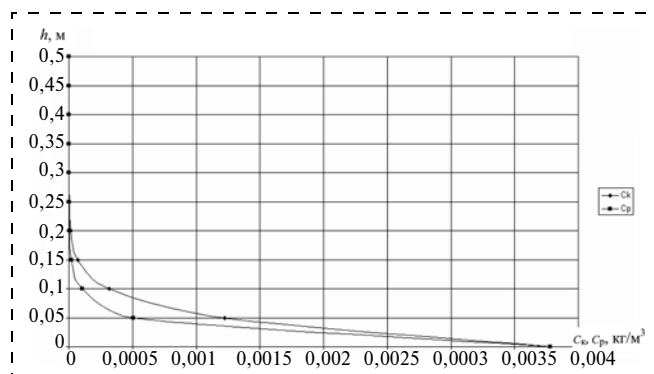


Рис. 4. Распределение рабочей c_k и равновесной c_p концентраций стронция-90 в растворе по высоте неподвижного слоя катионита в конечный момент времени t

вершенство стадии десорбции), стимулировали поиски путей интенсификации адсорбционного процесса с применением принципа непрерывности. Последний обеспечивается при циркуляции адсорбента в замкнутой системе и разделении адсорбционной колонны на локальные зоны, в каждой из которых в оптимальных рабочих режимах осуществляют одну из стадий процесса.

Адсорберы с движущимся слоем адсорбента представляют собой колонны, в которых зернистый адсорбент движется самотеком сверху вниз, либо перемешивается при помощи специальных транспортных устройств (элеваторов, шнеков).

Ниже приведены результаты расчетов на ЭВМ параметров ионообменных аппаратов с движущимся слоем ионита (в нашем случае катионита КУ-2) при очистке сточных вод от радиоактивных изотопов цезия-137: с начальной концентрацией $5,9 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ до конечной концентрации $3,1 \cdot 10^{-8}$ кг/м³:

- односекционная колонна с псевдоожиженным слоем катионита:
 - диаметр аппарата — 0,6 м;
 - высота аппарата — 3,255 м;
 - расход катионита — 17 255 кг/ч;
 - степень использования динамической емкости катионита — 5,42 %;
 - объем колонны — 0,92 м³;
- многосекционная колонна с псевдоожиженным слоем ионита:
 - диаметр аппарата — 0,6 м;
 - высота одной секции — 0,25 м;
 - число секций — 37;
 - общая высота секций — 9,25 м;
 - высота колонны с учетом сепарационных зон — 13,1 м;
 - расход катионита — 0,188 кг/ч;
 - степень использования динамической емкости катионита — 82,8 %;
 - объем колонны — 2,61 м³;

Таблица 2

Концентрация ионов цезия-137/стронция-90 в воде и катионите в конце периода очистки ($t = 333,88$ ч для цезия и $t = 132,82$ ч для стронция)

Высота слоя катионита h , м	Рабочая концентрация x в ионите, кг/кг	Рабочая концентрация c_k в растворе, кг/м ³	Равновесная концентрация c_p в растворе, кг/м ³
0,05	$0,14/3,35 \cdot 10^{-2}$	$2,47 \cdot 10^{-3}/$ $1,22 \cdot 10^{-3}$	$1,09 \cdot 10^{-3}/$ $5,07 \cdot 10^{-4}$
0,1	$0,0413/7,2 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-4}/$ $3,13 \cdot 10^{-4}$	$3,16 \cdot 10^{-4}/$ $1,07 \cdot 10^{-4}$
0,15	$1,163 \cdot 10^{-2}/$ $1,45 \cdot 10^{-3}$	$2,73 \cdot 10^{-4}/$ $7,21 \cdot 10^{-5}$	$8,81 \cdot 10^{-5}/$ $2,15 \cdot 10^{-5}$
0,2	$3,158 \cdot 10^{-3}/$ $2,82 \cdot 10^{-4}$	$8,17 \cdot 10^{-5}/$ $1,55 \cdot 10^{-5}$	$2,39 \cdot 10^{-5}/$ $4,16 \cdot 10^{-6}$
0,25	$8,359 \cdot 10^{-4}/$ $5,302 \cdot 10^{-5}$	$2,34 \cdot 10^{-5}/$ $3,17 \cdot 10^{-6}$	$6,32 \cdot 10^{-6}/$ $7,81 \cdot 10^{-7}$
0,3	$2,16 \cdot 10^{-4}/$ $9,723 \cdot 10^{-6}$	$6,51 \cdot 10^{-6}/$ $6,24 \cdot 10^{-7}$	$1,64 \cdot 10^{-6}/$ $1,43 \cdot 10^{-7}$
0,35	$5,17 \cdot 10^{-5}/$ $1,747 \cdot 10^{-6}$	$1,76 \cdot 10^{-6}/$ $1,19 \cdot 10^{-7}$	$4,17 \cdot 10^{-7}/$ $2,57 \cdot 10^{-8}$
0,4	$1,384 \cdot 10^{-5}/$ $3,08 \cdot 10^{-7}$	$4,66 \cdot 10^{-7}/$ $2,23 \cdot 10^{-8}$	$1,05 \cdot 10^{-7}/$ $4,54 \cdot 10^{-9}$
0,45	$3,427 \cdot 10^{-6}/$ $5,36 \cdot 10^{-8}$	$1,21 \cdot 10^{-7}/$ $4,07 \cdot 10^{-9}$	$2,59 \cdot 10^{-8}/$ $7,9 \cdot 10^{-10}$
0,5	$8,392 \cdot 10^{-7}/$ $9,201 \cdot 10^{-9}$	$3,1 \cdot 10^{-8}/$ $7,3 \cdot 10^{-10}$	$6,34 \cdot 10^{-9}/$ $1,36 \cdot 10^{-10}$

- ионообменная колонна непрерывного действия с движущимся плотным слоем катионита КУ-2:
 - диаметр колонны — 1,5 м;
 - высота движущегося слоя катионита — 0,65 м;
 - расход катионита — 0,109 кг/ч;
 - степень использования динамической емкости катионита — 83,3 %;
 - объем колонны — 1,15 м³.

Как видно из приведенных результатов расчетов, наилучшим вариантом является ионообменная колонна с движущимся плотным слоем катионита, так как в данном случае степень использования катионита наибольшая, а расход его соответственно наименьший. Кроме того, активный объем колонны с плотным движущимся слоем катионита меньше чем объем многосекционной колонны. Наименьший объем имеет односекционный аппарат с псевдоожиженным слоем, однако для него расход катионита в 150 тыс. раз выше, чем для колонны непрерывного действия с плотным движущимся слоем. Результаты аналогичных расчетов для стронция-90 приведены в табл. 3.

Существенным недостатком ионообменных колонн с движущимся и псевдоожиженным слоем ионита является быстрое разрушение и истирание гранул ионита при их столкновениях со стенками аппарата и между собой. При этом разрушение зе-

Таблица 3

Сравнение эффективности ионообменных аппаратов с движущимся слоем катиона КУ-2 для производительности 10 м³/ч для стронция-90 при начальной концентрации ионов в растворе $3,78 \cdot 10^{-3}$ кг/м³ конечной концентрации ионов в очищенной воде $7,3 \cdot 10^{-10}$ кг/м³

Тип аппарата	Параметры				
	Диаметр, м	Высота, м	Число секций	Расход катионита, кг/ч	Степень использования динамической емкости, доли
Односекционная колонна с псевдоожиженным слоем ионита	0,6	3,35	1	$9,15 \cdot 10^6$	$2,05 \cdot 10^{-5}$
Многосекционная колонна с псевдоожиженным слоем ионита	0,6	15,6	44	0,23	0,768
Многосекционная колонна с движущимся плотным слоем ионита	1,5	0,547	1	0,212	0,833

рен ионита в медленно движущемся сверху вниз слое гораздо меньше, чем в псевдоожиженных слоях многосекционных колонн. Еще больше снизить измельчение гранул ионита можно одев их в "рубашку" из ворсовой ткани или трикотажного материала с ворсом, элементы которого обращены наружу и их длина лежит в пределах 0,4...1,5 мм [15]. Выполненное таким образом покрытие гранул не позволяет при их использовании в движущемся или псевдоожиженном слое ударяться или истираться поверхностям гранул друг от друга, что предотвращает их измельчение и пылеобразование. Кроме того, происходит значительное увеличение срока службы адсорбента, а значит и производительности, уменьшение времени регенерации и возвращения гранул в режим адсорбции, что уменьшает необходимость в новых гранулах адсорбента, т. е. снижает его расход.

Подводя окончательный итог, можно сказать, что для очистки сточных вод от радиоактивных изотопов целесообразнее всего использовать методы очистки сточных вод в колоннах непрерывного действия с движущимся плотным слоем катионита КУ-2, так как именно в них обеспечивается наибольшая степень использования катионита и наименьший его расход, т. е. максимальное снижение затрат на процесс очистки.



Список литературы

1. Булатов В. Жидкие радиоактивные отходы в России: проблема без конца // Энергетика и безопасность. — 1999. — № 10. — С. 1—7.
2. Ветошкин А. Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды (теоретические основы): учеб. пособие. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004 — 325 с.
3. Голованчиков А. Б., Симонов Б. В. Применение ЭВМ в химической технологии и экологии. Массообменные процессы. Часть 4: учеб. пособие. — Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2001. — 117 с.
4. Ильин Л. А., Филов В. А. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества: Справочное издание. — Л.: Химия, 1990. — 464 с.
5. Кесслер Г. Ядерная энергетика. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 326 с.
6. Крышев И. И. Радиоактивность районов АЭС. — М.: РНЦ "Курчатовский институт", 1991. — 126 с.
7. Кузнецов Ю. В., Щebetковский Е. Н., Трусов А. Г. Основы очистки воды от радиоактивных загрязнений. — М.: Атомиздат, 1974. — 293 с.
8. Маргулис У. Я. Атомная энергия и радиационная безопасность. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 279 с.
9. Матвеев А. В., Козаченко В. И., Котов В. П. Практикум по дозиметрии и радиационной безопасности: учеб. пособие / Под ред. А. В. Матвеева; ГУАП. — СПб., 2006. — 88 с.
10. Медведев М. Н. Лазерное зонирование водоемов // Бюллетень ЦОИПАЭ. — 1999. — № 12. — С. 40—45
11. Никифоров А. С., Куличенко В. В., Жихарев М. И. Обезвреживание жидких радиоактивных отходов. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 190 с.
12. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. — М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2008. — 89 с.
13. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. пособие для вузов / Под ред. Ю. И. Дытнерского. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1991. — 496 с.
14. Очистка вод атомных электростанций / Под общ. ред. Л. А. Кульского. — Киев: Наукова думка, 1979. — 286 с.
15. Патент 2361662 РФ, МПК В 01 J 20/28. Адсорбент для очистки газов и жидкостей от вредных примесей / Голованчиков А. Б., Добряков А. В., Ефремов М. Ю., Беляева Ю. Л., Караева А. Э., Дулькин Б. А.; заявитель и патентообладатель Волгоградский государственный технический университет. — 2008116023/15; заявл. 22.04.08; опубл. 20.07.09, Бюл. № 20. — 7 с.
16. Проскураков В. А., Шмидт Л. И. Очистка сточных вод в химической промышленности. — Л.: Химия, 1977. — 452 с.
17. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: курс лекций по дисциплине "Процессы и аппараты защиты окружающей среды": Часть 1 / Сост. И. Г. Кобзарь, В. В. Козлова. — Ульяновск: УлГТУ, 2007. — 68 с.
18. Хоникевич А. А. Очистка радиоактивно-загрязненных вод. — М.: Атомиздат, 1974. — 326 с.

УДК 504.064.043:62/69

Е. С. Климов, д-р хим. наук, проф., О. А. Давыдова, д-р хим. наук, проф.,
М. В. Бузаева, канд. хим. наук, доц., В. В. Семенов, канд. техн. наук,
З. В. Подольская, асп., Е. С. Ваганова, асп., Р. Б. Шарифзянов, асп., А. С. Ваганов, асп.,
Ульяновский государственный технический университет
E-mail: olga1103@inbox.ru

Экологическая безопасность ферритизированных гальванических шламов

Рассмотрено загрязнение ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами древесных насаждений и водных объектов вблизи промышленного предприятия. Для предотвращения попадания ионов металлов в окружающую среду предложен способ ферритизации гальванических шламов. Ферритизированные гальванические шламы экологически более безопасны, что подтверждено исследованиями их выщелачиваемости в различных средах и в природной среде (почве).

Ключевые слова: ионы тяжелых металлов, нефтепродукты, гальванический шлак, ферритизация, технология.

Klimov E. S., Davydova O. A., Buzaeva M. V., Semenov V. V., Podolskaya Z. V., Vaganova E. S., Sharifzyanov R. B., Vaganov A. S. Ecological safety of ferritisation galvanic sludges

Pollution by ions of heavy metals and mineral oil of wood plantings and water objects near to the industrial enterprise is considered. For prevention of hit of ions of metals in environment the way of ferritisation galvanic sludges is

offered. Ferritisation galvanic sludges are ecologically more safe, that is confirmed by their researches alkaline in various environments and in an environment (soil).

Keywords: ions of heavy metals, mineral oil, the galvanic sludge, the ferritisation, technology.

Целью данной работы явилось исследование загрязнений окружающей среды вблизи промышленного предприятия и поведение ферритизированных гальванических шламов (ФГШ) в различных средах и в природной среде.

Методика эксперимента

Отбор растительного материала — ветвей деревьев производился согласно ГОСТ 17.4.4.02—84. Отбор и хранение проб воды производились согласно требованиям соответствующего ГОСТа. Определение общего содержания нефтепродуктов в воде проводили методом колоночной хроматографии с гравиметрическим окончанием по методике ПНДФ 14.1:2.116—97.

Исследования интенсивности вымывания тяжелых металлов из ФГШ проводились по методике ВНИИ ВОДГЕО [1]. В качестве выщелачивающей жидкости использовали слабый раствор азотной кислоты $pH = 5,5$. Степень вымываемости различных веществ из шлама характеризуется величиной L_r , показывающей массу вымываемого вещества в мг/кг сухого ФГШ.

Полевой опыт проводился в период 2004–2006 гг. по ГОСТ 17.4.4.02–84. Первая учетная делянка контрольная (без шламов), вторая — с исходным гальваническим шламом, третья — с ферритизированным гальваническим шламом. Площадь учетных делянок в опыте была 1 м^2 ($0,5 \text{ м} \times 2,0 \text{ м}$), повторность четырехкратная, размещение вариантов систематическое. Пастообразный ФГШ (размер частиц $0,09...5,0 \text{ мм}$) размещали на учетной делянке слоем 4 см. Аналогично размещали неферритизированный исходный шлам (размер частиц $0,05...4,0 \text{ мм}$). До внесения шламов в грунт были отобраны пробы почвы по почвенным горизонтам для определения в ней фонового валового содержания и подвижных форм ионов тяжелых металлов. Затем в почву были внесены исходный и ферритизированный шламы.

Анализ на ионы тяжелых металлов (ИТМ) выполнялся на атомно-абсорбционном спектрофотометре С-115-М1 по стандартной методике [2].

Результаты анализов обрабатывались с помощью программы Microsoft Excel с вычислением среднего арифметического значения (\bar{x}), его отклонения ($d = x - \bar{x}$), стандартного отклонения ($S = \sqrt{\sum d^2 / (n-1)}$) и доверительного интервала ($\bar{x} \pm \varepsilon_\alpha$ или $\bar{x} \pm St_{\alpha, \kappa} / n$). Значение заданной доверительной вероятности (α) принималось равным 0,95 (данная величина принята в аналитической химии при статистической обработке экспериментальных данных). Значение коэффициента Стьюдента $t_{\alpha, \kappa} = 3,18$ (для $\alpha = 0,95$; n — общего числа определений, равного 4; $\kappa = n - 1$ — числа степеней свободы, равного 3) [3].

Загрязнение древесных насаждений и водных объектов промышленными стоками машиностроительного предприятия

Применяемые в отечественном машиностроении водоемкие технологии с использованием химических реагентов, содержащих ионы тяжелых металлов (гальванические процессы), несовершенство и неэффективность систем очистки сточных вод приводит к загрязнению растительности и водных ресурсов в окружающей среде. Изучение динамики накопления ионов тяжелых металлов вблизи крупных предприятий, таких как "Улья-

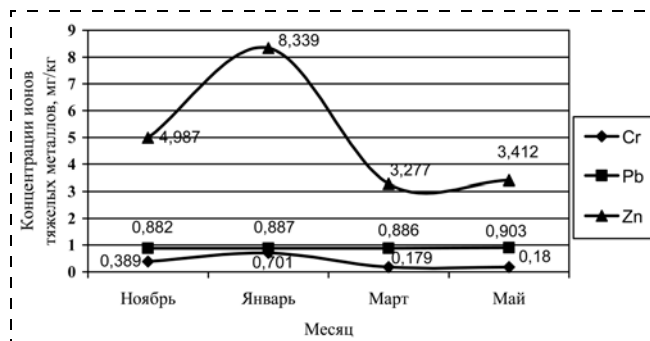


Рис. 1. Содержание ионов тяжелых металлов в липе

новский автомобильный завод", показывает их значительную концентрацию в древесных насаждениях и водных объектах (реке Свияга).

В древесных городских насаждениях содержание ионов цинка, свинца и хрома (мг/кг) составляет соответственно: 6,41; 0,90; 0,70 (в березе); 4,51; 1,00; 0,75 (в тополе); 8,34; 0,90; 0,70 (в липе) — рис. 1. На этой же территории содержание ионов цинка, свинца и хрома в почве, мг/кг: 23,52 (1,02 ПДК); 49,50 (1,55 ПДК); 4,44 (0,7 ПДК).

Предельно допустимые концентрации в почве, мг/кг: ионов цинка — 23,0; ионов свинца — 32,0; ионов хрома — 6,0.

Проведенные исследования показали, что наблюдается динамичное загрязнение ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами воды реки Свияга с их последующим накоплением в донных отложениях реки. При исследовании динамики загрязнения реки Свияга ионами тяжелых металлов установлено, что в период 2006 г. концентрации в воде составили, мг/л: ионов хрома (+6) — 0,08 (4 ПДК); ионов цинка — 0,05 (5 ПДК); ионов железа — 0,90 (9 ПДК).

Предельно допустимые концентрации в воде водных объектов для рыбохозяйственного назначения составляют, мг/л: хрома (+6) — 0,02; цинка — 0,01; железа — 0,1.

Предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в воде водных объектов для рыбохозяйственного назначения составляют — 0,05 мг/л; в донных отложениях допускаются до 50 мг/кг.

В течение 2005 г. максимальное содержание нефтепродуктов в пробах воды реки Свияга составляло 150 мг/л (3000 ПДК), а в донных отложениях 16 750 мг/кг (335 ПДК). Такое критическое состояние реки связано, в первую очередь, с аварийным сбросом нефтесодержащих продуктов с очистных сооружений машиностроительного предприятия "Ульяновский автомобильный завод".

Последующая динамика загрязнения воды реки Свияга нефтепродуктами составила до 396 ПДК в 2006 г. и до 48 ПДК в 2007 г. В донных отложениях



наблюдается превышение нефтепродуктов до 25 ПДК в 2006 г. и до 10 ПДК в 2007 г. Довольно значительное уменьшение содержания нефтепродуктов в донных отложениях реки Свияга очевидно связано с тем, что идет вымывание нефтепродуктов из них, с последующим переносом нефтепродуктов по течению реки.

Следует отметить, что нефтепродукты относятся к числу трудноокисляемых микроорганизмами веществ, поэтому самоочищение водоемов, загрязненных нефтью, происходит медленно. Еще одной особенностью нефтяных загрязнений является способность захватывать и концентрировать другие загрязнения, в частности тяжелые металлы и пестициды. Когда нефтепродукты распределяются на большой площади, то сильно возрастает вероятность протекания различных реакций, так как вещества, растворимые в нефти, получают возможность участвовать в разнообразных химических процессах.

Становится очевидным, что проблемы, возникающие при попадании нефтепродуктов в водные объекты, нередко имеют более долговременный характер, чем это обычно предполагается. Процессы самоочищения поверхностных природных водоемов, загрязненных нефтепродуктами, сложны и неоднозначны. Наряду с конкурирующими процессами накопления идут процессы вымывания нефтепродуктов из донных отложений. Вероятность протекания данных процессов подтверждают результаты анализа динамики загрязнения нефтепродуктами реки Свияга.

Таким образом, отслеживая динамику можно отметить, что, с одной стороны, наблюдаются процессы самоочищения поверхностных вод реки Свияга от ионов хрома, цинка и нефтепродуктов, с другой стороны, эти процессы могут быть вызваны процессами накопления этих загрязнителей в донных отложениях реки. Причиной снижения содержания загрязняющих веществ в речной воде может быть также нестабильность работы предприятий и уменьшение объемов производства.

Основные положения научных основ организации технологических процессов

На основе общесистемных, общетехнических, общетехнологических законов, законов инженерной экологии и практики можно сформулировать систему принципов, которыми необходимо руководствоваться при создании ресурсосберегающих экологизированных технологий (РЭТ) [4–6].

1. Принцип системной экологизации технологий в рамках системной экологизации производства.

Экологическая эффективность предприятия и любой системы зависит от экологичности всех составляющих их элементов. Наиболее значимым этапом экологизации является трансформация традиционных технологий в малоотходные и ресурсосберегающие. Этот этап позволит в дальнейшем перейти к замкнутым системам с максимальной полной переработкой всех поступающих ресурсов. Последним этапом развития малоотходных технологий является организация разумного депонирования (захоронения) неминуемых остатков.

2. Принцип адаптации гальванического производства и систем очистки сточных вод.

Этот принцип реализуется рациональной организацией систем очистки промывных (локальные системы очистки) и сточных вод. Системы очистки максимально предотвращают попадание загрязнений на очистные сооружения.

3. Принцип замкнутых циклов движения материальных потоков.

Реализация этого принципа с возвратом ценных компонентов в технологический цикл наиболее эффективно обеспечивает минимизацию негативного воздействия отходов на окружающую среду.

4. Общетехнические принципы построения сложных систем в применении к технологическим процессам:

- малая энергозатратность;
- эмерджентность (необходимое свойство технологической системы);
- оптимизация размеров и месторасположения в пространстве;
- обеспечение необходимого разнообразия (взаимозаменяемость);
- автоматизированное управление технологическим процессом;
- контроль технологических параметров функционирования системы;
- обеспечение нормативно-технической документацией.

Ферритизация как способ обезвреживания гальванических шламов

Одним из новых направлений в решении проблемы обезвреживания шламов является их химическая стабилизация (ферритизация). Несмотря на то, что способ ферритизации известен давно, производственная технология процесса ферритизации, соответствующая изложенным выше принципам организации технологических процессов, разработана недавно [7].

Сущность способа заключается в образовании на поверхности частиц гидроксидов металлов прочно адгезированного слоя смешанных оксидов металлов и железа — ферритов. Процесс феррити-



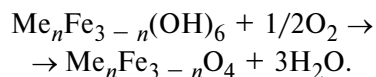
Рис. 2. Структурная технологическая схема процесса ферритизации

зации гальванических шламов протекает в щелочной среде ($\text{pH} = 9 \dots 11$), содержащей ионы Fe(II) , при температуре не ниже 60°C . В качестве ферритизирующего реагента применяют сульфат железа (II).

При подщелачивании суспензии шлама, содержащей ионы Fe^{2+} , протекает следующая реакция:



При последующем окислении смеси кислородом воздуха образуются ферриты тяжелых металлов:



Ферритизированные гальванические шламы практически нерастворимы в воде и слабокислых средах [8].

Разработанная для производственных условий технологическая схема ферритизации приведена на рис. 2.

Основные стадии технологического процесса:

- приготовление в реакторе суспензии шлама влажностью $\approx 95\%$ или из "старого" гальванического шлама (ГШ) влажностью $75 \dots 80\%$;

- ферритизация шлама: дозированная подача в реактор растворов сульфата двухвалентного железа и едкого натра, нагрев смеси при перемешивании

до температуры $70 \dots 75^\circ\text{C}$, барботаж смеси воздухом;

- промывка и обезвоживание ФГШ;
- контроль степени обезвреживания шлама.

На основании расчета класса опасности ФГШ и биотестирования водных вытяжек установлено, что они относятся к практически нетоксичным отходам 5-го класса опасности.

Гальванические шламы, длительное время (2 года и более) находящиеся на хранении, в реакцию ферритизации не вступают. Для образования ферритов требуется предварительная активация "старых" шламов, что достигается их обработкой кислотным реагентом в течение $15 \dots 20$ мин при $\text{pH} = 3,8 \dots 4,0$.

Выщелачиваемость ионов тяжелых металлов (ИТМ) из ферритизированного гальванического шлама

Было определено валовое содержание тяжелых металлов в шламах и их растворимость в воде и кислой среде (табл. 1).

Растворимость исходного шлама в кислой среде значительно больше, чем ферритизированного: в 564 раза по хрому, 103 — по цинку, 80 — по меди, 41 — по никелю, 16 — по свинцу. В водных вытяжках растворимость исходного шлама больше ферритизированного в 68 раз по никелю, в 21 раз по хрому, в 14 раз по цинку. Ионов меди и свинца не обнаружено. При этом содержание ИТМ в водных вытяжках не превышает значений ПДК этих металлов в воде хозяйственно-питьевого использования. Длительная обработка ФГШ водой (до 60 дней) не приводит к возрастанию концентраций ионов тяжелых металлов в вытяжке.

В качестве контролируемых металлов для изучения динамики выщелачиваемости ионов тяже-

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в исходном и ферритизированном гальваническом шламах и их растворимость в воде и кислой среде ($\text{pH} = 3,5$) при температуре 20°C

Шлам	Металл	Валовое содержание, мг/кг	Концентрация, мг/л	
			в кислотной вытяжке	в водной вытяжке
Исходный	Cu	3920	210,1	3,93
	Ni	390	112,5	3,41
	Zn	9360	1328,6	5,32
	Cr	38 650	8651,3	8,49
	Pb	380	49,8	3,06
Ферритизированный	Cu	2450	2,6	н/о
	Ni	318	2,72	0,05
	Zn	6793	12,95	0,37
	Cr	16 200	15,34	0,41
	Pb	180	3,21	н/о



Таблица 2

Выщелачиваемость ионов хрома и меди из ФГШ в динамическом режиме (рН = 5,5) при температуре 20 °С в течение 24 ч

Дни	Концентрация ионов хрома (III) в элюате, мг/л	L_p , мг/кг	Концентрация ионов меди в элюате, мг/л	L_p , мг/кг	рН элюата
1	0,90	9,00	0,12	1,20	7,35
2	1,25	12,50	0,21	2,10	7,55
3	1,55	15,50	0,38	3,80	7,75

лых металлов L_p из ФГШ были выбраны ионы хрома и меди, так как из литературных данных известно, что хром самый подвижный элемент в почвах, а медь менее подвижна в почвах [9]. Исследования проводили в динамическом и статическом режиме.

В табл. 2 и на рис. 3 представлены результаты экспериментальных исследований в динамическом режиме.

Для ионов хрома характерно более интенсивное выщелачивание в первый день, для меди интенсивность выщелачивания носит постепенный характер. Увеличение значения рН элюата обусловлено щелочным резервом ФГШ, рН которого 9...10. В целом концентрации ИТМ на третий день в элюате незначительны: 1,55 мг/л (для хрома) и 0,38 мг/л (для меди).

Результаты исследований выщелачиваемости в статическом режиме представлены в табл. 3 и на рис. 4.

Таким образом, при выщелачивании ионов тяжелых металлов из ФГШ в динамическом режиме, концентрации ИТМ в растворах превышают ПДК в воде хозяйственно-питьевого назначения по сравнению со статическим режимом.

Однако полученные результаты не позволяют с достаточной точностью прогнозировать поведение

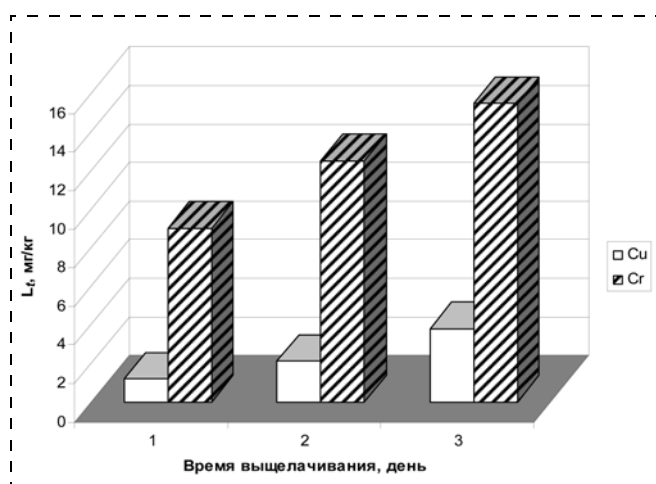


Рис. 3. Выщелачиваемость ионов хрома и меди из ФГШ в динамическом режиме

Таблица 3

Выщелачиваемость ионов хрома и меди из ФГШ в статическом режиме (рН = 5,5) при температуре 20 °С в течение 24 ч

Дни	Концентрация ионов хрома (III) в элюате, мг/л	L_p , мг/кг	Концентрация ионов меди в элюате, мг/л	L_p , мг/кг	рН элюата
1	0,49	4,90	0,04	0,40	7,25
2	0,39	3,90	0,02	0,20	7,50
3	0,27	2,70	н/о	—	7,70

ферритизированных гальванических шламов при их захоронении в открытый грунт, так как при этом невозможно в полной мере учесть сложные физико-химические процессы, протекающие при контакте атмосферных осадков с ФГШ. Более надежные данные для решения этого вопроса можно получить путем исследования поведения гальванических шламов при их захоронении в открытый грунт.

Миграция ионов тяжелых металлов из гальванических шламов в полевых условиях

Основной задачей химического обезвреживания гальванических шламов методом ферритизации является получение малотоксичных отходов и их дальнейшее захоронение на открытых площадках (полигонах твердых бытовых отходов, выработанных карьерах), не прибегая к строительству специальных полигонов для захоронения токсичных промышленных отходов.

Для выяснения вопроса о возможности экологически безопасного депонирования ФГШ в открытый грунт были проведены исследования миграции катионов металлов из данных отходов в полевых условиях. Результаты исследования миграции ИТМ по почвенным горизонтам представлены в табл. 4.

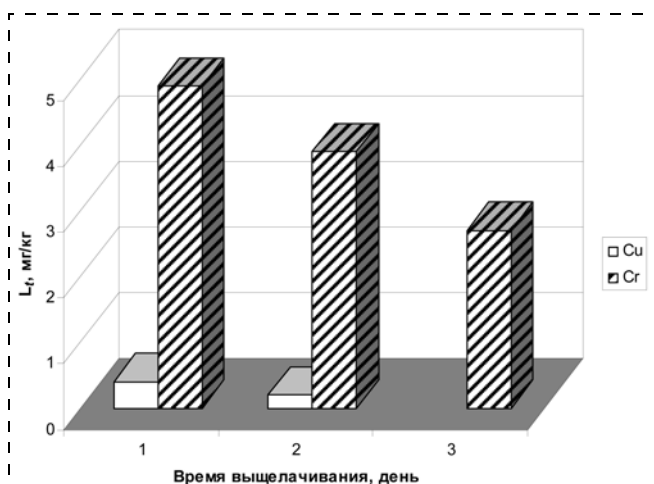


Рис. 4. Выщелачиваемость ионов хрома и меди из ФГШ в статическом режиме



Таблица 4

Миграция ИТМ из исходного гальванического и ферритизированного гальванического шламов в полевых условиях

Почвенный горизонт	Мощность, см	Металл	Гумус, %	рН	Концентрация подвижных форм, мг/кг, с начала опыта в днях									ПДК подвижных форм ИТМ в почве, мг/кг
					165			365			570			
					Контрольная делянка	Делянка с ГШ	Делянка с ФГШ	Контрольная делянка	Делянка с ГШ	Делянка с ФГШ	Контрольная делянка	Делянка с ГШ	Делянка с ФГШ	
А	0...25	Cu	6,2	6,9	0,3	467,0	0,3	0,3	1176,0	0,4	0,3	1484,0	0,4	3,0
		Zn			3,1	1159,0	4,0	3,1	1879,0	4,2	3,2	2663,0	4,3	23,0
		Cr			2,8	3804,0	3,2	3,0	8287,0	3,3	3,2	9966,0	3,4	6,0
		Ni			1,7	4,9	1,8	1,7	97,0	1,9	1,7	150,0	2,1	4,0
		Pb			2,9	126,8	3,0	2,9	203,0	3,1	2,9	262,0	3,2	6,0
А1	25...39	Cu	5,7	7,0	0,2	251,0	0,3	0,2	600,0	0,3	0,2	715,0	0,3	3,0
		Zn			2,2	537,0	2,2	2,4	1305,0	2,5	2,5	1686,0	2,5	23,0
		Cr			3,2	1684,0	3,4	3,2	5246,0	3,6	3,2	6594,0	3,6	6,0
		Ni			1,3	4,6	1,4	1,3	26,2	1,5	1,3	26,2	1,5	4,0
		Pb			2,7	2,9	2,8	2,7	61,0	2,8	2,8	65,2	2,8	6,0
А2	39...55	Cu	3,7	7,1	0,2	0,3	0,3	0,2	97,5	0,3	0,2	101,0	0,3	3,0
		Zn			2,0	187,0	2,2	2,1	581,0	2,3	2,1	603,0	2,3	23,0
		Cr			2,3	931,0	2,5	2,3	2120,0	2,5	2,3	2150,0	2,5	6,0
		Ni			1,3	1,4	1,4	1,4	12,0	1,4	1,4	11,5	1,4	4,0
		Pb			2,0	2,1	2,0	2,0	10,0	2,0	2,0	10,0	2,0	6,0
В	55...100	Cu	1,4	7,2	0,1	0,3	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	3,0
		Zn			1,9	3,1	2,1	2,0	119,0	2,1	2,0	119,0	2,1	23,0
		Cr			2,5	3,8	2,8	2,5	287,0	2,8	2,5	293,0	2,8	6,0
		Ni			1,0	1,3	1,2	1,0	6,4	1,2	1,0	6,4	1,2	4,0
		Pb			2,3	2,6	2,4	2,3	5,6	2,4	2,3	5,6	2,4	6,0
СА	100...150	Cu	0,6	7,3	0,1	0,3	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3	3,0
		Zn			1,7	2,2	1,8	1,8	4,1	1,8	1,8	4,1	1,8	23,0
		Cr			3,1	3,8	3,4	3,1	22,9	3,4	3,1	22,9	3,4	6,0
		Ni			2,1	2,6	2,4	2,1	12,3	2,4	2,1	12,3	2,4	4,0
		Pb			4,5	4,6	4,5	4,5	10,2	4,5	4,5	10,2	4,5	6,0

В результате исследований установлено, что через 570 дней миграции ИТМ из исходного (неферритизированного) шлама в естественных природных условиях в почву переходит около 50 % тяжелых металлов. Значительное повышение концентраций ИТМ в верхнем почвенном горизонте отмечалось уже через полгода. В почвенном профиле наблюдалась выраженная вертикальная миграция элементов.

Необходимо отметить аккумулирующее действие факторов, обусловленное большой мощностью гумусового горизонта, высоким содержанием органического вещества (до 6,2 %) и реакцией среды, близкой к нейтральной (рН = 6,9...7,3).

Содержание тяжелых металлов в гумусовом горизонте превышает ПДК почв, следовательно, здесь создается наибольшая угроза микробиоте. По валовому количеству тяжелых металлов, переходящих в почву из неферритизированного шлама,

элементы располагаются в следующем порядке: Cr > Zn > Cu > Pb > Ni.

В опытах с ферритизированным гальваношламом количество ИТМ, переходящих в почву, на несколько порядков меньше по сравнению с исходным шламом и находится в пределах ПДК подвижных форм этих металлов в почве. По валовому количеству тяжелых металлов, переходящих в почву из ФГШ, элементы располагаются в следующем порядке: Cr > Zn > Pb > Ni > Cu.

Таким образом, даже при высоком валовом содержании тяжелых металлов в ферритизированном гальваническом шламе, концентрации ионов тяжелых металлов в почве и грунтовых водах будут находиться на уровне природного фона.

Результаты экспериментальных исследований интенсивности вымывания тяжелых металлов из ферритизированных шламов и динамики их вы-



мываемости во времени, а также расчет класса опасности ФГШ, позволяют рекомендовать данные отходы к захоронению в открытый грунт, особенно, если при этом принимать противофильтрационные меры — уплотнение шлама, прокладку водонепроницаемыми слоями.

Список литературы

1. Яковлев С. В., Волков Л. С., Воронов Ю. В. Обработка и утилизация осадков производственных сточных вод. — М.: Химия, 1999. — 448 с.
2. Крешков А. П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Количественный анализ. — М.: Химия, 1976. — Т. 2. — 480 с.
3. Урбах В. Ю. Математическая статистика для биологов и медиков. — М.: Академия наук СССР, 1983. — 267 с.
4. Виноградов С. С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование / Под ред. В. Н. Кудрявцева. — М.: Глобус, 2005. — 368 с.
5. Виноградов С. С. Разработка принципов создания экологически безопасного гальванического производства // Автореф. дис.... д-р техн. наук. — М.: РХТУ, 2004. — 36 с.
6. Варламова С. И. Научные основы организации технологических процессов для комплексного решения приоритетных ресурсосберегающих и экологических проблем машиностроительных производств // Дис.... д-р техн. наук. — Казань, 2006. — 304 с.
7. Семенов В. В., Варламова С. И., Климов Е. С. Обезвреживание шламов гальванических производств методом ферритизации // Экология и промышленность России. — 2005. — Январь. — С. 34—36.
8. Пинаев А. В., Семенов А. В., Савиных В. В., Климов Е. С. Исследование выщелачиваемости ионов тяжелых металлов из ферритизированных шламов гальванического производства // Экология и промышленность России. — 2006. — Август. — С. 24—25.
9. Орлов Д. С. Химия почв. — М.: Изд. МГУ, 1985. — 376 с.

УДК 628.543

Б. С. Ксенофонтов, д-р техн. наук, проф., **С. Н. Капитонова**, канд. техн. наук, **А. С. Козодаев**, канд. техн. наук, **Р. А. Таранов**, **С. Д. Морозов**, МГТУ им. Н. Э. Баумана
E-mail: clear81@rambler.ru

Возможности доочистки сточных вод с использованием комбинированных флотомашин с фильтрующими элементами

Рассмотрены различные варианты доочистки сточных вод в комбинированных флотомашинах с использованием сетчатых, адсорбционных и адсорбционно-сетчатых фильтрующих элементов. Отмечено, что при использовании всех типов фильтрующих элементов проявляется эффект коалесценции микрофлотокомплексов. Результаты испытаний фильтрующих элементов с различными видами загрузок указывают на наличие остаточных концентраций гидрофобных загрязнений, не превышающих нормативные показатели, необходимые для сброса очищенных сточных вод в водоем рыбохозяйственного назначения.

Ключевые слова: сточные воды, очистка, флотационные машины, фильтрующие элементы.

Ksenofontov B. S., Kapitonova S. N., Kozodaev A. S., Taranov R. A., Morozov S. D.
Possibilities of additional cleaning of sewage using combinations of flotation machines and filters

Described various combinations of flotation machines with mesh, adsorption and mesh-adsorption filters.

It is noticed that use of all types of filtering elements leads to association of small flotation complexes. Results of tests of filtering elements with various kinds of loadings indicate presence of residual concentrations of the hydrophobic pollutants which are not exceeding standard limits for cleared sewage dumped in water objects used for fish-growing.

Keywords: sewage, clearing, flotation machines, filtering elements.

В практике очистки сточных вод с использованием флотации обычно достигается остаточная концентрация загрязняющих гидрофобных веществ в очищенной воде примерно 4...10 г/л [1—2]. При этом имеются определенные возможности дальнейшего снижения концентрации, о которых в литературе практически не упоминается, заключающиеся в том, что не все вещества, даже перешедшие во флотокомплексы, извлекаются. При флотации вообще не извлекаются гидрофильные и растворенные вещества. Поэтому для повышения эффективности работы флотомашин целесообразно

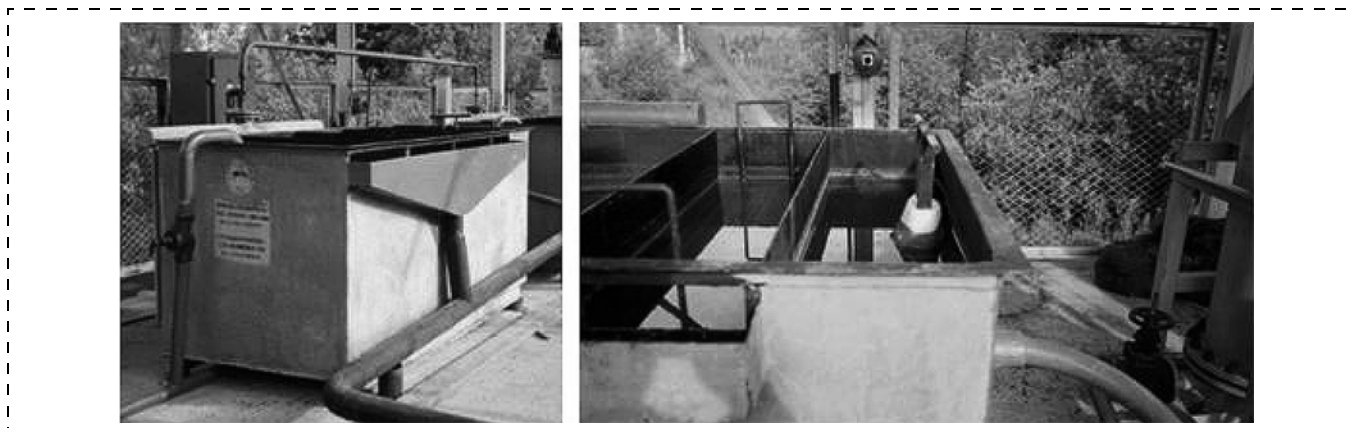


Рис. 1. Флотационная машина, внедренная на Усть-Илимской ГЭС ОАО "Иркутскэнерго"

ным является использование в выходной камере фильтрующих элементов, в которых проявляются явления коалесценции и адсорбции.

На Усть-Илимской ГЭС ОАО "Иркутскэнерго" были проведены предварительные испытания внедрения тканевых и нетканых сорбентов (например, нетканого материала "Мегасорб") в выходной камере флотомашин (рис. 1).

Измерения, проведенные на Усть-Илимской ГЭС, показали, что с использованием такой флотомашин может быть достигнута очистка нефте-содержащих стоков до 0,54...0,79 мг/л. Результаты этих испытаний явились стимулом для разработки на кафедре "Экология и промышленная безопасность" МГТУ им. Н. Э. Баумана комбинированной флотационной машины с фильтрующими элементами (рис. 2). Эта машина включает корпус 1, на внешней стороне которого установлен патрубок 2 для подачи исходной сточной воды, пенный желоб 3 и патрубок 4 для вывода загрязнений в виде пенного продукта, а также патрубок 5 для вывода очи-

щенной воды. Внутри корпуса установлены дисковые аэраторы 6, через которые подается газ (воздух), а также полупогружные перегородки 7, блок тонкослойного улавливания пузырьков 8, устройство для регулирования уровня жидкости 9 и фильтрующий элемент, включающий каркас 10 с перфорированными внешней и внутренней поверхностями 11, между которыми расположена фильтрующая загрузка 12.

Принцип работы такой установки заключается в следующем. Исходная сточная вода подается через патрубок 2 и поступает в расположенную в нижней части корпуса флотомашин зону аэрации, создаваемую дисковыми аэраторами 6, являющимися генераторами пузырьков газа (воздуха). При движении воды в зоне аэрации гидрофобные загрязнения при контактах с пузырьками слипаются в комплексы (частица—пузырек). Образовавшиеся флотокомплексы, частицы загрязнений и пузырьки воздуха поднимаются вверх, образуя пенный слой, который самотеком или принудительно выводится из корпуса машины через пенный желоб 3 и патрубок 4 в шламоборник. Очищенная вода из зоны аэрации выводится через блок тонкослойного улавливания пузырьков 8, состоящего из параллельно расположенных полок.

Флотокомплексы, попавшие в междуполочное пространство, быстро достигают верхней полки вследствие незначительного расстояния между полками (10...150 мм). Прилипшие к верхней полке флотокомплексы объединяются (коалесцируют) в большие агрегаты, что способствует появлению большой выталкивающей силы и быстрому всплыванию этих комплексов в верхний пенный слой. Очищенная жидкость, прошедшая междуполочное пространство, попадает в зону фильтрования, в которой находится фильтрующий элемент адсорбционного типа. Прилипшие флотокомплексы на внешней перфорированной поверхности 11 фильтрующего элемента коа-

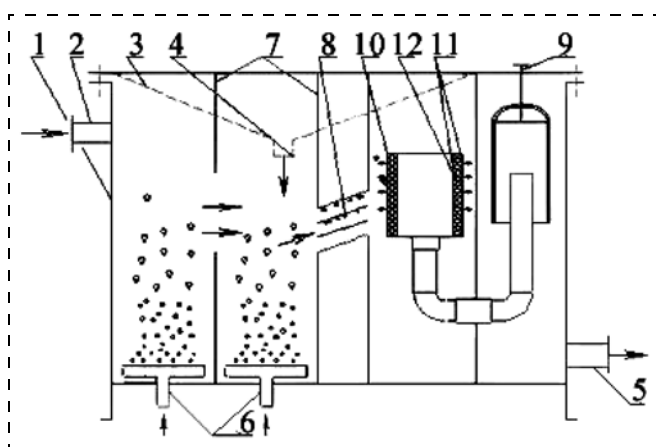


Рис. 2. Схема флотационной машины

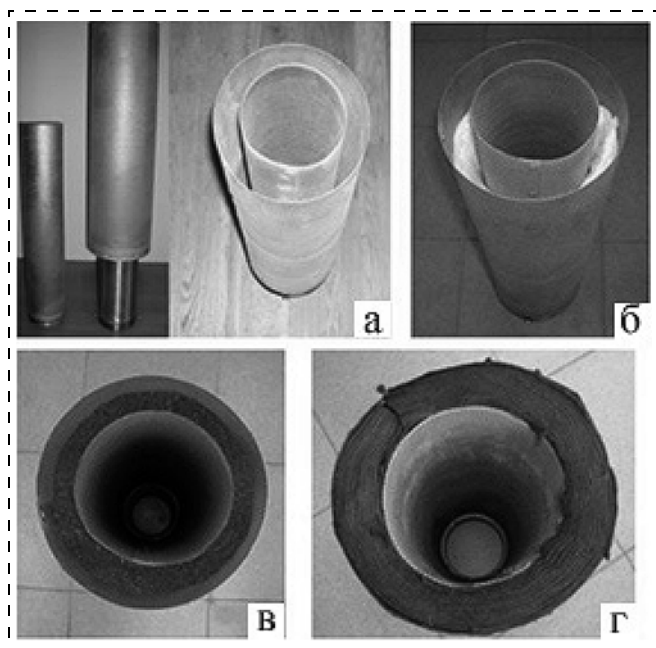


Рис. 3. Фильтрующий элемент (а) с различными видами загрузки:

б — материал "Мегасорб"; в — активированный уголь 607С; г — материал УВИС-АК-В

лесцируют между собой так же, как в блоке тонкослойного осветления. Внутри фильтрующего элемента находится фильтрующая загрузка 12, улавливающая загрязнения, находящиеся во взвешенном состоянии. Далее очищенная вода проходит через устройство регулирования уровня жидкости 9 и выводится из корпуса флотомшины через патрубок 5.

В качестве загрузки на основании проведенного анализа в изготовленном фильтрующем элементе (рис. 3, а) комбинированной флотационной машины, используются различные нетканые материалы (рис. 3, б, г) и зернистые загрузки (рис. 3, в). Основным критерием подбора фильтрующих загрузок являлось наименьшее сопротивление материала. Перфорированный материал, из которого выполнен корпус фильтрующего элемента, рассчитывался в соответствии с размерами флотокомплексов и гидрофильных загрязнений таким образом, чтобы способствовать их коалесценции, диаметр отверстий в материале составил $d = 0,1$ мм.

Соотношение концентраций можно вычислить по формуле:

$$\frac{c_{\Phi}}{c_0} = 2 \left(1 - \frac{\bar{d}}{\bar{d}_{\Pi}} \right)^2 - \left(1 - \frac{\bar{d}}{\bar{d}_{\Pi}} \right)^4,$$

здесь \bar{d} и \bar{d}_{Π} — средний диаметр частиц и пор материала соответственно; c_0 и c_{Φ} — концентрация микрочастиц в исходном растворе и фильтрате соответственно [3].

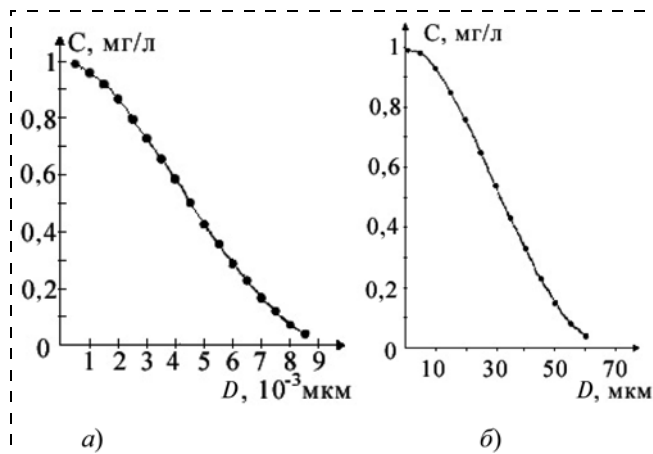


Рис. 4. Зависимость изменения концентрации гидрофобных частиц от их размера в процессе фильтрации через материал УВИС-АК-В (а) и "Мегасорб" (б)

На основе этого соотношения в программе Mathcad Document были рассчитаны и построены теоретические кривые изменения концентрации гидрофобных загрязнений в зависимости от размера улавливаемых частиц для материалов УВИС-АК-В (рис. 4, а) с $\bar{d}_{\Pi} = 0,01$ мкм и "Мегасорб" (рис. 4, б) с $\bar{d}_{\Pi} = 70$ мкм, при снижении концентрации загрязнений от 1 мг/л.

При расчете материала "Мегасорб" была использована также усредненная дифференциальная кривая распределения жировых частиц сточных вод Лобненского завода растительных масел (рис. 5). Анализируя оба графика (см. рис. 4), можно сказать, что с увеличением диаметра частиц загрязнений, концентрация уменьшается, а отношение диаметра пор материала к диаметру частиц загрязнений должно лежать в пределах 0,5...0,8.

Для расчета процесса фильтрации через загрузку из активированного угля марки 607С ис-

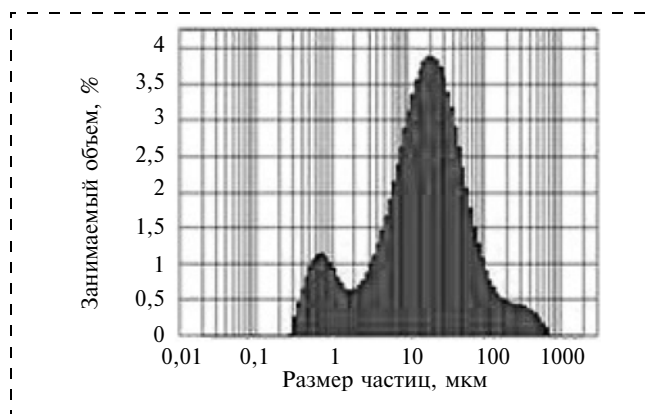


Рис. 5. Усредненная дифференциальная кривая распределения жировых частиц сточных вод Лобненского завода растительных масел

пользовалась зависимость распределения концентрации по толщине слоя перегородки:

$$c_{\phi} = c_0 \left\{ \frac{\tau_c}{\tau} \left[\ln \left(e^{k_{\text{зак}} z} + e^{\frac{\tau}{\tau_c}} \right) - 1 \right] - k_{\text{зак}} z \right\},$$

где c_0 — концентрация на входе в слой [3], $c_0 = 1$ мг/л;

$\tau_c = \frac{\sigma_{\text{max}}}{k_{\text{зак}} U c_0} = 2 \cdot 10^2$ с, здесь σ_{max} — максимальное насыщение слоя (определяется экспериментально); $k_{\text{зак}}$ — вероятность закупоривания чистого

слоя, $k_{\text{зак}} = \frac{1}{U c_0} \frac{\Delta \sigma}{\Delta \tau} = 3,75 \cdot 10^{-4}$. При $\sigma_{\text{max}} = 0,06$, $\Delta \sigma$ — значения опытных замеров насыщения за промежутки времени $\Delta \tau$ равно $\frac{\Delta \sigma}{\Delta \tau} = 3 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹;

U — скорость потока суспензии, $U = 0,8$ мм/с; τ — время; z — толщина перегородки (фильтрующего слоя).

Рассчитанная при условиях $\tau = 5$ мин, $z = 26$ мм и построенная в программе Mathcad Document приведенная зависимость представлена на рис. 6. Как видно, с увеличением толщины фильтрующего слоя концентрация взвешенных веществ постепенно уменьшается.

В лаборатории МГТУ им. Н. Э. Баумана были проведены предварительные испытания фильтрующего элемента с различными видами загрузок (табл. 1).

При анализе воды, фильтруемой через материал "Мегасорб", получены следующие данные по наличию в сточной воде взвешенных веществ, г/л:

- в исходной воде — 0,009;
- в очищенной воде — 0.

Таблица 1

Результаты испытаний фильтрующего элемента, проведенные в лаборатории МГТУ им. Н. Э. Баумана. Анализ воды выполнен ЗАО "Роса"

Концентрация загрязнителя и эффективность очистки	Фильтрующий материал			
	Материал "Мегасорб"	Материал "Мегасорб" + праестол	Активированный уголь марки 607С	Материал УВИС-АК-В
Концентрация нефтепродуктов на входе в фильтрующий элемент, мг/л	0,52	0,52	0,52	1
Концентрация нефтепродуктов на выходе из фильтрующего элемента, мг/л	0,44	0,28	0,32	0,06
Эффективность очистки	15 %	46 %	38 %	94 %

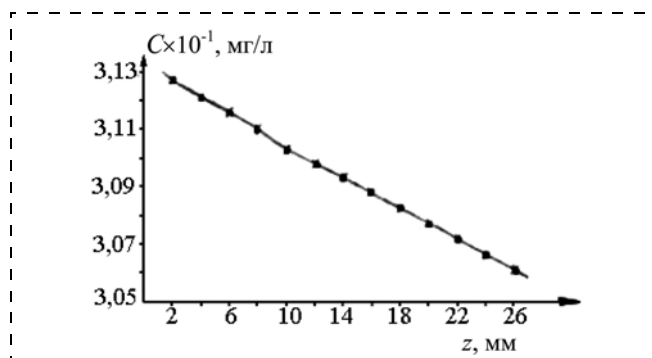


Рис. 6. Зависимость концентрации загрязнений от толщины фильтрующего слоя угля 607С

После испытания фильтра с тканевой загрузкой УВИС-АК-В из углеродных волокон (см. рис. 4, з) получены следующие результаты по очистке воды от взвешенных веществ:

- концентрация в исходной воде — 2,1 мг/л;
- концентрация в воде, очищенной через материал из углеродных волокон УВИС-АК-В, — 0,6 мг/л.

Таким образом, как видно из проведенных испытаний фильтрующего элемента с различными видами загрузок, наиболее эффективным является фильтрование через материал УВИС-АК-В, который позволяет добиться показателей очистки сточной воды до требований, предъявляемых при сбросе в открытый водоем. В то же время применение материала "Мегасорб" или угольной загрузки возможно лишь при технологии очистки сточных вод с применением оборотного водоснабжения.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана была разработана и изготовлена модельная установка комбинированной пневматической флотационной машины с фильтрующими элементами и рассчитанная на производительность 1 м³/ч. Принципиальная схема использования опытной комбинированной флотомашины изображена на рис. 7.

Испытания опытного образца флотомашин по очистке исходной сточной воды с содержанием нефтепродуктов 29 мг/л в лаборатории МГТУ им. Н. Э. Баумана (анализ воды проведен в ЗАО "Роса") дали следующие результаты. Через 2, 4, 6, 8, 10 мин флотации содержание нефтепродуктов составило соответственно 16,8; 11,0; 6,7; 3,7; 1,9 мг/л. Очищенная сточная вода (в выходной камере флотомашин) содержала 0,04 мг/л.

Экспериментальные данные концентрации нефтепродуктов нанесены с помощью регрессионного анализа в программе Mathcad Document на график теоретической флотационной кривой для опытной флотомашин с учетом явления коалесценции ($C_A(t)$). Через экспериментальные точки в указанной программе, проведена экспериментальная кривая ($g(t)$) по методу наименьших квад-

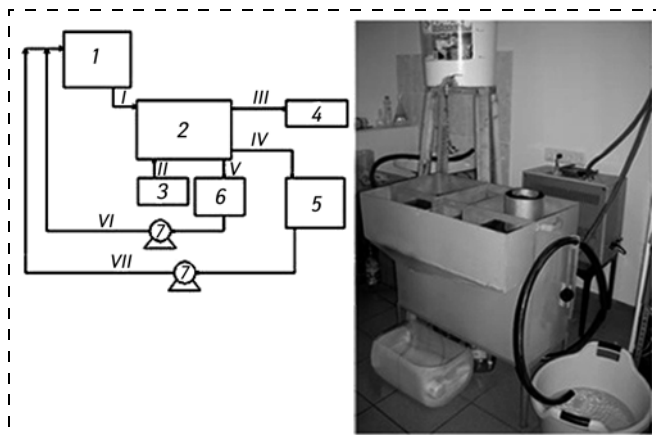


Рис. 7. Общий вид и схема лабораторного образца комбинированной флотомашины пневматического типа с фильтрующим элементом:

1 — емкость исходной воды; 2 — комбинированная флотомашина; 3 — компрессор; 4 — шламособорник; 5 — емкость очищенной воды; 6 — емкость аварийного слива; 7 — насосы; I — подача исходной воды; II — подача воздуха; III — отвод пенного продукта; IV — отвод очищенной воды; V, VI, VII — аварийный слив воды

ратов и получен график, приведенный на рис. 8, при этом погрешность измерений составила 3 %. Сравнивая приведенную экспериментальную кривую с теоретической зависимостью, легко убедиться, что теория качественно верно описывает эксперимент.

Наличие нефтепродуктов в количестве 1,9 мг/л в последней камере перед входом на фильтрующий

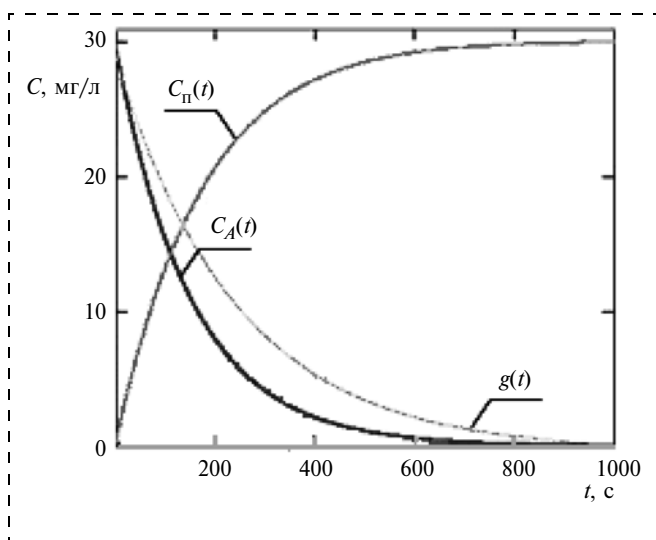


Рис. 8. Зависимость изменения концентрации гидрофобных загрязнений от времени флотации с учетом коалесценции:

$C_A(t)$ — остаточная концентрация нефтезагрязнений в очищаемой жидкости (теоретические данные), мг/л; $g(t)$ — остаточная концентрация нефтезагрязнений в очищаемой жидкости (экспериментальные данные), мг/л; $C_П(t)$ — концентрация нефтезагрязнений в пенном слое (теоретические данные), мг/л; t — текущее время, с

Таблица 2

Зависимость эффективности флотационной очистки конденсата от интенсивности аэрации его воздухом

Интенсивность аэрации, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$	Конденсация нефтепродуктов, мг/л		Эффект очистки, %
	До очистки	После очистки	
0,3	7,2	4,1	43
0,4		3,9	46
0,5		2,3	68
0,6		1,8	75
0,7		1,1	84
0,8		0,7	90
0,9		1,3	82
1,0		1,9	74
1,1		2,7	63
1,2		3,8	47

элемент флотомашины объясняется присутствием в опытном образце лишь одной камеры с аэратором. В промышленности при трех флотационных установках с наибольшим числом камер аэрации эффективность флотационной очистки увеличивается, достигая значений, указанных в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что наибольший эффект очистки конденсата флотацией достигается при интенсивности аэрации $0,8 \text{ м}^3$ на 1 м^2 поверхности конденсата в минуту. При проведении итоговых испытаний в тех же условиях было установлено, что концентрация нефтепродуктов в очищенной воде, выходящей из флотомашины, составила $0,3 \dots 2,0$ мг/л (в отдельных случаях до $4 \dots 5$ мг/л).

Указанное качество очистки технологического конденсата было подтверждено в результате проведения длительных испытаний опытного образца пневматической флотационной машины на Юж-

Таблица 3

Итоговые результаты промышленных испытаний пневматической флотационной машины ПФМ-0,85 на энергоблоке № 2 Южной ТЭЦ ОАО "Ленэнерго"

Номер пробы	Концентрация нефтепродуктов в техническом конденсате, мг/л	
	До очистки	После очистки
1	2,34	0,36
2	41,0	3,7
3	37,0	3,2
4	51,3	4,2
5	28,6	2,0
6	10,1	0,4
7	4,7	0,7
8	8,4	1,0
9	2,6	0,3
10	4,1	0,5

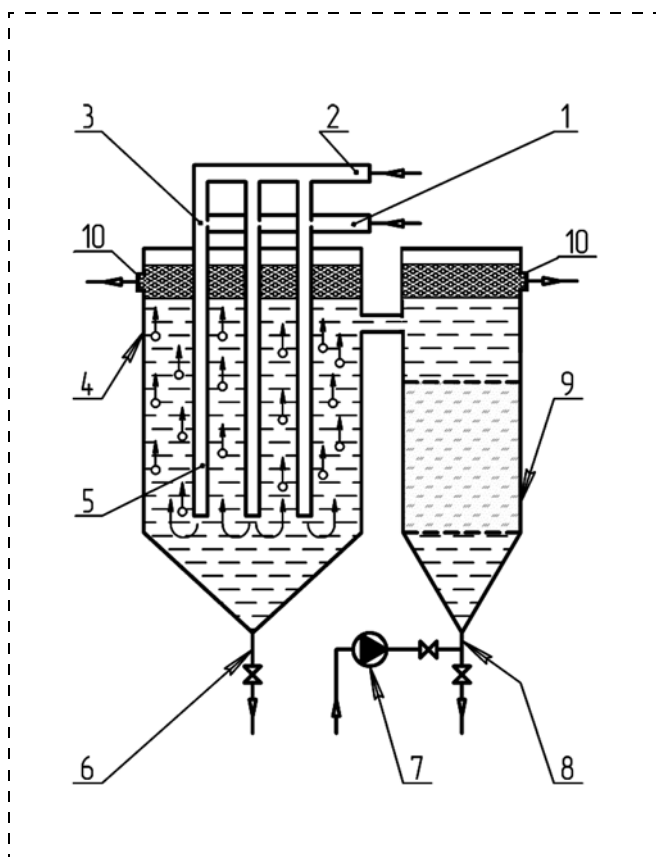


Рис. 9. Флотационная колонна с фильтром доочистки

ной ТЭЦ на энергоблоке № 2. Итоговые результаты испытаний приведены в табл. 3.

Результаты проведенных испытаний показали, что с использованием флотомшины пневматического типа, состоящей из трех камер аэрации, можно гарантированно достигать концентрации нефтепродуктов в среднем около 1 мг/л. Поэтому, и в комбинированной флотомашине, отличающейся от пневматических с аналогичной производительностью, лишь наличием модернизированной последней камеры, будет производиться очистка флотацией до 1 мг/л, а наличие фильтрующего элемента позволит достигать на выходе концентрации менее 0,05 мг/л.

Еще одним достаточно эффективным техническим решением является использование колонных флотационных аппаратов, в том числе дооборудованных фильтром доочистки (рис. 9). Указанный аппарат включает колонну с корпусом 4 и патрубками подсоса воздуха 1, подачи воды на очистку 2, отвода промывной воды 6, отвода пены 10, эжекторы 3, трубы для глубинной струйной аэрации 5, насос подачи промывной воды 7, фильтр для доочистки воды и улавливания микрофлотокомплексов 9 с патрубками отвода очищенной воды 8. Указанный аппарат может быть использован как для очистки сточных вод от гидрофобных загрязнений, так и для одновременного насыщения очищенных стоков кислородом.

Выводы

1. Исследованы закономерности флотационного извлечения гидрофобных загрязнений с использованием фильтрующих элементов с угольной и тканевой основой.

2. Разработаны конструкции фильтроэлементов, позволяющие значительно повысить эффективность извлечения мелкодисперсных гидрофобных загрязнений, взвешенных веществ, а также трудноулавливаемых мелких комплексов частицы-пузырьки во флотомашине.

3. Результаты испытаний фильтрующих элементов с различными видами загрузки указывают на наличие остаточных концентраций гидрофобных загрязнений, не превышающих нормативные показатели, необходимые для сброса очищенных сточных вод в водоем рыбохозяйственного назначения.

Список литературы

1. Ксенофонтов Б. С. Флотационная очистка сточных вод. — М.: Новые технологии, 2003. — 164 с.
2. Ксенофонтов Б. С. Очистка воды и почвы флотацией. — М.: Новые технологии, 2004. — 224 с.
3. Капитонова С. Н. Диссертация "Совершенствование оборотных систем водопользования и разработка комбинированной флотомшины с фильтроэлементами для их реализации". МГТУ им. Н. Э. Баумана. — М., 2009. — 148 с.



УДК 681.518

Е. И. Малочкина, канд. мед. наук, **А. А. Афанасьева**, **Д. И. Назаренко**,
Т. Н. Швецова-Шиловская, д-р техн. наук, ФГУП "ГосНИИОХТ", г. Москва
E-mail: den_0626@mail.ru

Моделирование распространения экотоксикантов в окружающей природной среде

Основная опасность хранилищ захоронения отходов связана с возможным выщелачиванием из них экотоксикантов и загрязнением окружающей природной среды. Разработаны математические модели, позволяющие описать процесс распространения экотоксикантов во времени и пространстве, оценить значения концентраций токсичных химических веществ в атмосферном воздухе и грунтовых водах.

Ключевые слова: экотоксиканты, атмосферный воздух, грунтовые воды, математическое моделирование, аварийная ситуация, отходы.

Malochkina E. I., Afanasyeva A. A., Nazarenko D. I., Shvetzova-Shilovskaya T. N.
Modeling of transport and dispersion of polluting substances in the environment

The basic danger of storehouses of waste is connected with possible washed away polluting substances and pollution of the environment. The mathematical models are developed, allowing to describe process of transport and dispersion polluting substances in time and space, to estimate values of concentration of toxic chemical substances in atmospheric air and groundwater.

Keywords: atmospheric air, groundwater, mathematical modeling, accident, waste.

Введение

Во всем мире хранилища, принимающие промышленные отходы, рассматриваются как объекты, представляющие большую опасность для окружающей среды и здоровья людей. Это связано с тем, что основная опасность на участках депонирования отходов исходит от возможного выщелачивания химических веществ и последующего загрязнения окружающей среды. Метеорологические осадки и просачивание поверхностных вод через область депонирования приводит к растворению в воде катионантов, т. е. к выщелачиванию и переносу их в грунтовые воды. В связи с этим самостоятельное значение приобретает разработка эффективной системы контроля воздуха и грунтовых вод, позволяющей объективно оценивать уровни загрязнений.

Методически цель большинства исследований, проводимых в этом направлении, состоит в разработ-

ке и реализации химико-аналитических методов, определяющих концентрацию веществ, нормируемых органами санитарного надзора. Однако эффект таких мер недостаточен. Наряду с количественными результатами анализа необходимо знать "судьбу" компонентов, попавших в объекты окружающей среды, их химическое превращение под влиянием различных физических и химических факторов, а также их биологической трансформации. Важно рассматривать разнообразные аспекты миграции и превращения веществ, попавших в окружающую среду.

Российское законодательство предъявляет достаточно жесткие требования к промышленным предприятиям в части, касающейся обращения с отходами [1, 2]. Еще в большей степени ужесточены требования по безопасному обращению с отходами на Российских объектах уничтожения химического оружия [3].

Как правило, хранилища опасных отходов — это хранилища бункерного типа, оборудованные системой вентиляции для предотвращения накопления в них влаги. При эксплуатации хранилищ через систему вентиляции может происходить поступление токсичных веществ в атмосферный воздух. При разгерметизации хранилища возможно поступление в них грунтовых вод и вымывание химических веществ с их последующей миграцией в почвенный слой.

Для решения задач оценки риска загрязнения окружающей среды от хранилищ опасных отходов необходимо обладать информацией о количественном содержании токсичного химического вещества в окружающей природной среде. Кроме того, важно уметь определить не только разовые концентрации токсичных химических веществ (ТХВ), но и рассчитать среднегодовые концентрации токсичных веществ, поскольку именно на основании среднегодовых концентраций можно определить постоянное, систематическое воздействие на людей, проживающих в районе размещения хранилища. Следовательно, необходимы математические модели, позволяющие осуществить прогнозирование разовых и среднегодовых концентраций ТХВ в атмосферном воздухе и слое грунтовых вод.

К настоящему времени разработан ряд математических моделей, позволяющих оценить распро-

странение экотоксикантов в атмосферном воздухе. Среди отечественных моделей, позволяющих рассчитывать распространение примеси от постоянно действующих источников выброса, можно выделить следующие математические модели: математическая модель, разработанная Институтом экспериментальной метеорологии (модель ИЭМ) [4]; математическая модель, разработанная Ленинградским гидрометеорологическим институтом (модель ЛГМИ) [5]; математическая модель, разработанная российской Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова (методика ОНД-86) [6].

Основным недостатком модели ИЭМ является то, что она не позволяет учитывать отражение токсичного вещества от границы инверсионного слоя [7]. Модель ЛГМИ требует значительного количества исходных данных, что затрудняет ее использование для практических расчетов [7]. Методика ОНД-86 в настоящее время является основным нормативным документом и предназначена для расчетов рассеяния в атмосфере выбросов промышленных предприятий [6]. Эта методика позволяет вычислять только максимально разовые концентрации веществ. Кроме того, она не позволяет учитывать деградацию химического вещества в атмосфере, "сухое" и "мокрое" осаждение вещества и отражение вещества от границы инверсионного слоя на больших расстояниях [7].

Общей чертой отечественных моделей является то, что они ориентированы на расчет выброса загрязнителя из высоких труб при значительном динамическом подъеме струи дымового факела. В то же время характерной чертой хранилища опасных отходов как источника загрязнения атмосферы является незначительный динамический подъем холодной струи загрязнителя при выбросе через вентиляционные трубы.

Распространенным подходом к моделированию распространения экотоксикантов в грунтовых водах является использование камерных моделей, основанных на концепции фугитивности [8–9]. Однако модели данного класса определяют лишь усредненные по объему камер концентрации вещества, не позволяют оценить динамику распространения экотоксикантов в слое грунтовых вод, построить поле концентраций вещества для района расположения хранилища опасных отходов, рассчитать время, за которое токсичное вещество может появиться на заданных расстояниях.

При моделировании трехмерного распространения ТХВ в грунтовых водах широко используется уравнение турбулентной диффузии [10]. В ряде работ были получены аналитические интегральные выражения, которые позволяют строить концентрационные поля

ТХВ только для точечных и площадных постоянно действующих источников [11–12]. Однако не рассматриваются площадные источники, расположенные в глубине водоносного горизонта, действующие мгновенно или кратковременно. При расчете распространения ТХВ в грунтовых водах от хранилища отходов необходимо учитывать то обстоятельство, что источник загрязнения грунтовых вод функционирует конечное время, поскольку при обследовании хранилища утечка ТХВ может быть ликвидирована.

Целью данной работы явилось создание математических моделей процесса распространения токсичных химических веществ в слое грунтовых вод и атмосферном воздухе, дающих объективную оценку поведения ТХВ в природных средах.

Моделирование распространения экотоксикантов в атмосферном воздухе

В основе моделирования распространения ТХВ в атмосферном воздухе вокруг объекта захоронения опасных отходов лежит модель расчета разовых концентраций при заданных погодных условиях [13]:

$$c(x, y, z)|_w = \frac{QK}{2\pi u_s \sigma_y(x) \sigma_z(x)} Y(x, y) Z(x, z) D(x)|_w, \quad (1)$$

где $c(x, y, z)$ — концентрация в точке с координатами (x, y, z) , мг/м³; Q — расход токсичного химического вещества, г/с; K — коэффициент масштабирования; u_s — скорость ветра на высоте источника, м/с; $\sigma_y(x)$, $\sigma_z(x)$ — стандартные отклонения в направлениях координатных осей y и z , м; $Y(x, y)$ — функция, описывающая распространение ТХВ по оси y , безразмерна; $Z(x, z)$ — функция, описывающая распространение ТХВ по оси z , безразмерна; $D(x)$ — функция, описывающая деградацию токсичного химического вещества согласно реакции первого порядка, безразмерна; $w = (\theta; u; \bar{P})$ — набор погодных условий, включающий направление ветра по азимуту θ , рад; u — скорость ветра на высоте флюгера, м/с; \bar{P} — тип устойчивости атмосферы по Пэскуиллу—Гиффорду. Набор погодных условий, влияющих на расчет концентрации, приведенным перечнем не ограничивается: он может быть расширен.

Функция $Y(x, y)$ имеет вид:

$$Y(x, y) = \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2(x)}\right). \quad (2)$$



Функция $Z(x, z)$ определяется выражением:

$$Z(x, z) = \exp\left[-\frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right] + \exp\left[-\frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2(x)}\right] + \sum_{i=1}^{\infty} \left\{ \exp\left[-\frac{H_{1i}^2}{\sigma_z^2(x)}\right] + \exp\left[-\frac{H_{2i}^2}{\sigma_z^2(x)}\right] + \exp\left[-\frac{H_{3i}^2}{\sigma_z^2(x)}\right] + \exp\left[-\frac{H_{4i}^2}{\sigma_z^2(x)}\right] \right\}; \quad (3)$$

$h = h_s + \Delta h$; Δh — высота подъема факела, м; h_s — высота источника выброса, м;

$$H_{1i} = z - (2iH_{mix} - h); \quad H_{2i} = z + (2iH_{mix} - h); \\ H_{3i} = z - (2iH_{mix} + h); \quad H_{4i} = z + (2iH_{mix} + h);$$

где H_{mix} — высота смешения, м.

Функция $D(X)$, описывающая деградацию ТХВ, имеет вид

$$D(x) = \exp\left(-\psi \frac{x}{u_s}\right); \quad \psi = \frac{0,693}{T_{1/2}}, \quad (4)$$

где $T_{1/2}$ — период полураспада ТХВ, с.

Уравнение (1) позволяет оценивать концентрацию ТХВ в атмосфере. Однако, как следует из данного уравнения, разовая концентрация зависит от многих аргументов. При этом одни аргументы являются детерминированными (x, y, z), другие — случайными (θ, u_i, \hat{P}_i). И это должно быть учтено при определении среднегодовых оценок.

Среднегодовая концентрация $\bar{c}(x, y, z)$ в фиксированной точке (x, y, z) должна определяться с учетом того, что случайные величины θ, u и \hat{P} являются дискретными. В таком случае при $z = 0$ правомерно записать выражение текущей концентрации (1) в точке ($x, y, 0$) с учетом случайных аргументов (θ_i, u_i, \hat{P}_i), определяющих погодные условия, в виде

$$c(x, y) = \varphi(x, y, \theta_i, u_i, \hat{P}_i). \quad (5)$$

Математическое ожидание концентрации в точке ($x, y, 0$), обусловленное вариациями случайных аргументов, можно выразить в виде

$$\bar{c}(x, y) = m[\varphi(x, y)] = \sum_{i=1}^N \varphi(x, y, \theta_i, u_i, \hat{P}_i) \rho_i, \quad (6)$$

где ρ_i — вероятность того, что случайные аргументы θ, u и \hat{P} будут одновременно равны, соответственно, θ_i, u_i и \hat{P}_i .

Усредненное по площади Ω математическое ожидание концентрации имеет вид:

$$c_{\Omega} = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} m[\varphi(x, y)] d\Omega. \quad (7)$$

Кроме того, необходимо определить доверительный интервал оценки среднегодовой концентрации ТХВ. Это является важным моментом, так как доверительный интервал дает оценку степени неопределенности полученных результатов. В моделях распространения ТХВ в атмосфере, приведенных в литературе [4—7], не предусмотрен расчет дисперсии и доверительных интервалов оценки среднегодовой концентрации.

Дисперсия концентрации $\bar{\sigma}_c^2(x, y)$ в точке x, y , обусловленная вариациями случайных аргументов θ, u и \hat{P} имеет вид:

$$\bar{\sigma}_c^2(x, y) = \sum_{i=1}^N \left\{ \varphi(x, y, \theta_i, u_i, \hat{P}_i) - m[\varphi(x, y)] \right\}^2 \rho_i \quad (8)$$

и соответственно усредненное по площади участка территории Ω среднее квадратическое отклонение, вытекающее из уравнения (7), равно

$$\sigma_{c_{\Omega}} = \frac{1}{\Omega} \int_{\Omega} \bar{\sigma}_c(x, y) d\Omega. \quad (9)$$

Таким образом, предложенная модель распространения экотоксикантов в атмосферном воздухе позволяет рассчитать среднегодовую концентрацию примеси в заданной части пространства (6), рассчитать ее дисперсию (8) и построить доверительный интервал для усредненной по площади Ω концентрации загрязнителя (9), учитывая физические параметры района исследования, влияющие на распространение экотоксикантов, деградацию их в атмосфере и заданные погодные условия.

Моделирование распространения экотоксикантов в грунтовых водах

Важное значение для оценки судьбы ТХВ в грунтовых водах имеют физико-химические свойства и характер исследуемой зоны. В предлагаемой модели распространения экотоксикантов в грунтовых водах принимаем следующие исходные условия: водоносный слой (горизонт) имеет форму неограниченного трехмерного слоя, источник расположен на поверхности или внутри водоносного горизонта и работает ограниченное время.

Для расчета распространения ТХВ в водоносном слое (изотропном и гомогенном) от кратковремен-

ного площадного источника используем уравнение турбулентной диффузии, имеющее вид [11]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{v_{PW}}{R_F} \frac{\partial c}{\partial x} = \frac{D_X}{R_F} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{D_Y}{R_F} \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{D_Z}{R_F} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \lambda c + S(x, y, z, t), \quad (10)$$

где c — концентрация ТХВ в жидкой фазе, мг/м³; t — астрономическое время, с; v_{PW} — скорость движения грунтовой воды в порах почвы в направлении оси x , м/с; D_X, D_Y, D_Z — коэффициенты диффузии ТХВ в водоносном слое, соответственно в направлениях координатных осей x, y и z , м²/с; R_F — фактор ретардации, безразмерный; λ — константа реакции дегградации ТХВ, 1/с; b — толщина водоносного слоя, м; $S(x, y, z, t)$ — функция источника, мг/(м³ · с).

Оптимальным методом решения уравнения (10) является метод функций Грина [14]. Поскольку в основе метода функций Грина лежит метод суперпозиции полей, получим решение уравнения (10) при следующих начальных и граничных условиях:

Начальные условия:

$$c(x, y, z) = 0 \text{ при } t = t_0, x \in (-\infty; \infty), y \in (-\infty; \infty), z \in [0; b]. \quad (11)$$

Граничные условия

$$\begin{cases} \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \text{ при } z = 0, t \geq t_0; \\ \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \text{ при } z = b, t \geq t_0; \\ c(x, y, z) = 0 \text{ при } x = \pm\infty, t \geq t_0; \\ c(x, y, z) = 0 \text{ при } y = \pm\infty, t \geq t_0. \end{cases} \quad (12)$$

В соответствии с данным методом с учетом приведенных начальных и граничных условий, выражение для концентрации ТХВ может быть представлено в интегральной форме:

$$c(x, y, z, t) = \int_{t_0}^t \int_{\Omega} S(x', y', z', t') \times G(x, y, z; x', y', z'; t, t') dx' dy' dz' dt', \quad (13)$$

где x, y, z — координаты точки наблюдения, м; x', y', z' — координаты источника, м; t' — время работы источника, с.

В данном конкретном случае функция Грина трехмерной задачи выражается в виде произведения трех функций Грина соответствующих одномерных

диффузионных задач и сомножителя $\exp[-\lambda(t - t')]$, отражающего дегградацию загрязнителя [15]:

$$G(x, y, z; x', y', z'; t, t') = G_1(x, x', t, t') \times G_2(y, y', t, t') G_3(z, z', t, t') \exp[-\lambda(t - t')], \quad (14)$$

где

$$\begin{cases} G_1(x, x', t, t') = \frac{1}{\sqrt{4\pi D_X R_F^{-1}(t-t')}} \exp\left\{-\frac{[x-x'-v_{PW}(t-t')]^2}{4D_X R_F^{-1}(t-t')}\right\}; \\ G_2(y, y', t, t') = \frac{1}{\sqrt{4\pi D_Y R_F^{-1}(t-t')}} \exp\left[-\frac{(y-y')^2}{4D_Y R_F^{-1}(t-t')}\right]; \\ G_3(z, z', t, t') = \frac{1}{b} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left[\frac{n^2 \pi^2 D_Z (t-t')}{b^2 R_F}\right] \cos\left[n\pi \frac{z}{b}\right] \cos\left[n\pi \frac{z'}{b}\right] \right\}. \end{cases} \quad (15)$$

Формулы (13)–(15) дают возможность построить модель нестационарного концентрационного поля в водоносном слое от площадного источника, действующего кратковременно в интервале времени $[0; T]$. Допустим, что источник длиной L и шириной W действует с меняющейся во времени скоростью эмиссии ТХВ — $m_0(t')$, имеющей размерность мг/с. Необходимое уравнение нестационарного концентрационного поля имеет вид:

$$c(x, y, z, t) = \int_{t'=0}^{\min(T;t)} \frac{m_0(t')}{LW} I_1(x, t-t') \times I_2(y, t-t') G_3(z, 0, t-t') \exp[-\lambda(t-t')] dt'. \quad (16)$$

Интегралы, фигурирующие в формуле (16), выражаются формулами:

$$I_1(x, t-t') = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} G_1(x, x', t) dx' = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{x + \frac{L}{2} - v_{PW} R_F^{-1} t}{\sqrt{4D_X R_F^{-1} t}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{x - \frac{L}{2} - v_{PW} R_F^{-1} t}{\sqrt{4D_X R_F^{-1} t}}\right) \right]; \quad (17)$$

$$I_2(y, t-t') = \int_{-\frac{W}{2}}^{\frac{W}{2}} G_2(y, y', t) dy' = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf}\left(\frac{y + \frac{W}{2}}{\sqrt{4D_Y R_F^{-1} t}}\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{y - \frac{W}{2}}{\sqrt{4D_Y R_F^{-1} t}}\right) \right]. \quad (18)$$

Таким образом, полученная математическая модель (16) позволяет провести прогноз значений разовых концентраций ТХВ в районе размещения хранилища опасных отходов.



Заключение

Предложенные математические модели вносят определенный вклад в развитие методологии определения разовых и среднегодовых концентраций экотоксикантов в окружающей природной среде.

Представленное математическое моделирование позволяет определить "судьбу" компонентов, попавших в объекты окружающей среды, оценить значения концентраций загрязнителей в атмосферном воздухе и грунтовых водах, описать их распространение во времени и пространстве, выбрать информативные химические вещества-маркеры и выдать рекомендации по чувствительности химико-аналитических методов для определения ТХВ в окружающей природной среде для последующего контроля за экологической ситуацией вокруг объектов захоронения токсичных химических веществ.

Список литературы

1. **Федеральный закон РФ** "Об отходах производства и потребления" от 24.06.98 № 89-ФЗ.
2. **Федеральный закон РФ** "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
3. **Федеральный закон РФ** "Об уничтожении химического оружия" от 02.05.1997 № 76-ФЗ.
4. **Бызова Р. Л.** Методическое пособие по расчету рассеяния примесей в пограничном слое атмосферы по метеорологическим данным. — М.: Гидрометеоздат, 1973. — 46 с.
5. **Динамическая метеорология.** — Л.: Гидрометеоздат, 1976. — 607 с.

6. **Методика** расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. — Л.: Гидрометеоздат, 1987. — 76 с.
7. **Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н.** Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. — Л.: Гидрометеоздат, 1991. — 280 с.
8. **Mackay D. Paterson, Shiu W. Y.** Generic Models for Evaluating the Regional Fate of Chemicals // Chemosphere. — 1992. — Vol. 24. — N 6. — P. 695—717.
9. **Palm A.** The Environmental Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers in the Centre of Stockholm — Assessment Using a Multimedia Fugacity Model. IVL Report. 2001.
10. **Environmental Protection Agency,** 1992. Fundamentals of Ground-Water Modeling. Publication No. EPA/540/S-92/005. Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA, Washington, DC.
11. **U. S. EPA (Environmental Protection Agency).** 1996a. EPA's Composite Model for Leachate Migration with Transformation Products (EPACMTP). Background Document. Office of Solid Waste, Washington, DC.
12. **Environmental Protection Agency,** 1996. Documenting Ground-Water Modeling at Sites Contaminated with Radioactive Substances. Publication No. EPA 540-r-96-003. Office of Solid Waste and Emergency Response, US EPA, Washington, DC.
13. **Environmental Protection Agency,** 1995. User's Guide for the Industrial Source Complex (ISC3) Dispersion Models, Volumes 1 and 2. EPA Publication No. EPA-454/B-95-003a & b., Research Triangle Park, NC.
14. **Фарлоу С.** Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. Пер. с англ. // Под ред. С. И. Похожаева. — М.: Мир, 1985. — 384 с.
15. **Полянин А. Д.** Применение метода неполного разделения переменных для нахождения функций Грина трехмерных краевых задач: сб. трудов 14 Международной научной конференции "Математические методы в технике и технологии. ММТТ — 14". — Смоленск, 2001. Т. 1. Секции 1, 4. С. 55—57.

Основные тематические направления журнала "Программная инженерия"

- ♦ Общетеоретические вопросы программной инженерии
- ♦ Языки и системы программирования, семантика программ
- ♦ Инструменты и методы программной инженерии
- ♦ Модели, методы и алгоритмы проектирования программных систем
- ♦ Системы управления базами данных и знаний
- ♦ Модели, методы, алгоритмы и программные инструменты для организации взаимодействия программ и программных систем
- ♦ Человеко-машинные интерфейсы, средства визуализации, обработки изображений, системы виртуальной реальности, мультимедийного общения
- ♦ Модели и методы создания программных систем для параллельной и распределенной обработки данных
- ♦ Верификация и тестирование программного обеспечения
- ♦ Оценка качества, стандартизация и сопровождение программных систем
- ♦ Безопасность программно-информационных систем
- ♦ Модели жизненного цикла программных проектов
- ♦ Сопровождение программного обеспечения
- ♦ Управление программной инженерией
- ♦ Интеллектуальные программные комплексы и системы
- ♦ Создание и эксплуатация прикладных программно-информационных систем

Информацию об условиях подписки на журнал см. на с. 17

УДК 539.17

Ю. А. Кукушкин, д-р техн. наук, проф., **С. К. Солдатов**, д-р мед. наук, проф.,
А. В. Богомолов, д-р техн. наук, проф., **Л. В. Шмакова**,
Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной
медицины Минобороны России, Москва
E-mail: Gniiii124@yandex.ru

Определение вероятности возникновения первичных травм при воздействии ударной волны

Рассмотрены прогностические аспекты оценивания вероятности возникновения первичных травм при воздействии воздушной ударной волны (ВУВ). Используется классификация, которая тяжесть поражения от воздействия ВУВ разделяет на 5 классов: смертельные травмы; тяжелые и смертельные поражения; поражения не ниже средней степени тяжести; преимущественно легкие поражения; баротравмы. Приводится пример расчета вероятностей возникновения первичных травм различной тяжести.

Ключевые слова: воздушная ударная волна, первичные травмы, вероятность возникновения первичных травм, избыточное давление, тяжесть поражения.

Kukushkin Ju. A., Soldatov S. K., Bogomolov A. V., Shmakova L. V. Determination of probability of primary injures origin under an exposure of shock wave

Prognostic estimated aspects of probability of primary injures origin under an exposure of air shock waves (ASW) are considered. The used classification divides the severity of ASW-exposure at 5 types: lethal injures; hard and lethal injures; middle severity of damage injures; mainly light injures; barotraumas. An example of calculation of probability of primary injures origin with different severity of damage.

Keywords: air shock waves, primary injures origin, excessive pressure, severity of exposure.

Основными параметрами воздушной ударной волны (ВУВ), определяющими ее разрушающее и поражающее действие, являются [1]:

- избыточное давление положительной фазы (фронта) ВУВ — $\Delta p_{\text{ф}}$, Па;
- скоростной напор $\Delta p_{\text{СК}}$, Па;
- импульс скоростного напора $I_{\text{СК}}$, Па · с;
- скорость движения волны $v_{\text{В}}$, м/с;

- скорость движения воздушного потока U , м/с;
- длительность положительной фазы ВУВ τ_{+} , с.

При непосредственном воздействии ударной волны основной причиной появления травм у людей является мгновенное повышение давления воздуха, что воспринимается человеком как резкий удар. При этом возможны повреждения внутренних органов, разрыв кровеносных сосудов, барабанных перепонок, сотрясение мозга, различные переломы и т. п. [2]. Кроме того, скоростной напор воздуха, обуславливающий метательное действие ударной волны, может отбросить человека на значительное расстояние и причинить ему при ударе о землю (или препятствие) различные повреждения.

В работе [1] используется классификация, которая разделяет тяжесть поражения от воздействия ВУВ на пять классов: **смертельные травмы; тяжелые и смертельные поражения; поражения не ниже средней степени тяжести; преимущественно легкие поражения; баротравмы.**

Физический механизм действия воздушной ударной волны от взрыва на человека формируется на основе следующих допущений [1]:

тело человека — полиморфная структура, дискретная колебательная система с конечным числом степеней свободы; эффект определяется физической реакцией тела на воздействие;

воздействие ударной волны представляет собой сочетание нескольких травматических факторов; физической реакцией тела на воздействие является деформация системы; деформацию обуславливают параметры воздействия и параметры системы;

исход воздействия формируется как процесс стохастический; стохастическая природа процесса определяется биологическими факторами.

Время достижения максимума деформации примерно совпадает с полупериодом собственных колебаний тела. Исходя из принятой постановки,



можно считать, что тело человека с его опорным аппаратом является упруго-демпфированной биомеханической системой. В первом приближении ее можно представить как одномассовую модель с одной степенью свободы. По данным экспериментов определено, что период собственных колебаний тела человека $\tau \approx 250...300$ мс (частота 3...5 Гц). Совокупности имеющихся фактических данных отвечает расчетная схема оценки поражения, которая исходит из представления, что формирование травм обуславливается следующим: во-первых, в основе любого травматического повреждения лежит деформация и, во-вторых, равным деформациям упрощенной физической модели тела при каждом единичном воздействии травмирующего фактора соответствует одинаковая тяжесть травмы реального тела человека.

Из всех воздействий на организм человека можно выделить два крайних случая, для которых требуется различать механизм поражения: импульсный (динамический), когда длительность положительной фазы в ударной волне $\tau_+ \leq 100$ мс, что составляет примерно $0,3\tau$, и квазидинамический, когда $\tau_+ \geq 800...1000$ мс и тем самым превышает 3τ . При действии ударной волны с $\tau_+ \leq 100$ мс деформация тела человека и тяжесть поражения будут определяться влиянием импульса действующей силы, т. е. будут зависеть от амплитуды и времени действия силы. Эта комбинация параметров описывается как импульс скоростного напора $I_{СК}$ (Па · с). Если же τ_+ в 3 раза превышает τ , деформацию будет определять уже не импульс, а абсолютная величина скоростного напора $\Delta p_{СК}$ (Па) [1].

Для расчетной модели первичных травм от действия ударной волны реальное направление воздействия внешней силы на человека приводится к варианту продольного (вдоль осевого скелета) направлению, так как в совокупности фактических данных для получения расчетных зависимостей выбор продольного направления характеризуется наибольшей корреляцией [1].

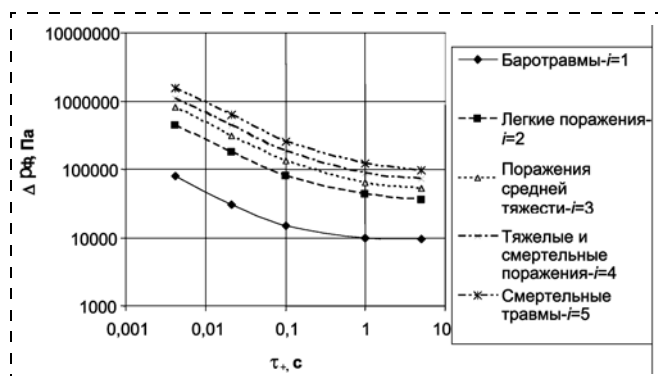
Процесс взаимодействия ударной волны с телом человека подразделяется на две последовательные фазы — дифракцию и квазистационарное обтекание [1].

Дифракция занимает интервал времени от соприкосновения волны с телом до момента, пока волна не обтечет его полностью. В начальный момент на поверхности тела, обращенной к взрыву, возникает отраженный скачок уплотнения $\Delta p_{отр}$, в 2...5 раз превышающий $\Delta p_{ф}$. В этой фазе человек испытывает тотальный лобовой, касательный удары и сотрясение всего тела. Одновременно ударная волна в силу преобладания в ее спектре высо-

ких частот легко проникает через низкочастотную систему организма человека (основные резонансные частоты тела человека находятся в области 4...10 Гц). В результате в организме образуется система вторичных продольных, поперечных и поверхностных волн, скорость которых близка к скорости звука в среде данной плотности. В воздухе дыхательных путей, альвеол, придаточных пазух, газовых пустот полых органов эта скорость примерно равна 340 м/с, в жидкостях (кровь, лимфа, спинномозговая жидкость, моча) — примерно 1400...1500 м/с, в подкожной клетчатке — 1560 м/с, в селезенке, печени, мышцах — примерно 1580...1600 м/с, костной ткани — 3000...5000 м/с [1]. Эти волны вызывают три вида эффектов: расщепляющие, инерциальные и имплозивные (имплозию пузырьков газа). Расщепляющие обусловлены растягивающими усилиями при отражении, преломлении и интерференции волны на границах раздела тканей с разной плотностью. Следствием являются расслоения и разрывы сосудистой стенки, кровоизлияния в легких по ходу ребер. Инерциальные эффекты возникают за счет разности местных ударных перегрузок в соседних тканях с разной массой и удельной плотностью.

Продолжительность фазы дифракции определяется размерами тела, и поэтому, учитывая сверхзвуковую скорость распространения ударной волны, для человека продолжительность этой фазы ничтожно мала (десятичные доли миллисекунды).

Квазистационарное обтекание. Эта фаза воздействия продолжается в течение большей части положительной фазы волны и в тысячи — десятки тысяч раз более длительной, чем фаза дифракции. В этот период тело человека, подвергаясь в основном воздействию скоростного напора масс воздуха, продолжает испытывать перегрузки и деформации, достигающие максимальных значений. При этом обращенная к взрыву поверхность тела испытывает перегрузку, равную сумме давлений отражения и скоростного напора ($\Delta p_{отр} + \Delta p_{СК}$), а боковые и тыльная поверхности испытывают значительно меньшее давление. Разница давлений создает результирующую боковую смещающую силу, направленную от центра взрыва и параллельную поверхности земли. Эта сила приводит к проскальзыванию по земле и опрокидыванию (переворачиванию и даже подбрасыванию) тела человека. Возникает отбрасывание тела, результатом которого являются вторичные травмы. Для баллистики тела характерно, что в свободном полете оно находится не более 0,3...0,5 своего пути, после чего перемещается с многократными рикошетирующими ударами о грунт [1].



Зависимость тяжести поражения от комбинации значений избыточного давления (Δp_{ϕ}) и длительности положительной фазы ударной волны τ_+

Деформация тканей, органов и тела человека в целом на протяжении фаз дифракции и квазистационарного обтекания обозначена как "непосредственное действие" ударной волны, а обусловленное им поражение названо первичной травмой. Соударения в результате метательного действия волны вызывают травмы, которые обозначены как вторичные. В реальных условиях оба механизма действуют совместно, но в зависимости от энергии взрыва и удаления от него соотношение этих механизмов в процессе формирования сочетанных (первичных и вторичных) травм изменяется.

Травмы в результате непосредственного действия воздушной ударной волны — первичные травмы. Первичные травмы — это в основном травмы полых органов и разрывы паренхиматозных органов, контузии.

Как уже отмечалось, критические параметры проходящей ударной волны, определяющие первичные травмы у людей, зависят от энергии взрыва:

для взрыва с энергосодержанием $q < 0,5 \cdot 10^3$ т — полный импульс скоростного напора $I_{СК}$;

для взрыва с $q > 10^5$ т — скоростной напор $\Delta p_{СК}$;

Численные значения τ_+ (с) и $\Delta p_{\phi i, 0,5}$ (кПа), соответствующие 50 %-ным вероятностям возникновения эффектов поражения различной тяжести

τ_+	Баротравмы $i = 1$ $\Delta p_{\phi 1, 0,5}$	Легкие поражения $i = 2$ $\Delta p_{\phi 2, 0,5}$	Поражения средней тяжести $i = 3$ $\Delta p_{\phi 3, 0,5}$	Тяжелые и смертельные поражения $i = 4$ $\Delta p_{\phi 4, 0,5}$	Смертельные травмы $i = 5$ $\Delta p_{\phi 5, 0,5}$
0,0042	80,428	445,296	804,277	1097,844	1545,928
0,021	34,717	180,616	309,030	445,296	627,043
0,1	14,791	80,428	132,319	186,325	254,335
1	10,000	43,165	62,704	88,297	120,226
4,99	9,396	35,814	52,026	73,260	97,724

для взрыва с $q = 10^3 \dots 10^5$ т — импульс скоростного напора $I_{СК}$ с учетом его временной характеристики, так как в формировании травм в этом случае участвует не полный $I_{СК}$, а лишь та его доля, которая успевает вызвать максимальные деформации тела раньше, чем закончится действие ударной волны.

В качестве исходного материала для расчета вероятностей первичных травм различной степени тяжести i (смертельные травмы ($i = 5$); тяжелые и смертельные поражения ($i = 4$); поражения средней тяжести ($i = 3$); преимущественно легкие поражения ($i = 2$); баротравмы ($i = 1$)) использовались данные, представленные в работе [1], отражающие в виде кривых равных эффектов взаимосвязь тяжести первичных травм с величиной избыточного давления Δp_{ϕ} и длительностью положительной фазы ударной волны τ_+ при 50 %-ной вероятности возникновения названных эффектов — $\Delta p_{\phi i, 0,5}$. Эти зависимости представлены на рисунке и в таблице.

Определение вероятностей первичных травм различной степени тяжести осуществлялось при использовании допущений:

— усеченной нормальности распределения значений Δp_{ϕ} в пределах существования каждого эффекта;

— 50 %-ной вероятности возникновения вышестоящего по тяжести поражения эффекта соответствует 100 %-ной вероятности возникновения всех нижестоящих эффектов;

— 50 %-ной вероятности возникновения нижестоящего по тяжести поражения эффекта соответствует нулевая вероятность возникновения всех вышестоящих эффектов;

— нулевая вероятность возникновения эффекта 1 соответствует значению избыточного давления $\Delta p_{\phi 1, 0,0} = 0$, а кривая, соответствующая 100 %-ной вероятности эффекта 5, определяется уравнением $\Delta p_{\phi 5, 1,0} = 2\Delta p_{\phi 5, 0,5} - \Delta p_{\phi 4, 0,5}$.

С целью обеспечения возможности определения значений избыточного давления, соответствующих 50 %-ной вероятности i -го эффекта $\Delta p_{\phi i, 0,5}$ при произвольном значении длительности положительной фазы ударной волны τ_+ (в области существования экспериментальных данных), были получены регрессионные уравнения, описывающие зависимость $\Delta p_{\phi i, 0,5}$ от τ_+ . Эти уравнения имеют следующий вид:

— баротравмы

$$\Delta p_{\phi 1, 0,5} = 11,3176 + \exp(4,50457 + (-64,132)\tau_+); \quad (1)$$

$$R^2 = 0,995; p < 0,001;$$

— легкие поражения

$$\Delta p_{\phi 2, 0,5} = 52,71 + \exp(6,25083 + (-66,341)\tau_+); \quad (2)$$

$$R^2 = 0,991; p < 0,001;$$



— поражения средней тяжести

$$\Delta p_{\Phi 3; 0,5} = 81,697 + \exp(6,86997) + (-68,477)\tau_+; \quad (3)$$

$$R^2 = 0,991; p < 0,001;$$

— тяжелые и смертельные поражения

$$\Delta p_{\Phi 4; 0,5} = 114,686 + \exp(7,16051 + (-64,39)\tau_+); \quad (4)$$

$$R^2 = 0,990; p < 0,001;$$

— смертельные травмы

$$\Delta p_{\Phi 5; 0,5} = 155,571 + \exp(7,50494 + (-63,889)\tau_+); \quad (5)$$

$$R^2 = 0,991; p < 0,001.$$

Большие значения коэффициентов детерминации моделей R^2 (квадратов коэффициентов корреляции) и малые значения вероятностей отвержения нулевой гипотезы, если она верна (уровней значимости p), свидетельствуют о статистической существенности регрессионных моделей.

Вероятности p первичных травм различной степени тяжести определялись с использованием уравнения логистической кривой. Следуя работе [3] вместо нормальной кривой эффекта можно принять за основу так называемую логистическую кривую, уравнение которой задается формулой

$$p = 1/(e^{-z} + 1). \quad (6)$$

Если z возрастает от $-\infty$ до $+\infty$, то функция (6) так же, как функция Лапласа $\Phi(z)$ возрастает от 0 до 1. Функция (6) очень мало отличается от функции нормального распределения. Кривая с уравнением (6) так же, как нормальная кривая симметрична относительно точки с координатами $z = 0$, $p = 0,5$:

$$p(z) + p(-z) = 1.$$

Примем

$$z = (\Delta p_{\Phi} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}) \cdot 5 / (\Delta p_{\Phi i + 1; 0,5} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}) \quad \text{при } \Delta p_{\Phi} > \Delta p_{\Phi i; 0,5}; \quad (7)$$

$$z = (\Delta p_{\Phi} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}) \cdot 5 / |\Delta p_{\Phi i - 1; 0,5} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}| \quad \text{при } \Delta p_{\Phi} \leq \Delta p_{\Phi i; 0,5}; \quad (8)$$

где $\Delta p_{\Phi i + 1; 0,5}$; $\Delta p_{\Phi i - 1; 0,5}$ — значения избыточного давления, отличающиеся от $\Delta p_{\Phi i; 0,5}$ на одну градацию по тяжести поражения соответственно в сторону увеличения и уменьшения.

Тогда с учетом выражений (7)—(8) формула (6) примет вид

$$p = 1/\{\exp[-(\Delta p_{\Phi} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}) \times 5 / |\Delta p_{\Phi i + 1; 0,5} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}| + 1] + 1\} \quad \text{при } \Delta p_{\Phi} > \Delta p_{\Phi i; 0,5}; \quad (9)$$

$$p = 1/\{\exp[-(\Delta p_{\Phi} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}) \times 5 / |\Delta p_{\Phi i - 1; 0,5} - \Delta p_{\Phi i; 0,5}| + 1] + 1\} \quad \text{при } \Delta p_{\Phi} \leq \Delta p_{\Phi i; 0,5}. \quad (10)$$

Таким образом, метод оценки вероятности возникновения первичных травм различной степени тяжести при воздействии ВУВ, состоит в следующем:

1) задаются значения параметров ВУВ: длительность положительной фазы ВУВ τ_+ и избыточное давление Δp_{Φ} ;

2) значение τ_+ подставляется в формулы (1)—(5) и производится вычисление величин избыточного давления, которым при заданном τ_+ соответствуют 50 %-ная вероятность возникновения первичных травм различной степени тяжести $\Delta p_{\Phi i; 0,5}$;

3) по формулам (9)—(10) рассчитываются вероятности возникновения каждого из рассматриваемых эффектов.

Пример.

1. Параметры ВУВ: $\tau_+ = 0,021$ с; $\Delta p_{\Phi} = 100$ кПа.

2. Значения величин $\Delta p_{\Phi i; 0,5}$ при $\tau_+ = 0,021$ с, вычисленные по формулам (1)—(5) для первичных травм различной степени тяжести, составляют: $\Delta p_{\Phi 1; 0,5} = 34,96481$ кПа; $\Delta p_{\Phi 2; 0,5} = 181,327$ кПа; $\Delta p_{\Phi 3; 0,5} = 310,299$ кПа; $\Delta p_{\Phi 4; 0,5} = 447,9124$ кПа; $\Delta p_{\Phi 5; 0,5} = 628,1987$ кПа.

3. При принятых допущениях и параметрах ВУВ $\tau_+ = 0,021$ с; $\Delta p_{\Phi} = 100$ кПа могут иметь место баротравмы и легкие поражения (смотри табл. 1 и пункт 2 примера). Для баротравмы ($i = 1$) $\Delta p_{\Phi} > \Delta p_{\Phi 1; 0,5}$; для легких поражений ($i = 2$) $\Delta p_{\Phi} < \Delta p_{\Phi 2; 0,5}$.

4. По формулам (9) и (10) рассчитываются вероятности возникновения баротравм $p(1)$ и легких поражений $p(2)$:

$$p(1) = 1/\{\exp[-(100 - 34,965) \times 5 / (181,327 - 34,965)] + 1\} = 0,9022;$$

$$p(2) = 1/\{\exp[-(100 - 181,327) \times 5 / |34,965 - 181,327|] + 1\} = 0,0585.$$

Список литературы

1. **Физика** ядерного взрыва: В 2 т. Том 2. Действие взрыва / Министерство обороны Российской Федерации. Центральный физико-технический институт. — М.: Наука. Физматлит, 1997. — 256 с.
2. **Взрывные** явления. Оценки и последствия: Кн. 2. — М.: Мир, 1986. — 384 с.
3. **Ван дер Варден Б. Л.** Математическая статистика. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 434 с.

УДК 543.26, 544.77, 544.723

А. В. Андропова¹, канд. физ.-мат. наук, А. В. Трефилова¹, М. С. Артамонова²,
 М. А. Иорданский¹, канд. техн. наук, А. С. Гинзбург²,
 И. Г. Гранбергер², д-р физ.-мат. наук, В. М. Минашкин¹, д-р техн. наук,
 Ю. И. Обвинцев¹

¹ Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова

² Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН

E-mail: vminash@yandex.ru

Дисперсный состав и содержание химических элементов в аэрозолях приземного слоя атмосферы Москвы

Методика отбора проб и анализ полученных данных

Представлены результаты синхронных измерений дисперсного состава и содержания химических элементов в аэрозолях приземного слоя атмосферы Москвы. Эти данные могут быть полезны с точки зрения оценки накопления тех или иных элементов в организме человека и их влияния на здоровье.

Определено массовое содержание химических элементов в составе атмосферного аэрозоля и рассчитаны коэффициенты корреляции между элементами и размерами частиц, что позволило выявить возможные аэрозольные частицы-носители для ряда токсичных химических элементов.

Ключевые слова: экология, мегаполисы, атмосфера, токсичные аэрозоли.

Andronova A. V., Trefilova A. V., Artamonova M. S., Iordansky M. A., Ginzburg A. S., Granberg I. G., Minashkin V. M., Obvintsev Yu. I. Disperse composition and the content of chemical elements in aerosols of a ground layer of Moscow atmosphere

In the given work results of synchronous measurements of disperse composition and the content of chemical elements in aerosols of a ground layer of atmosphere Moscow are presented. These data can be useful in assessing the accumulation of any elements in a human body and its health effects.

The mass content of chemical elements in the composition of atmospheric aerosol is defined and correlation factors between elements and the sizes of particles are calculated. This allowed the identification of possible aerosol-carriers for a number of toxic chemicals.

Keywords: ecology, megapolices, atmosphere, toxic aerosols.

Исследования массовой концентрации, элементного состава, функции распределения по размерам и пофракционного распределения химических элементов в приземном атмосферном аэрозоле является важнейшей задачей экологического мониторинга [1–7]. Это вызвано тем, что вырос интерес к измерениям концентраций аэрозольных частиц различных размеров в воздухе мегаполисов, связанный с влиянием аэрозолей на климат и здоровье людей.

Анализ атмосферного воздуха представляет серьезные трудности в основном по двум причинам. Во-первых, атмосфера является системой неустойчивой, так как ее физические и химические характеристики постоянно меняются. Во-вторых, многочисленные химические соединения, подлежащие анализу, содержатся в воздухе в концентрациях от 10^{-12} до 10^{-3} г/м³. Последнее обстоятельство накладывает определенные условия на процедуру отбора аэрозольных проб и методы их анализа. Пробы отбираются либо на специальные фильтры, либо на подложки каскадных импакторов. При использовании для отбора проб чистых фильтров типа АФА-ХА, ФПА и ФПАР для проведения нейтронно-активационного анализа достаточное (пороговое) значение прокачиваемого воздуха можно оценить в 0,5...1 м³, для других методов анализа эта величина порядка 3...10 м³. Эти оценки зависят от степени чистоты атмосферного воздуха и от определяемого элемента, кроме того, от соотношения количеств данного элемента в пробе и в фильтре.

Измерения параметров аэрозолей проводились в Москве весной и осенью 2002 г., на территории Метеорологической обсерватории МГУ. Территория расположена в селитебной части периферийного района Москвы и крупные источники загрязнения отсутствуют.

Массовая концентрация аэрозолей измерялась непрерывно нефелометром и дискретно весовым методом аспирационными пробоотборниками. Счетная концентрация и функция распределения частиц по размерам определялись анализаторами спектра размеров в 15 диапазонах размеров частиц в интервале 0,15...15 мкм и шестикаскадным импактором. Измерения проводились синхронно с отбором проб на элементный анализ. Отбор проб производился на фильтры АФА-ХА теми же пробоотборниками, которые использовались для определения массовой концентрации, с обязательным контролем расхода воздуха и времени отбора пробы. Элементный состав проб определялся методом масс-спектрометрии. Далее был проведен расчет средних значений массовых концентраций и средних значений коэффициентов обогащения аэрозоля EF_{med} относительно кларков (среднего содержания элементов в земной коре) по Виноградову [8–10].



Результаты измерений и обсуждение

На рис. 1, 2 представлены графики изменения массовой концентрации аэрозолей за периоды измерений. Характер изменения массовой концентрации аэрозолей в атмосфере соответствовал изменениям синоптической ситуации, времени суток и интенсивности техногенной нагрузки (рабочие и выходные дни). В зоне фронтов наблюдалось повышение массовой концентрации аэрозолей по сравнению с концентрацией в свободной атмосфере при отсутствии фронтальных зон. Наиболее высокие концентрации наблюдались в зонах фронта окклюзии и теплого фронта, наиболее низкие в зоне холодного фронта и в холодной арктической массе воздуха. На аэрозольных фильтрах было идентифицировано 26 химических элементов: Si, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Be, Li. Средние значения (C_{med}), пределы массового содержания химических элементов в составе атмосферного аэрозоля (C_{max} , C_{min}), предельно допустимые (ПДК) и фоновые значения концентраций некоторых элементов, а также средние значения коэффициентов обогащения аэрозоля химическими элементами EF_{med} относительно кларков приведены в табл. 1.

Из представленных данных следует, что средняя концентрация ряда химических элементов в атмосферных аэрозолях — K, Ti, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Sn, Pb в течение периода наблюдения превышала фоновые значения, но вместе с тем была ниже среднесуточных ПДК. Для остальных элементов средняя концентрация была ниже фоновых значений. Значения средних концентраций для некоторых элементов (Al, Ca, Fe, K, Li) в весенний период выше, чем

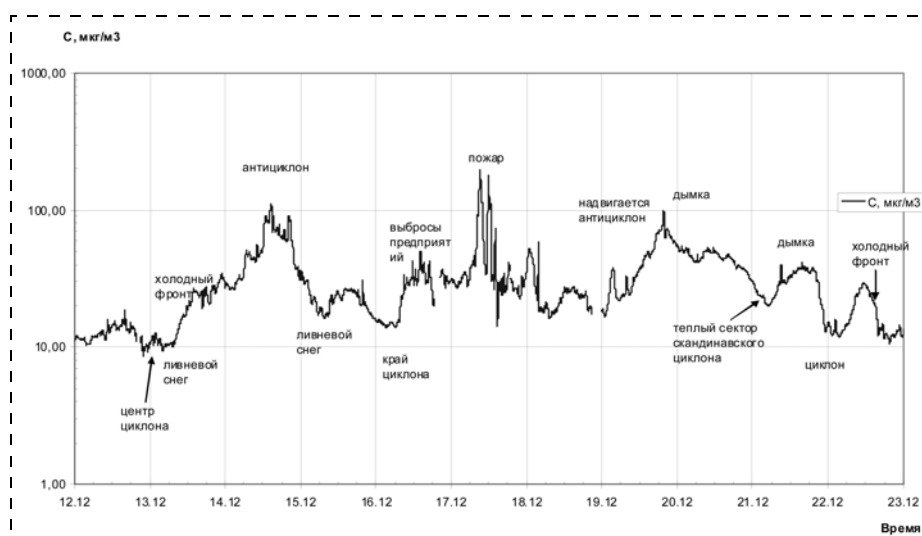


Рис. 2. Массовая концентрация аэрозоля в осенний период измерений и синоптическая обстановка

в зимний, так как эти элементы литогенного происхождения входят в состав пыли. У элементов техногенного происхождения (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, V) средние значения концентраций, напротив, выше в зимний период.

Распределение уровня концентрации элементов в аэрозолях имеет сложный характер (большой диапазон концентраций и их неравномерное частотное распределение) обусловленный сезонными, синоптическими и техногенными изменениями. Поэтому использование среднего массового значения концентрации не позволяет достоверно оценить реальное техногенное загрязнение. Элементы поступают не только от техногенных источников, но и с поверхности земли. Показателем степени аномальности содержания химических элементов может служить фактор обогащения EF [11], в качестве нормирующего элемента выбран алюминий.

$$EF = C_i C_{fn} / C_{fi} C_n$$

где C_i — наблюдаемая концентрация i -го элемента; C_n — наблюдаемая концентрация нормирующего элемента; C_{fi} , C_{fn} — концентрации i -го элемента и нормирующего в воздухе в фоновых условиях или в кларках (среднего содержания элементов в земной коре).

В работе [12] указывается, что химические элементы в составе аэрозолей, для которых значение $EF \leq 10$ можно считать естественного, в основном литогенного, происхождения. Химические элементы, для которых значение $EF > 10$, могут быть как природного (извержение вулканов, морской аэрозоль и пр.), так и техногенного происхождения, включая техногенную составляющую, аккумулированную грунтом и городской пылью. Был проведен расчет EF_{med} , по значению которого было выделено две группы химических элементов, связанных между собой.

В первую группу входят элементы литогенного происхождения — Si, Na, Mg,

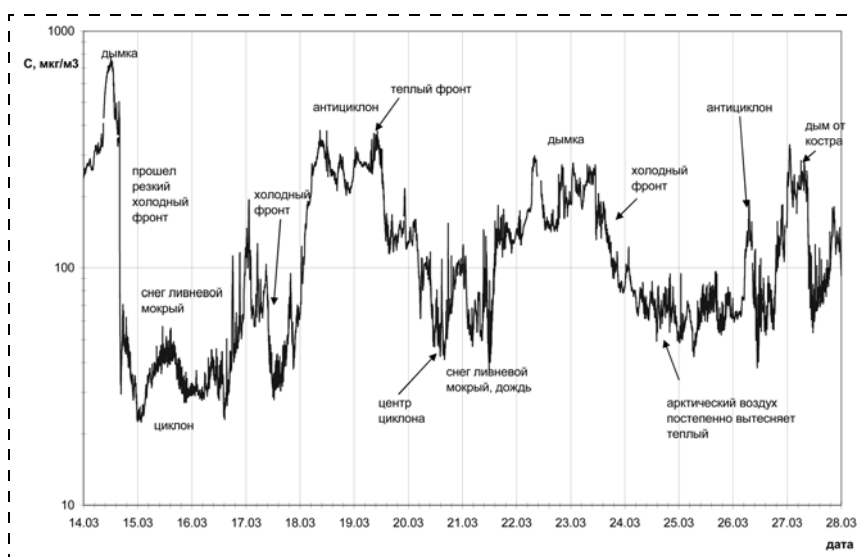


Рис. 1. Массовая концентрация аэрозоля в весенний период измерений и синоптическая обстановка



Таблица 1

Коэффициенты обогащения аэрозольных частиц химическими элементами и концентрации элементов

Хим. элемент	Зима				Весна				Фон, мкг/м ³	ПДК, мкг/м ³
	C _{max} , мкг/м ³	C _{med} , мкг/м ³	C _{min} , мкг/м ³	EF _{med}	C _{max} , мкг/м ³	C _{med} , мкг/м ³	C _{min} , мкг/м ³	EF _{med}		
Al	0,6075	0,2862	0,0685	1	1,82	1,01	0,1047	1	0,78	150
As	0,0082	0,0028	0,0004	525	0,0017	0,001	0,0001	56	—	—
Be	0,0002	0,0001	0,000007	5	0,00007	0,00003	0,00001	1	—	—
Ca	0,878	0,5041	0,3164	4	10,627	3,595	0,584	10	0,65	150
Cd	0,0113	0,0020	0,0002	3892	0,0012	0,001	0,0003	432	0,0001	0,3
Co	0,0014	0,0007	0,0002	9	0,0011	0,0005	0,00014	2	0,0002	1
Cr	0,052	0,0283	0,0053	192	0,0178	0,008	0,0039	19	0,006	1,5
Cu	0,0718	0,0342	0,0143	184	0,0169	0,014	0,0034	22	0,002	—
Fe	1,891	1,0007	0,5585	6	7,2469	1,857	0,6284	3	—	—
Hg	0,0008	0,0007	0,0002	1375	0,0003	0,0001	0,000004	143	0,0004	0,3
K	0,6042	0,3336	0,0950	4	1,9910	0,737	0,1841	2	0,19	150
Li	0,0003	0,0002	0,0001	2	0,0017	0,001	0,0005	2	—	—
Mg	0,68	0,3380	0,0373	4	0,9333	0,339	0,0663	2	—	—
Mn	0,039	0,0225	0,0065	5	0,0489	0,025	0,0101	2	—	—
Mo	0,0233	0,0025	0,0005	1061	0,0178	0,006	0,0002	467	—	—
Na	1,8	1,1682	0,3135	10	0,6169	0,433	0,2069	1	—	—
Ni	0,065	0,0387	0,0062	148	0,0218	0,01	0,0072	15	0,005	1
P	0,0553	0,0275	0,0097	9	0,137	0,053	0,0123	5	—	—
Pb	0,042	0,0240	0,0048	412	0,0303	0,019	0,0099	95	0,008	0,3
Se	0,008	0,0034	0,0003	16 399	0,0009	0,001	0,0002	906	—	—
Si	1,15	0,5991	0,0057	1	0,1492	0,037	0,0055	1	—	—
Sn	0,0079	0,0121	0,0011	393	0,0033	0,002	0,0005	60	0,003	50
Sr	0,0035	0,0024	0,0010	2	0,0113	0,008	0,0019	2	—	—
Ti	0,068	0,0353	0,0021	2	0,1032	0,04	0,0044	1	0,09	—
V	0,0103	0,0072	0,0019	16	0,0048	0,003	0,0016	13	0,004	2
Zn	0,383	0,0932	0,0327	298	0,1118	0,068	0,0381	60	0,023	50

Примечание: C_{max} — максимальное; C_{med} — среднее; C_{min} — минимальное; ПДК — предельно допустимое; фон — фоновое значение концентраций элементов в аэрозольных частицах зимой и весной; EF_{med} — средние значения коэффициентов обогащения аэрозоля химическими элементами за период измерения.

Таблица 2

Содержание химических элементов по каскадам импактора, %

Химический элемент	Каскады импактора											
	6-й		5-й		4-й		3-й		2-й		1-й	
	Диаметр аэрозольной частицы, мкм											
	<0,5		0,5...1,5		1,5...2,5		2,5...4,0		4,0...6,5		>6,5	
	зима	весна	зима	весна	зима	весна	зима	весна	зима	весна	зима	весна
Al	8,8	7,6	10,8	8,1	31,7	33,5	22,0	23,0	22,4	24,4	4,5	3,5
As	56,5	64,5	18,7	12,2	16,7	13,7	4,0	5,0	3,4	3,2	0,7	1,3
Be	11,0	10,7	—	1,2	36,3	30,3	8,1	10,1	41,9	44,9	3,0	2,8
Ca	5,9	3,9	6,3	13,4	32,7	22,7	23,9	21,9	25,0	24,0	6,2	14,1
Cd	64,8	53,8	15,6	15,5	15,0	25,0	2,2	2,3	1,8	2,8	0,5	0,5
Co	24,5	20,5	12,1	7,2	23,3	18,3	16,3	18,9	16,1	19,1	7,4	15,9
Cr	23,9	28,9	12,9	26,6	21,0	23,0	16,1	15,1	14,5	4,8	11,6	1,6
Cu	34,2	34,2	13,2	1,5	21,2	11,2	13,1	12,9	14,0	24,0	4,3	16,3
Fe	16,3	16,1	12,8	19,8	29,3	27,4	19,2	16,2	16,2	14,2	6,3	6,3
Hg	31,0	33,0	14,0	9,2	17,9	17,9	16,5	10,5	11,8	17,6	8,8	11,8
K	40,7	39,6	19,8	11,8	18,5	20,5	6,2	16,2	10,7	7,2	4,2	4,7
Li	28,3	17,3	12,4	12,1	28,2	21,2	13,0	17,0	13,7	18,2	4,2	14,2
Mg	9,1	7,1	9,8	2,7	33,7	23,7	20,1	26,9	21,2	29,2	6,1	10,3
Mn	28,5	12,5	23,6	10,5	26,4	26,4	10,1	15,1	7,8	19,8	3,5	15,5
Mo	35,5	28,5	9,9	11,3	26,2	27,2	13,0	15,0	12,3	14,2	3,1	3,9
Na	12,7	9,7	15,6	27,3	24,1	22,1	16,8	13,8	17,0	12,0	13,9	15,2
Ni	21,5	28,5	17,5	15,4	17,4	19,4	16,0	14,0	15,0	12,0	12,6	10,6
P	41,1	35,1	18,6	9,6	15,6	10,6	12,1	11,1	5,0	16,0	7,6	17,6
Pb	49,5	47,5	19,2	21,2	22,0	19,6	5,0	7,2	3,3	2,8	1,0	1,7
Se	59,1	79,1	19,5	6,5	14,0	4,0	2,3	3,5	2,4	3,2	2,6	3,6
Si	24,2	12,2	21,9	11,8	12,4	13,4	10,2	11,2	6,5	16,5	24,7	34,7
Sn	12,8	13,8	16,1	10,2	15,5	13,5	32,9	30,8	11,7	15,7	10,9	15,9
Sr	7,3	6,3	8,8	7,1	34,7	32,7	22,3	24,5	22,4	24,1	4,5	5,3
Ti	13,8	11,8	9,8	6,5	28,7	25,9	21,9	24,8	19,0	19,3	6,7	11,6
V	58,5	17,2	17,4	10,1	15,7	14,3	4,3	24,3	3,4	17,4	0,7	16,7
Zn	52,0	48,4	19,1	21,7	19,6	11,6	4,3	7,3	4,2	6,2	0,9	4,9



Таблица 3

Элементный состав аэрозольных частиц PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_{10}

Диапазон	Москва	
	$EF < 10$	$EF > 10$
PM_1 $PM_{2,5}$	Отсутствуют К, Mn, P, Si, Li	As, Cd, Pb, Se, V Те же и Cr, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Zn
PM_{10}	Те же и Al, Be, Ca, Fe, Mg, Na, Sr, Ti	Те же и Sn

Al, P, K, Ca, Ti, Mn, Fe, Sr, Be, Li. Для них характерно среднее значение фактора обогащения EF_{med} близкое к десяти за весь период наблюдения. Во вторую группу входят элементы, для которых характерно среднее значение фактора обогащения EF_{med} больше десяти за весь период наблюдений. В группу входят техногенные элементы, поступающие в атмосферу с выбросами предприятий теплоэнергетики: Ni, V; Cd, Cu, Zn, Hg, Pb, As, Sn, Se, Mo, Cr, возможными источниками поступления которых являются транспорт, промышленные предприятия и техногенная составляющая грунта или городской пыли.

В табл. 2 представлены данные по процентному содержанию химических элементов на каждом из каскадов импактора за весь период наблюдений.

Значения коэффициентов корреляции между химическим элементом и размером частиц не позволяют сделать каких-либо выводов о содержании определенных элементов во фракционном составе частиц, однако могут служить дополнительной информацией при анализе измерений импактором. Такой анализ позволяет сделать некоторые выводы о фракционном составе частиц, содержащих определенные элементы.

Так, в состав аэрозолей PM_1 (частицы аэрозолей размером до 1,0 мкм) в зимне-весенний период входят элементы As, Cd, Pb, Se, V. Суммарное процентное содержание каждого из этих элементов на шестом и пятом каскаде импактора превышает 70 %. Имеется положительная корреляционная связь $K_{кор} > 0,7...0,8$ с частицами размером 0,15...0,5 мкм для элементов Pb, V, Cd.

В состав аэрозолей $PM_{2,5}$ (частицы аэрозолей размером до 2,5 мкм), наряду с вышеперечисленными элементами, входят также — Cr, Co, Cu, Hg, K, Li, Mn, Mo, Ni, P, Si, Zn, так как суммарное процентное содержание каждого из этих элементов на шестом, пятом и четвертом каскадах импактора превышает 70 % и имеется положительная корреляционная связь $K_{кор} > 0,3...0,8$ с частицами размером 0,15...3,0 мкм, более значимая для весеннего периода.

В состав аэрозолей PM_{10} (частицы аэрозолей размером до 10 мкм), наряду с вышеперечисленными элементами, входят также — Al, Be, Ca, Fe, Mg, Na, Sn, Sr, Ti. Основная масса каждого из этих элементов распределена на четвертом, втором и первом каскадах импактора и имеется положительная корреляционная связь с частицами размером 1,5 мкм и выше, также более значимая для весеннего периода. Частицы диаметром менее 10 мкм (PM_{10}) составляют 70 % всех взвешенных частиц и являются наиболее опасными для здоровья людей, они способны проникать глубоко в легкие и там накапливаться.

Общий сравнительный анализ процентного содержания химических элементов на каждом из каскадов шестикаскадного импактора за весь период наблюдений и срав-

нение его с коэффициентами корреляции между химическим элементом и размером частиц по сезонам (зима—весна) не выявил значительных различий между частицами — носителями химических элементов. Некоторое увеличение процентного содержания и коэффициентов корреляции литогенных элементов весной вызвано отсутствием к моменту наблюдения снежного покрова и поступлением аэрозолей с поверхности земли.

В табл. 3 представлен элементный состав аэрозольных частиц PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_{10} с учетом среднего фактора обогащения EF_{med} для каждого химического элемента для зимне-весеннего сезона.

Из таблицы следует, что техногенные элементы As, Cd, Pb, Se и V, относящиеся по данным [13] к особо вредным, содержатся во всех аэрозолях, в том числе в самых мелких (PM_1), которые могут проникать сквозь стенки мембран и накапливаться на стенках кровеносных сосудов и в других органах человека.

Эти элементы относятся к наиболее распространенным загрязнителям воздуха и негативно воздействуют на человека. Высокие концентрации свинца поражают центральную нервную систему (ЦНС), во время как низкие дозы поражают мозг и приводят к психическим расстройствам у детей.

Все элементы, фактор обогащения которых больше 10 (техногенные), являются токсичными [14]. Некоторые из них канцерогенны для человека, входят в 1-ю группу по классификации Международной ассоциации исследований рака (МАИР). Кадмий и его соединения поражают легкие, предстательную железу; мышьяк и его соединения — легкие, кожу; никель и его соединения — полость носа, легкие; хром шестивалентный и его соединения — легкие [15].

Заключение

1. Получены одновременные распределения концентраций химических элементов и дисперсного состава аэрозолей в приземном слое периферийного района Москвы в зимне-весенний период. Значения средних концентраций для некоторых элементов (Al, Ca, Fe, K, Li) в весенний период выше, чем в зимний, так как эти элементы литогенного происхождения входят в состав пыли. У элементов техногенного происхождения (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, V) средние значения концентраций, напротив, выше в зимний период.

2. По значениям коэффициентов обогащения аэрозоля $EF_{med} > 10$, как критерия уровня техногенного загрязнения, можно сделать вывод, что основными элементами — загрязнителями в зимне-весенний период являются элементы Ni, V, Cd, Cu, Zn, Hg, Pb, As, Sn, Se, Mo, Cr. Возможными источниками поступления этих элементов являются транспорт, промышленные предприятия и техногенная составляющая грунта или городской пыли.

3. Сравнительный анализ корреляционных связей дисперсного и элементного составов проб аэрозолей в диапазонах размеров частиц близких к диапазонам 6-ти каскадного импактора и процентного содержания химических элементов на каждом из каскадов импактора за весь период наблюдения, с учетом коэффициентов обогащения аэрозоля EF_{med} , позволяет сделать следующее заключение:

— в состав аэрозолей PM_1 в зимне-весенний период входят элементы As, Cd, Pb, Se, V;

— в состав аэрозолей $PM_{2,5}$, наряду с элементами As, Cd, Pb, Se, V входят также — Cr, Co, Cu, Hg, K, Li, Mn, Mo, Ni, P, Si, Zn;

— в состав аэрозолей PM_{10} , наряду с элементами As, Cd, Pb, Se, V, Cr, Co, Cu, Hg, K, Li, Mn, Mo, Ni, P, Si, Zn входят также — Al, Be, Ca, Fe, Mg, Na, Sn, Sr, Ti.

Общий сравнительный анализ процентного содержания химических элементов на каждом из каскадов шестикаскадного импактора за весь период наблюдений и сравнение его с коэффициентами корреляции между химическим элементом и размером частиц по сезонам (зима — весна) не выявил значительных сезонных различий между частицами — носителями химических элементов.

Список литературы

1. Гинзбург А. С., Губанова Д. П., Минашкин В. М. Влияние естественных и антропогенных аэрозолей на глобальный и региональный климат // Российский химический журнал. — 2008. Т. LII. — № 5. — С. 112—120.
2. Андреев Г. Б., Минашкин В. М., Невский И. А., Путилов А. В. Материалы, производимые по нанотехнологиям: потенциальный риск при получении и использовании // Российский химический журнал. — 2008. — Т. LII. — № 5. С. 32—39.
3. Ивлев Л. С. Химический состав и структура атмосферных аэрозолей. — Л.: ЛГУ, 1982. — 382 с.
4. Кудряшов В. И. Анализ элементного состава атмосферных аэрозолей физическими методами / Межвузовский сб. Проблемы физики атмосферы. Вып. 20. Физика и химия атмосферных аэрозолей. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. — С. 97—130.
5. Огородников Б. И., Будыка А. К., Скитович В. И., Бродовои И. В. Характеристики аэрозолей пограничного слоя атмосферы над Москвой // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. — 1996. — Т. 36. — № 2. — С. 163—171.
6. Ивлев Л. С., Жуков В. М., Кудряшев В. И., Погорский С. Н. Исследование микроструктуры и химического состава стационарных аэрозолей // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. — 1989. — Т. 25. — № 3. — С. 128—136.
7. Контроль химических и биологических параметров окружающей среды / Под ред. проф. Л. К. Исаева. — СПб., 1998.
8. Andronova A. V., Granberg I. G., Grisenko A. M., Gubanova D. P., Zudin B. V., Iordanskii M. A., Lebedev V. A., Nevskii I. A., Obvintsev Yu. I. Studies of the Spatial and Temporal Distribution of Surface Aerosol along the Trans-Siberian Railroad. *Izv. Atmos. Ocean. Phys.* 2003. Vol. 39. Suppl. 1. P. S27—S34.
9. Донченко В. К., Ивлев Л. С. Об идентификации аэрозолей разного происхождения // Труды 3-й Международной конференции. Естественные и антропогенные аэрозоли. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001. — С. 41—52.
10. Перельман П. И. Геохимия. — М.: Высшая школа, 1979.
11. Волох А. А., Журавлева М. Г. Оценка техногенного загрязнения воздуха в г. Москве // Известия АН. Физика атмосферы и океана. — 1994. — Т. 30. — № 2. — С. 182—188.
12. Виноградова А. А., Малков И. П., Полиссар А. В. Элементный состав приземного атмосферного аэрозоля арктических районов России // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. — 1993. — Т. 29. — № 2. С. 164—172.
13. Гигиенические нормативы 2.1.6.695—98. Предельно допустимые концентрации в атмосферном воздухе населенных мест.
14. Васильева Е. А. и др. Как организовать общественный экологический мониторинг: руководство для общественных организаций / Под ред. М. В. Хотулевой. — М.: Социально-экологический союз, 1997. — С. 200—222.
15. Куценко С. А. Основы токсикологии. Т. 4. Санкт-Петербург, 2002. — 119 с.

УДК 614.841.345.6

Т. Л. Зенина,

ФГОУ ВПО "Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д. К. Беляева"

E-mail: Ivgsha@tpi.ru

Состояние пожарной безопасности в сельской местности Ивановской области

Рассмотрены основные причины пожаров в сельских населенных пунктах Ивановской области. Рассмотрены основные направления противопожарной профилактики, проводимые ГУ МЧС России по Ивановской области и администрацией населенных пунктов.

Ключевые слова: технический регламент, индивидуальный пожарный риск, пожарная безопасность, объект защиты.

Zenina T. L. The state of fire safety in rural areas of ivanovo region

The main reasons of fires in rural centres of Ivanovo region are regarded in the article. The chief trends of fire-prevention measures held by State Administration of Emergencies Ministry in Ivanovo region and administration of localities are considered.

Keywords: the technical order, personal fire risk, fire safety, object of protection.

Пожарная безопасность — это состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей вызываемых пожаром опасных и вредных факторов и обеспечивается сохранение материальных ценностей. Обеспечение нужного уровня пожарной безопасности и снижение потерь вследствие пожаров является важным фактором устойчивого развития любого региона.

На протяжении последних 5 лет обстановка с пожарами в сельской местности Ивановской области имеет устойчивую динамику снижения. Это связано с вложениями и самих руководителей хозяйств, и государства.

В табл. 1 приведены результаты анализа основных причин пожаров в сельской местности Ивановской области за пять лет. Из таблицы видно, что общее количество пожаров в 2009 г. снизилось на 33 % по сравнению с 2004 г. Стабильно высокими остаются возгорания от неосторожного обращения с огнем, но и здесь наблюдается снижение на 32,7 %. Негативным является то, что из года в год высокими остаются загорания от неправильной эксплуатации электрооборудования. При этом не проводится контроль сопротивления изоляции уже



существующего оборудования и не учитываются возможности электрической сети при монтаже нового энергонасыщенного оборудования.

Частота пожаров отражает общий уровень пожарной безопасности и эффективности противопожарных мероприятий, деятельность надзорных органов и мер, принимаемых самими гражданами и собственниками. Здесь же не последнюю роль играет знание гражданами вопросов противопожарной безопасности, т. е. профилактическая работа должна проводиться постоянно. Из табл. 1 видно, что 14 % пожаров в 2009 г. произошло из-за неправильной эксплуатации печей.

Большая часть жилого сектора сельских районов до сих пор отапливается углем, дровами, значительно меньше — газом. При установке газового котла только некоторые граждане получают соответствующий инструктаж, остальная же часть населения такого обучения не проходит. Не увидишь и огнетушителей в жилых домах и квартирах. Даже на производстве не все работающие умеют ими пользоваться. Это хорошо видно, когда проводятся занятия со студентами заочной формы обучения. А ведь знания в области безопасности необходимы всем членам общества на всех этапах жизни. Каждый должен знать возможные негативные последствия своих действий, чтобы снизить индивидуальный риск.

Индивидуальный риск характеризует опасность определенного вида деятельности для конкретного индивидуума. В настоящее время в соответствии с международной договоренностью принято считать, что риск, связанный с действием техногенных опасностей, должен находиться в пределах 10^{-7} ... 10^{-6} смертельных случаев/(чел. · год).

Таблица 1

Причины и количество пожаров в сельской местности

Годы	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Поджог	40	62	57	46	37	37
НПО	1	1	1	0	2	1
НПУЭ электрооборудования	111	103	76	68	65	80
НППБ при проведении электрогазосварочных работ	1	2	1	1	1	0
Взрывы	2	0	0	0	0	0
Самовозгорание веществ	0	4	0	2	0	0
НПУЭ печей	80	92	108	74	69	70
НПУЭ теплогенерирующих установок	1	3	3	0	1	3
НПУЭ бытовых газовых устройств	5	9	6	3	2	0
Неосторожное обращение с огнем, в том числе	284	271	331	219	204	191
при курении	77	83	73	67	45	—
детей	13	14	15	9	9	—
Грозовые разряды	6	14	6	5	3	0
Неустановленные причины	3	8	0	4	1	0
Прочие причины	73	52	29	55	69	77
НПУЭ транспортных средств	23	17	14	31	20	23
Итого	720	735	720	508	474	482

Принятые сокращения: НПО — неисправность производственного оборудования; НППБ — нарушение правил пожарной безопасности; НПУЭ — нарушение правил устройства и эксплуатации; НПЭ — нарушение правил эксплуатации.

Таблица 2

Материальные и человеческие потери от пожаров в сельской местности [3]

Годы	2007	2008	2009
Общее количество пожаров, ед.	508	474	482
Количество проживающих, чел.	210 103	207 301	205 599
Погибло при пожарах, чел.	56	32	36
Риск гибели при пожаре	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Материальный ущерб, тыс. руб.	36 890	47 201	34 408
Удельный материальный ущерб, руб./чел.	177,9	229,6	167,35

В национальных нормативных документах величина 10^{-6} используется и для оценки пожарной безопасности [1, 2].

Индивидуальный риск гибели $R_{и}$ при пожаре обусловлен вероятностью реализации опасностей в конкретных ситуациях. При использовании статистических данных его определяют по формуле:

$$R_{и} = \frac{T_{см}}{C},$$

где $T_{см}$ — число погибших от определенного фактора опасного воздействия за год; C — число людей, подверженных воздействию этих факторов за год.

В табл. 2 проанализирован риск гибели на пожаре за три года.

Как видно из таблицы риск гибели при пожаре в сельской местности Ивановской области гораздо выше рекомендуемой величины 10^{-6} . Удельный материальный ущерб от пожаров снизился, но это снижение не стабильное.

Риск гибели на пожаре был оценен только по статистическим данным. Вообще оценка степени риска пожара не должна делаться просто для получения абстрактного числа, а для оперативного принятия мер по снижению количества пожаров. Профессиональная оценка риска пожара делается для потенциально опасных объектов соответствующими организациями. И поэтому сейчас особенно важно принятие и внедрение в жизнь аудита безопасности. Этим безусловно должны заниматься коммерческие организации, а не МЧС. Предприниматель сможет открыть свое заведение только после обеспечения безопасности работающих в нем людей и страхования своего объекта. От этого зависит и сумма страховки. Немного найдется страховщиков, которые, увидев, что некому тушить, нечем тушить, некому спасать, даже за очень большие деньги будут заключать договор страхования [4, 5].

С учетом существующего уровня риска пожаров эффективное обеспечение пожарной безопасности может быть достигнуто путем увеличения объемов финансирования за счет средств бюджетов всех уровней, а также внебюджетных средств.

По прогнозам Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий к 2012 г. уровень риска пожаров повысится, будет возрастать число погибших и материальный ущерб. Даже в первые месяцы 2010 г. резко повысилось число пожаров по сравнению с аналогичным периодом прошлого года.

ГУ МЧС России по Ивановской области в этом году значительно активизировало работу. И, тем не менее, не

Сравнительный анализ за 2009 год [3]

Показатели	Всего по области	Город		Село	
		Количество	% от областного	Количество	% от областного
Численность населения, чел.	1 073 072	867 473	80	205 599	20
Количество пожаров, ед.	1482	1000	68	482	32
Количество погибших, чел.	122	86	70	36	30
Количество травмированных, чел.	112	95	85	17	15
Прямой ущерб, тыс. руб.	115 435	81 027	70	34 408	30

все жители региона могут рассчитывать на своевременную помощь соответствующих служб при пожаре. В соответствии с "Техническим регламентом о требованиях пожарной безопасности" [6], вступившего в силу с 1 мая 2009 г., введено ограничение времени прибытия к месту возгорания пожарных подразделений. Определено нормативное время для этого: в городской местности — 10 мин, в сельской — 20 мин. Двадцатиминутное пожарное прикрытие — это то время, в течение которого пожарное подразделение должно прибыть к месту пожара (с момента сообщения о пожаре до его локализации). Сокращение этого времени влияет на последствия пожара: сокращение числа погибших и пострадавших, уменьшение материального ущерба. Подсчитано, что сокращение времени локализации и ликвидации пожара на одну минуту позволяет снизить ущерб от пожара в среднем на 300 руб. в расчете на 1 м². В Ивановской области в некоторых районах это почти неразрешимая проблема.

По сведениям ГУ МЧС РФ по Ивановской области в 990 населенных пунктов (треть от их общего количества в области) пожарные бригады не могут приехать вовремя. Причем иногда время в пути достигает 60 мин. В 2009 г. из 1330 выездов пожарные не смогли уложиться в норматив в 40 случаях и в 5 из них погибли люди.

Уровень пожарного прикрытия в сельских населенных пунктах составляет всего 66,5 %. Особенно сложная ситуация сложилась в Заволжском районе — 108 неприкрытых населенных пунктов, Ивановском — 98, Пестяковском — 68, Тейковском — 55, Южском — 47. В общей сложности на этих территориях проживает почти 52 тыс. человек. Основных причин такого положения всего две: нехватка подразделений пожарной охраны и совсем уж банальная — отсутствие нормальных дорог. По техническому регламенту радиус выезда в городе должен составлять не более 3,8 км, а в сельской местности не более 11,7 км. В сельской местности этот регламент не выдерживается, значит нужно создавать дополнительные пожарные подразделения.

Чтобы прикрыть всю территорию области, необходимо создать дополнительно 53 подразделения пожарной охраны. ГУ МЧС России по Ивановской области готово взять на себя создание всего 7 из них. Еще 12 подразделений должны учредить муниципалитеты, а остальные 34 должны быть добровольными. Когда-то добровольные пожарные дружины действовали повсеместно. Они работали с населением, проводили конкурсы, соревнования. Сложностей в создании добровольных пожарных подразделений, наверное, не будет и сейчас. Но их нужно содержать, укомплектовать соответствующей техникой, что администрациям районов и тем более поселений затруднительно. Денег на приобретение пожарной техники нет, и никто этих денег не обещает. Так на кого же надеяться?

По стране более 32 тыс. населенных пунктов, куда пожарные не могут прибыть вовремя. Решить эту проблему только за счет государства невозможно. Направление, которое нужно развивать, особенно в сельской местности, как уже упоминалось, это добровольчество [4]. Еще 25...30 лет назад в селах на домах висел у кого багор, у кого топор. Каждый знал, с чем ему бежать на пожар. В крупных селах были добровольные пожарные дружины или команды, и они существовали за счет взносов всех жителей. Теперь ситуация иная. Нашей стране нужен закон о поддержке добровольчества, как в развитых странах.

Каждый должен думать о собственной безопасности. К примеру, держать в доме огнетушитель. Ведь основная

гибель людей на пожарах по стране происходит в жилом секторе — более 70 %.

Сравнительные показатели пожаров в сельской и городской местности Ивановской области в 2009 г. сведены в табл. 3.

Выводы

В соответствии с Концепцией Федеральной целевой программы "Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года" [7], утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 октября 2007 г., можно назвать основные направления деятельности по обеспечению пожарной безопасности:

- качественное повышение уровня обеспечения пожарной безопасности населения, территорий и критически важных объектов РФ;
- оптимизация финансовых и материальных ресурсов, привлекаемых для ликвидации пожаров;
- повышение эффективности мероприятий по минимизации риска пожаров, угроз для жизни и здоровья.

Надеяться при реализации этой программы придется не только на государство, но и на себя, проводя в каждом поселении, каждом производственном помещении жесткую профилактическую работу. Придется заняться и организацией добровольных пожарных дружин. В сельскохозяйственных предприятиях необходимо приспособить имеющуюся технику для тушения пожаров и своевременно провести модернизацию этого оборудования.

Список литературы

1. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности. — М.: Высш. шк., 2008. — 616 с.
2. Калыгин В. Г. и др. Безопасность жизнедеятельности. Промышленная и экологическая безопасность, безопасность в техногенных чрезвычайных ситуациях. — М.: Колосс, 2008. — 520 с.
3. Демографическая ситуация в Ивановской области. Федеральная служба государственной статистики. — Иваново, 2009. — 264 с.
4. Шойгу С. К. Страховка от страха. www.rg.ru.
5. Шойгу С. К. Мы отступать не привыкли // Гражданская защита. — 2010. — № 1. — С. 6—8.
6. Кириллов Г. Н. Техрегламент призван навести порядок // Гражданская защита. — 2009. — № 6. — С. 4.
7. Концепция Федеральной целевой программы "Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2012 года" // Гражданская защита. — 2007. — № 12. — С. 17—27.

О национальном стандарте "Экологический менеджмент. Воздействующие факторы. Классификация"

Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 14.03—2005 "Экологический менеджмент. Воздействующие факторы. Классификация" введен в действие с 1.01.2009 г.

В разделе 1 стандарта "Область определения" отмечается, что стандарт устанавливает основные направления классификации факторов, негативно воздействующих на окружающую среду, и распространяется на хозяйственную и иную деятельность, осуществляемую различными субъектами, включая юридических лиц и индивидуальных предпринимателей любых форм собственности. Обращается внимание, что стандарт не распространяется на оборонную продукцию и ядерные объекты.

Подчеркивается, что требования, установленные в стандарте, должны учитываться при разработке всех видов документации и научной литературы, относящихся к сферам обеспечения экологической безопасности продукции в процессах ее жизнедеятельности.

В разделе 2 "Нормативные ссылки" представлен перечень стандартов, используемых в рассматриваемом документе.

В разделе 3 "Термины и определения" рассматривается значение следующих из них: биосферозагрязнение, экологический фактор, абиотические (экологические) факторы, биотические (экологические) факторы, антропогенные (экологические) факторы, биосистемы по уровню организации, опасное воздействие (на окружающую среду), вредное воздействие, пожаровзрывоопасные объекты, токсодоза, химически опасные объекты, инфраструктура, качество окружающей среды, атмосфера, вид загрязнения, сочетанное действие, чрезвычайная ситуация.

В разделе 4 "Фасетная структура классификации опасных воздействий на окружающую среду (виды, факторы, показатели безопасности)" отмечается, что для обеспечения единообразия при разработке нормативно-технических документов в сфере охраны окружающей среды от негативных воздействий объектов хозяйственной или иной деятельности на всех стадиях жизненного цикла производимых ими товаров и оказываемых услуг необходимо использовать единую фасетную классификационную структуру видов и показателей экологической безопасности. Последняя построена исходя из того, что на окружающую среду оказывают воздействие внешние и внутренние (по отношению к объекту) факторы, обусловленные природными, биолого-социальными

и техногенными источниками загрязнений, по своему происхождению и негативным воздействиям на окружающую среду идентифицируемые в следующих сферах:

а) атмо-, ионно- и космосферах, включая солнечное излучение (абиотические воздействия, направленные на Землю из космического пространства);

б) социосфере (биолого-социальные воздействия, обусловленные биотическими факторами, отношениями, деятельностью, ошибками и/или умыслом людей, а также инфекционными болезнями, эпидемиями);

в) литосфере (геопатогенные абиотические воздействия недр, почв);

г) техносфере (антропогенные воздействия, обусловленные негативным воздействием на окружающую среду, включая людей, объекты хозяйственной деятельности).

Факторы техногенной опасности загрязнений в фасетной структуре классификации подразделяют, согласно стандарту, в зависимости от типов воздействий на:

— физические (механические, тепловые, шумовые, радиационные, полевые загрязнения различной природы, в том числе электромагнитные, световые, а также радиоактивные загрязнения);

— химические (аэрозоли, химические вещества, тяжелые металлы, пестициды, пластмассы);

— биологические (биогенные, микробиологические и генетические);

— биотические (психофизиологические, нервно-психологические и другие воздействия, негативно влияющие на людей, приводящие к перегрузкам, срывам, ошибкам в работе, конфликтам в социумах).

Для каждого из классифицируемых в каждой указанной выше сфере можно определить характер опасности воздействий загрязнений (см. таблицу).

Разъясняется, что экологически опасные абиотические и биотические воздействия классифицируют по следующим основным признакам:

— характеру воздействия экологических факторов;

— компонентам окружающей среды, на которые оказываются воздействия;

— стадии жизненного цикла объекта;

— условиям воздействия;

— продолжительности воздействия;

— уровню экологической опасности;

— масштабу опасного воздействия;

**Опасные воздействия загрязнений на субъекты и объекты**

Вид воздействия опасных загрязнений	Характер опасности загрязнений				Примечание
	атмо-, ионо- и космосфер	социосферы	литосферы	техносферы	
Ионизирующее излучение	×	—	—	×	С, О
Микроволновое излучение	×	—	—	×	С, О
Биологическая опасность	×	×	—	×	С
Поражение электрическим током	—	×	—	—	С
Бионесовместимость	—	×	—	—	С
Соционесовместимость	—	×	—	—	С
Геонесовместимость (объектов со средой)	—	—	×	×	С, О
Геопатогенное воздействие (в результате изменений в литосфере)	—	—	×	—	С
Геомагнитное излучение	—	—	×	—	С, О
Землетрясение	—	—	×	×	С, О
Исчерпывание ресурсов	—	—	×	×	С, О
Токсичность	—	—	—	×	С
Аллергичность	—	—	—	×	С
Вибрация	—	—	—	×	С, О
Акустический шум	—	×	—	×	С, О
Магнитное поле	—	—	—	×	С, О
Электромагнитные помехи	—	×	—	×	С, О
Неионизирующие излучения (лазерное, видимое, ИК, УФ)	—	×	—	×	С, О
Механическая опасность	—	×	×	×	С, О
Пирогенность	×	×	×	×	С, О
Чрезмерные температуры и пожароопасность	×	×	×	×	С, О
Повышенное или пониженное атмосферное давление	×	—	×	×	С
Электризуемость	×	—	×	×	С, О
Радиоактивность	×	×	×	×	С
Корродируемость	—	—	—	×	О

Примечание. В таблице приняты следующие условные обозначения: "—" — отсутствие источника опасности; × — наличие источника опасности; С — воздействие, опасное для субъектов; О — воздействие, опасное для объектов.

Для практических нужд опасные воздействия в стандарте подразделяются на следующие виды:

- физико-механические (физические): механическое, ударная волна, сейсмическое, акустическое;
- излучение: ионизирующее, электромагнитное, тепловое воздействие, световое воздействие;
- химические (четырёх классов опасности по ГОСТ 12.1.007—76);
- биологические.

Отмечается, что опасные воздействия оказывают негативное влияние на следующие компоненты окружающей среды:

- людей;
- животный мир;
- растительность (флору и фауну);
- почву;
- недра земли;
- поверхностные воды;
- подземные воды;
- морские воды;
- атмосферный воздух (все слои, включая озоновый);
- космическое пространство.

Согласно стандарту экологическая безопасность должна быть обеспечена на всех стадиях жизненного цикла объектов и этапах технологического цикла отходов (ГОСТ 30773—2001) в процессе:

- проведения исследований и обосновании разработки;
- разработки;
- производства;
- транспортирования;
- эксплуатации (включая применение и хранение);
- капитального ремонта (только для объектов, подлежащих капитальному ремонту);
- ликвидации (с утилизацией инертных частей и удалением опасных частей).

Кроме того дается классификация экологически опасных объектов по происхождению, по продолжительности (кратковременные, длительные), по характеру (однородные, комбинированные), по уровню опасности (допустимое, недопустимое), по масштабу действия (точечное, площадное, объемное).

Согласно положению стандарта показатели безопасности объектов для окружающей среды (основные показатели экологической безопасности) должны отражать степень защиты элементов окружающей среды (флоры, фауны, атмосферы, гидросферы, почв, недр и т. п.) от опасных воздействий объекта хозяйственной или иной деятельности.

Основными показателями экологической безопасности являются:

- допустимые по уровню и продолжительности физические, механические, электромагнитные, термические, радиационные, химические и биологические воздействия;



— показатели устойчивости (время опасного воздействия) загрязняющих ядовитых и опасных веществ, попадающих в окружающую среду на стадиях жизненного цикла объекта;

— специфические показатели для конкретных объектов и действий операторов.

В разделе "Иерархическая структура классификации техногенных объектов по опасности их воздействия на окружающую среду" устанавливается, что все техногенные объекты подразделяют по их негативному воздействию на окружающую среду на следующие иерархические группы:

— объекты, эксплуатация которых сопровождается непосредственным негативным экологическим воздействием на человека, животный мир и растительность;

— объекты, эксплуатация которых сопровождается непосредственным негативным экологическим воздействием на поверхность земли и ее недра;

— объекты, эксплуатация которых сопровождается непосредственным негативным экологическим воздействием на поверхностные, подземные и морские воды;

— объекты, эксплуатация которых сопровождается непосредственным негативным экологическим воздействием на атмосферный воздух (включая озоновый слой);

— объекты, эксплуатация которых сопровождается непосредственным негативным экологическим воздействием на космическое пространство;

— объекты, эксплуатация которых сопровождается непосредственным негативным экологическим воздействием на несколько компонентов окружающей среды.

По степени негативного воздействия на окружающую среду техногенные объекты подразделяются стандартом на следующие группы:

Группа 1. Объекты, оказывающие экстремально высокое, угрожающее аварией воздействие на окружающую среду;

Группа 2. Объекты, оказывающие значительное негативное воздействие на окружающую среду; к этой группе относят объекты, деятельность которых сопровождается показателями негативного воздействия, превышающими хотя бы по одному из показателей допустимые значения негативного воздействия, установленные для объектов группы 3, но меньше значений, установленных для группы 1;

Группа 3. Объекты, оказывающие минимальное негативное воздействие на окружающую среду.

Одновременно устанавливаются критерии отнесения объектов к каждой из перечисленных групп (объем сброса сточных вод, объем образующихся отходов, вредных выбросов в атмосферу и т. д.).

В справочном Приложении А дана классификация факторов и видов негативных воздействий, влияющих на возникновение и развитие чрезвычайных ситуаций в окружающей среде.

В справочном Приложении Б приведены критерии экстремально высокого загрязнения окружающей среды.

В обязательном приложении В даны критерии отнесения биосферозагрязнителей к объектам, оказывающим экстремально высокое воздействие на окружающую среду.

Представляется, что введение ГОСТ Р 14.03—2005 будет содействовать разработке систем экологического менеджмента на предприятиях и в организациях, а в конечном счете, повышению эффективности работ по снижению негативных воздействий на окружающую среду.

А. Ф. Козьяков,
канд. техн. наук, проф.,
МГТУ им. Н. Э. Баумана

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) 550-0766, e-mail: rusak-maneb@mail.ru

Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. М. Патрушева*. Корректор *Е. В. Комиссарова*

Сдано в набор 08.07.10. Подписано в печать 24.08.10. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч-изд. л. 8,31. Заказ 644.

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.