

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра «Техносферная и информационная безопасность»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.12 Системы защиты среды обитания**

Направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»

Профиль подготовки: «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Квалификация (степень) выпускника Бакалавр  
(бакалавр, магистр, специалист)

Нормативный срок обучения 4 года

Форма обучения очная

## **Содержание**

<b>1. Конспект лекций.....</b>	<b>5</b>
1.1 Лекция 1. Предмет и содержание курса, его цели, задачи и связь с другими дисциплинами.....	5
1.2 Лекция 2. Системы защиты среды обитания от энергетических загрязнений.....	14
1.3 Лекция 3. Защита от вибрационного загрязнения.....	16
1.4 Лекция 4. Защита от радиационного и электромагнитного загрязнения.....	23
1.5 Лекция 5. Тепловое загрязнение и методы его снижения.....	28
1.6 Лекция 6. Классификация методов и аппаратов защиты атмосферы и их основные характеристики.....	32
1.7 Лекция 7. Методы и средства очистки выбросов от пыли аэрозолей.....	44
1.8 Лекция 8. Вспомогательное оборудование систем пылегазоочистки.....	49
1.9 Лекция 9. Рассеивание вредных веществ в атмосфере. Методы, системы и установки подавления выбросов основных отраслей экономики и технологических процессов.....	55
1.10 Лекция 10. Классификация методов и аппаратов защиты гидросферы, их основные характеристики.....	61
1.11 Лекция 11. Механические методы и средства очистки сточных вод от нерастворимых загрязнений.....	74
1.12 Лекция 12. Физико – химические методы и средства очистки сточных вод от нерастворимых загрязнений. Физико – химические методы и средства очистки сточных вод от растворимых загрязнений.....	77
1.13 Лекция 13. Биологическая очистка сточных вод.....	79
1.14 Лекция 14. Обработка осадков сточных вод.....	83
1.15 Лекция 15. Выпуск и разбавление сточных вод.....	102
1.16 Лекция 16. Особенности применения методов очистки воды в системах водоподготовки природных вод для технического и хозяйствственно – бытового назначения..	104
1.17 Лекция 17. Методы, системы и установки очистки промышленных стоков основных отраслей экономики и технологических процессов.....	108
1.18 Лекция 18. Малоотходные технологии.....	115
1.19 Лекция 19. Количественные и качественные характеристики отходов.....	128

1.20 Лекция 20. Практика обращения с отходами.....	166
1.21 Лекция 21. Полигон по обезвреживанию и захоронению отходов.....	168
1.22 Лекция 22. Обезвреживание отходов.....	180

## **2. Методические указания по выполнению лабораторных работ.**

2.1 Лабораторная работа №1 Звукопоглощение, способы и средства защиты от шума....	195
2.2 Лабораторная работа №2 Методы защиты от вибрации и конструкции устройств....	209
2.3 Лабораторная работа №3 Способы защиты от радиоактивного заражения. Методы расчета толщины защитных экранов. ....	218
2.4 Лабораторная работа №4 Виды теплового расчета теплообменников. ....	225
2.5 Лабораторная работа №5 Пылеосадительные камеры и аппараты мокрой отчистки газов.	
.....	239
2.6 Лабораторная работа №6 Отбор проб и анализ газов из атмосферы, и отбор и анализ аэрозольных проб. ....	243
2.7 Лабораторная работа №7 Фильтры и типы конструкции электрофильтров. ....	253
2.8 Лабораторная работа №8 Методы, системы и установки подавления выбросов.....	270
2.9 Лабораторная работа №9 Устройства очистки от нерастворимых и растворимых загрязнений, классификация методов и аппаратов очистки воды. ....	275
2.10 Лабораторная работа №10 Механические методы и средства очистки сточных вод.....	285
2.11 Лабораторная работа №11 Физико – химические методы и средства очистки сточных вод. ....	297
2.12 Лабораторная работа №12 Очистка сточных вод в естественных и искусственных условиях.....	285
2.13 Лабораторная работа №13 Механическая, химическая, биологическая, анаэробная биохимическая очистка стоков.....	297
2.14 Лабораторная работа №14 Расчет выпусков и разбавление сточных вод. ....	302
2.15 Лабораторная работа №15 Особенности применения методов очистки воды в системах водоподготовки. ....	307
2.16 Лабораторная работа №16 Механические методы очистки, гидромеханические методы очистки, замкнутые водооборотные циклы сточных вод. ....	315

2.17 Лабораторная работа №17 Принцип комплексности использования сырьевых ресурсов .....	330
2.18 Лабораторная работа №18 Комплексное управление, сбор и временное хранение отходов. ....	335
2.19 Лабораторная работа №19 Морфологический и физико-химический состав ТБО для разных климатических зон. ....	339
2.20 Лабораторная работа №20 Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов. ....	341
2.21 Лабораторная работа №21 Переработка и утилизация промышленных отходов по полной заводской технологии.....	359
<b>3. Методические указания по проведению практических занятий( не предусмотрены рабочей программой).....</b>	<b>369</b>
<b>4. Методические указания по проведению семинарских занятий( не предусмотрены рабочей программой).....</b>	<b>369</b>

## **1. Конспект лекций**

### **1.1 Лекция № 1**

**Тема:** Предмет и содержание курса, его цели, задачи и связь с другими дисциплинами

#### **1.2 Вопросы лекции:**

1. Определение понятий.
2. Ознакомление с принципами, методами и устройствами, применяемыми при защите среды обитания от техногенного и антропогенного воздействия.
3. Окружающая человека среда, обусловленная совокупностью факторов.
4. Защита среды обитания.
5. Антропогенные загрязнения окружающей среды.

#### **2. Краткое содержание вопросов:**

**Основные определения:** Биосфера - это область распространения жизни на Земле, включающая населенную организмами верхнюю часть земной коры, воды рек, озер, водохранилищ, морей, океанов и нижнюю часть атмосферы (тропосферу). Биосфера представляет собой равновесную систему, в которой процессы обмена веществ и энергии происходят главным образом за счет жизнедеятельности организмов.

Существование человечества в обстановке экологического кризиса при экспоненциальном росте народонаселения планеты и росте городов характеризуется целым рядом грозных симптомов.

Атмосфера загрязняется промышленными выбросами, содержащими оксиды серы, азота, углерода, углеводороды, частицы пыли. В водоемы и реки попадают нефть и отходы нефтепродуктов, вещества органического и минерального происхождения; в почвенный покров - шлаки, зола, промышленные отходы, кислоты, соединения тяжелых металлов. Множество разработанных технологических процессов привело к росту числа токсичных веществ, поступающих в окружающую среду.

Атмосфера всегда содержит определенное количество примесей, поступающих от естественных и антропогенных источников. К числу примесей, выделяемых естественными источниками, относят: пыль (растительного, вулканического, космического происхождения, возникающая при эрозии почвы, частицы морской соли); туман, дымы и газы от лесных и степных пожаров; газы вулканического происхождения; различные продукты растительного, животного и микробиологического происхождения.

Естественные источники загрязнений бывают либо распределенными, например выпадение космической пыли, либо кратковременными стихийными, например лесные и степные пожары, извержения вулканов. Уровень загрязнения атмосферы естественными источниками является фоновым и мало изменяется с течением времени.

Более устойчивые зоны с повышенными концентрациями загрязнений возникают в местах активной жизнедеятельности человека, в основном в крупных городах. Выбросы промышленных предприятий, энергетических систем и транспорта в атмосферу, водоемы и недра достигли таких размеров, что в ряде районов планеты уровни загрязнений значительно превышают допустимые санитарные нормы. Это приводит, особенно среди

городского населения, к увеличению количества хронических заболеваний людей, в том числе хроническим бронхитом, астмой, аллергией, ишемической болезнью, различными онкологическими заболеваниями.

Самыми распространенными токсичными веществами, загрязняющими атмосферу, являются: оксид углерода CO, диоксид серы S0<sub>2</sub>, оксиды азота NO, углеводороды C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> и пыль. Кроме того, вентиляционные выбросы заводов электронной промышленности содержат пары плавиковой, серной, хромовой и других минеральных кислот, органические растворители. В настоящее время насчитывается более 500 вредных веществ, загрязняющих атмосферу, их количество все увеличивается.

Неблагоприятное влияние на жизнедеятельность человека оказывают также шум многих звуковых диапазонов, вибрации, а также воздействия электромагнитных полей и различных излучений (ультрафиолетовых, инфракрасных, световых, ионизирующих).

Общая характеристика методов (рис.1) и средств защиты среды обитания: защита расстоянием (санитарно-защитные зоны), временем пребывания в зоне негативного воздействия рассеиванием примесей, применением средств защиты.

Общая классификация систем защиты и основные принципы их выбора и применения: обеспечение допустимого негативного воздействия на среду обитания, комплексность в решении проблемы защиты среды обитания и человека, эксплуатационные характеристики системы, ее стоимость. Основные показатели, необходимые для проектирования и выбора системы защиты и разработки технического задания на ее разработку.

# КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОХРАНЫ ПРИРОДЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

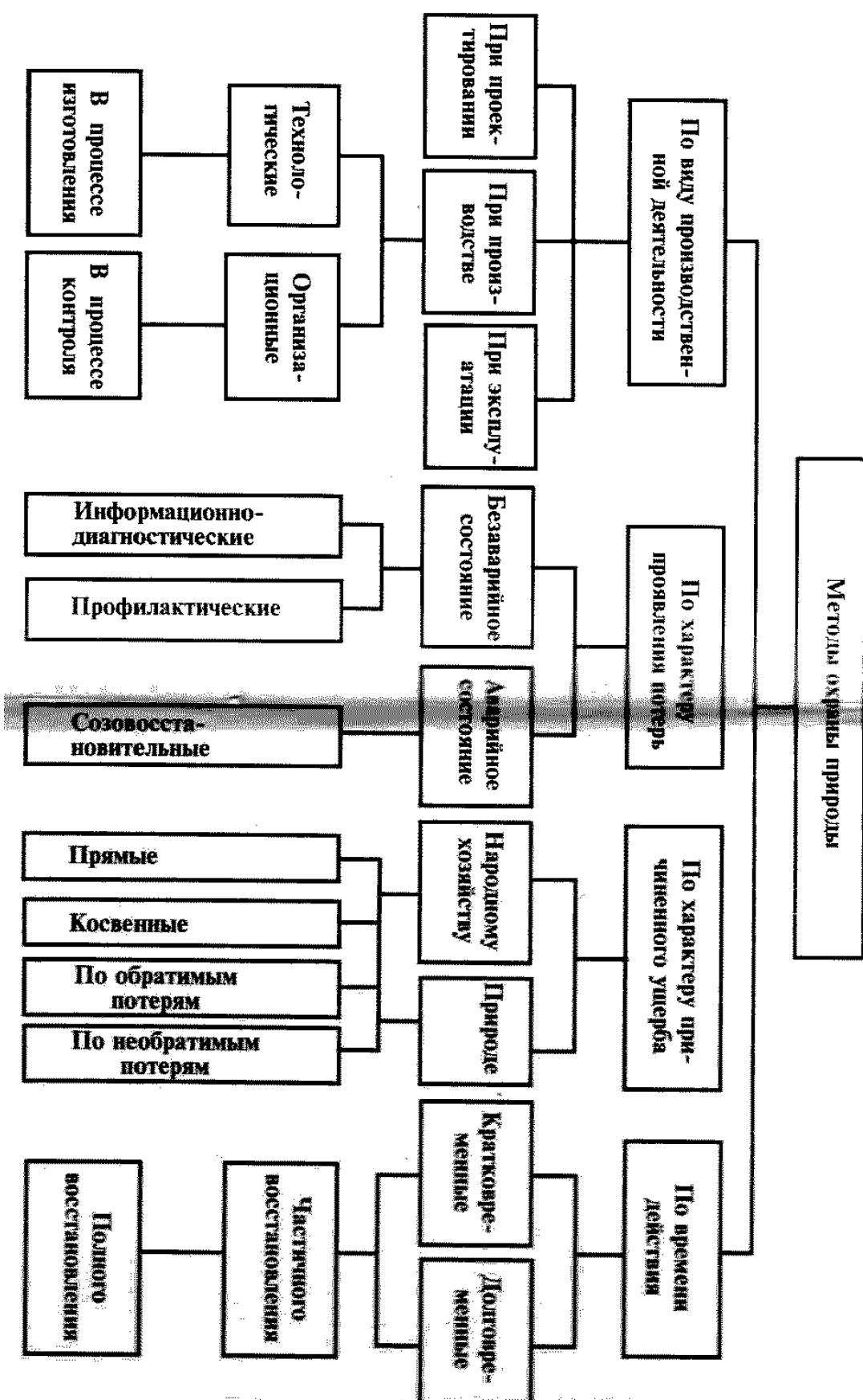


Рис.1. Классификация методов защиты окружающей природной среды.

## Защита от вибрационного загрязнения

Низкочастотная общая вибрация вызывает длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, изменение подвижности гладкой мускулатуры желудка и кишечника, возникновение и прогрессирующее изменение позвоночника. Систематическое изменение общих вибраций может быть причиной стойких нарушений физиологических изменений организма, обусловленных преимущественно воздействием вибраций на центральную нервную систему. Эти нарушения проявляются в виде головных болей, головокружений, плохого сна, пониженной работоспособности, плохого самочувствия, нарушений сердечной деятельности (рис. 4.28).



Рис. 4.28. Действие вибрации на человека

Нормирование вибрационных воздействий. Согласно действующему ГОСТ 12.1.012—90 «Вибрационная безопасность. Общие требования», нормирование вибраций ведется отдельно для общей и локальной вибраций. При этом используются среднеквадратичные значения виброускорения и виброскорости, а также их логарифмические уровни в дБ. Для общей вибрации эти величины устанавливают в октавных диапазонах частот со среднегеометрическими значениями 2, 4, 8, 32, 63 (для транспортных вибраций в октавной полосе со среднегеометрическим значением 1 Гц). Для локальных вибраций — в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц. Нормы установлены для продолжительности смены 8 часов.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.012—90 разработаны стандарты на допустимые уровни вибрации ручных машин, стандарты на технические требования к средствам измерения и контроля вибрации на рабочих местах и стандарты на средства испытания ручного инструмента.

Приборы контроля вибрации. Вибрацию измеряют в соответствии с требованиями СТ СЭВ-931—78 «Вибрация». Общие требования к проведению измерений, действующих санитарных норм и стандартов по ограничению вибраций отдельных видов технологического оборудования. В настоящее время для измерения вибрации используют отечественные приборы ВШВ-3М2 и ВИП-2, а также импортные фирмы Robotron — виброметр М-1300, снабженный октавными и третьоктавными фильтрами; фирмы Брюль и Кьер — шумомер 2231 модель 4322 в комплекте с подушкой для измерения общей вибрации.

Методы снижения вибрации на производстве. Все используемые методы и средства снижения вибрации на производстве можно разделить на методы уменьшения вибраций в источнике, методы организации условий труда, направленных на снижение вредного воздействия вибраций на работающих, средства индивидуальной защиты и лечебно-профилактические мероприятия.

Классификация технических методов и средств защиты от вибраций представлена на рис. 4.29.

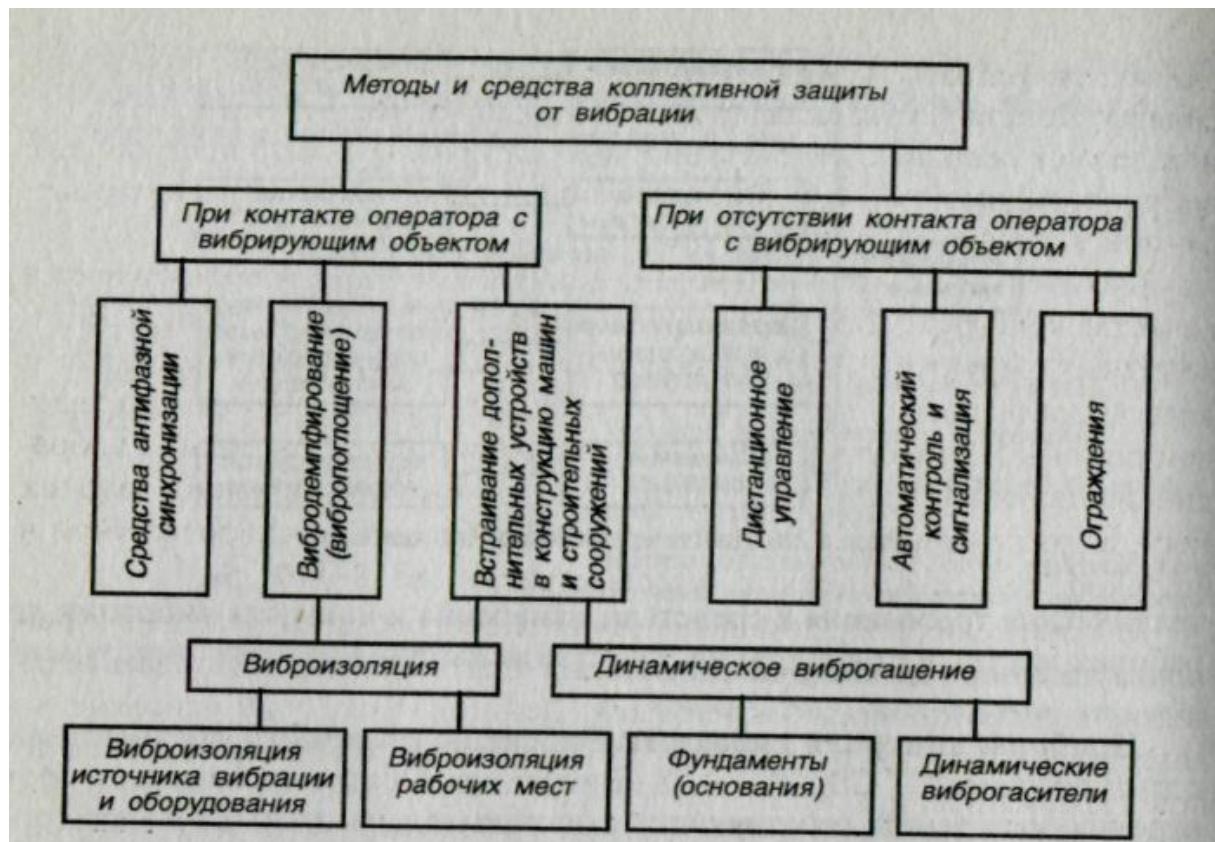


Рис. 4.29. Классификация технических методов и средств защиты от вибраций

Методы и средства коллективной защиты от вибраций разделяют на две группы. Первая группа—защита работающего от непосредственного контакта с вибрирующим объектом, что включает средства антифазной синхронизации, вибродемпфирование (вибропоглощение) и встраивание дополнительных устройств в конструкцию машин и строительных сооружений: виброзоляция и динамическое вибропоглощение. Вторая группа—защита работающего от вибрации при отсутствии контакта оператора с вибрирующим объектом.

Под средством антифазной синхронизации понимается исключение резонансных режимов работы, т. е. отстройки собственных частот агрегата и его отдельных узлов и деталей от частоты вынужденной силы. Резонансные режимы при работе технологического оборудования устраниют двумя путями: либо изменением характеристик системы (массы или жесткости), либо установлением нового рабочего режима (отстройка от резонансного значения угловой частоты вынужденной силы).

Вибродемпфирование (вибропоглощение) — это процесс уменьшения уровня вибрации защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний в другие виды энергии, например, в тепловую, электрическую, электромагнитную. Вибропоглощение (виброгашение) может быть реализовано в случаях, когда конструкция выполнена из материалов с большими внутренними потерями; на ее поверхность нанесены вибропоглощающие материалы; используется контактное трение двух материалов; элементы конструкций соединены сердечниками электромагнитов с замкнутой обмоткой и др.

Для вибродемпфирования используются различные материалы: сплавы металлов, композиционные материалы, полимерные металлы, мастики, смазочные материалы. Большим затуханием колебаний обладают (после закалки) сплавы марганца с содержанием 15—20 % меди и магниевые сплавы. Детали у этих сплавов имеют меньшую, чем чугуны и стали (из них делают основные конструкционные материалы в машиностроении), вибропроводимость. Затухание колебаний в металлах резко увеличивается при повышении температуры.

Значительное снижение вибраций происходит при использовании в качестве конструкционных материалов пластмасс, дерева, резины. В тихоходных редукторах применяют шестерни из капрона, текстолита и дельты древесины. В некоторых случаях используют шестерни из твердой резины. Применение этих материалов приводит к снижению вибраций оснований фундаментов машин, т. е. к снижению вибраций рабочих мест, а также позволяет снизить уровень вибрации по виброскорости в широкой полосе средних и высоких частот на 8—10 дБ.

Для снижения вибраций используются вибродемпфирующие покрытия из полимерных материалов, которые невозможно использовать в качестве конструкционных материалов. Действие покрытий основано на колебании вибраций путем перевода колебательной энергии в тепловую при деформациях покрытий. Эффективное действие покрытий происходит на резонансных частотах элементов конструкций агрегатов и машин. Особый

интерес представляют многослойные покрытия, состоящие из слоя вязкоупругого материала (твёрдой пластмассы, рубероида, изола, битумизированного войлока) и слоя фольги, увеличивающей жесткость покрытия. Широкое распространение получили фольгоизол, стеклоизол, гидроизол.

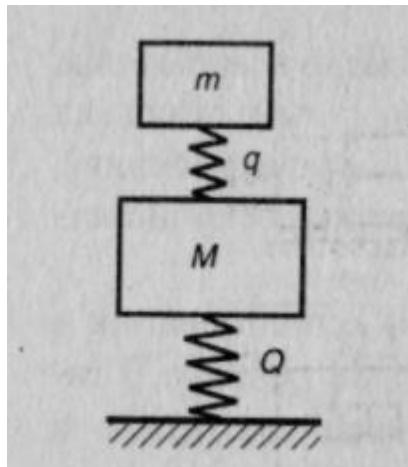
В качестве жестких возможно применение металлических покрытий (на основе меди, алюминия, свинца, олова), в качестве мягких виброрем-пфирующих покрытий используют легкие пластмассы и материалы типа резины — пенопласт, технический винипор, пенопласт и др.

Хорошо гасят колебания смазочные материалы, так как слой смазочного материала устраниет возможность контакта между двумя сочлененными элементами, а следовательно, и появление сил поверхностного трения — причины возбуждения вибраций.

Динамическое виброгашение является одним из способов увеличения реактивного сопротивления колебательных систем. Наибольшее распространение в промышленности получили динамические виброгасители, уменьшающие уровень вибраций защищаемого объекта за счет воздействия на него реакций виброгасителя. Динамические виброгасители представляют собой дополнительную колебательную систему с массой  $m$  и жесткостью  $q$ , собственная частота которой  $f_0$  настроена на основную частоту  $f$  колебаний данного агрегата, имеющего массу  $M$  и жесткость  $Q$

(рис. 4.30). В этом случае подбором массы и жесткости виброгасителя обеспечивается выполнение условия

$$f_0 = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{q}{m}} = f$$



Виброгаситель жестко крепится на вибрирующем агрегате, поэтому в нем в каждый момент времени возбуждаются колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями агрегата.

Недостатком динамического виброгасителя является то, что он действует только при определенной частоте, соответствующей его резонансному режиму колебания.

Для снижения вибраций используют такие ударные виброгасители, в которых осуществляется переход кинетической энергии относительно движения контактирующих элементов в энергию деформации с распространением колебаний из зоны контакта по взаимодействующим элементам. В результате энергия распределяется по объему соударяющихся элементов виброгасителя, вызывая их колебания и вместе с тем рассеяние энергии вследствие действия сил внешнего и внутреннего трения. Ударные виброгасители колебаний простейшей конструкции подразделяются на маятниковые, пружинные и плавающие.

Виброизоляция — это метод защиты, позволяющий уменьшить передачу колебаний от источника возбуждения запрещенному объекту при помощи устройств, помещенных между ними. Она осуществляется введением в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибрации от машины — источника колебаний — к основанию или смежным элементам конструкции; эта упругая связь может также использоваться для ослабления передачи вибраций от основания на человека либо на защищаемый агрегат.

Эффективность виброизоляции определяется коэффициентом передачи  $K$ , (коэффициентом амортизации  $K_A$ ), т. е. отношение амплитуды виброперемещения, виброскорости, виброускорения защищаемого объекта или действующей на него силы к амплитуде той же величины источника возбуждения при гармонической вибрации. Чем меньше это соотношение, тем выше виброизоляция.

Если  $f$  — частота вынуждающей силы,  $f_a$  — собственная частота установки (агрегата), то

$$K_p = \frac{1}{\frac{f^2}{f_a^2} - 1}.$$

Чем ниже собственная частота по сравнению с частотой вынуждающей силы, тем выше эффективность виброизоляции. При  $f < f_a$  вынуждающая сила действует как статическая и целиком передается основанию. При  $f = f_a$  наступает резонанс, сопровождающийся резким возрастанием уровня вибраций. При  $f > 2f_a$  режим резонанса не осуществляется, значение  $K_p$  равно единице, а при дальнейшем увеличении оно становится меньше единицы, так как система оказывает вынуждающей силе все большее инерциальное сопротивление. Вследствие этого передача вибраций через виброизоляцию уменьшается.

Обычно эффективность виброизоляции определяют в децибелах:

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right) = 20 \lg \frac{1}{K_n}.$$

Выражение для собственной частоты в герцах с учетом, что  $mg/q=x_{\text{ст}}$ , можно представить в виде

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{qg}{mg}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g \cdot x_{\text{ст}}},$$

где  $x_{\text{ст}}$  — статическая осадка системы на виброизоляторах под действием собственной массы. Чем больше статическая осадка, тем ниже собственная частота и тем эффективнее виброизоляция.

Из приведенных формул следует, что эффективность виброзащиты увеличивается с увеличением массы виброизолятора и частотой вибрации. Это на практике может привести как к удорожанию установки (агрегата), так и к его большой подвижности по отдельным степеням свободы. С целью выработки компромисса между экономическими и техническими требованиями к виброизоляции приняли оптимальным соотношение между частотой возбуждения и собственной частотой колебаний системы, равное

$$f/f_0 = 3 \div 4,$$

что

соответствует

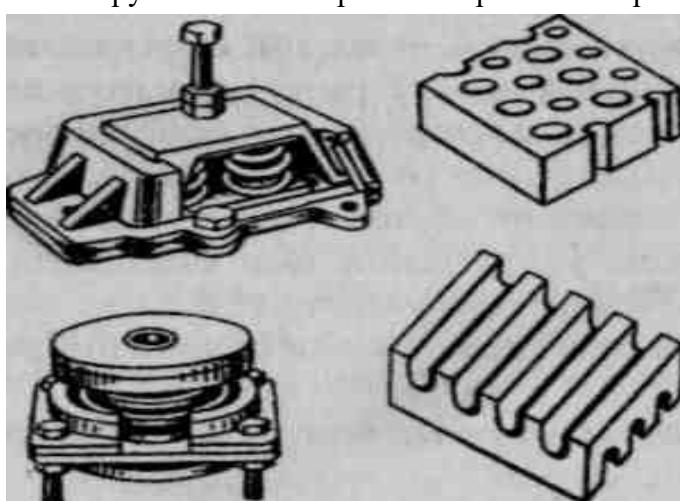
$$K_p = 1/8 + 1/5.$$

Для

виброизоляции стационарных машин

с вертикальной вынуждающей силой в промышленности чаще всего используются виброизолирующие опоры типа упругих прокладок или пружин (рис. 4.32) или их сочетания (комбинированные виброизоляторы).

Пружинные виброизоляторы по сравнению с прокладками имеют ряд преимуществ. Они могут применяться для изоляции колебаний как низких, так и высоких частот (обеспечивают любую деформацию), дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию массы и температуры, относительно малогабаритны, однако могут пропускать колебания высоких частот.



Для повышения виброзащитных свойств резиновых прокладок (избежание деформации в горизонтальной плоскости) их изготавливают в виде ребристых или дырчатых плит либо разбивают на ряд параллельно устанавливаемых виброизоляторов.

а —

б)

а) Рис 4.32. Виброизолирующие опоры:

Для уменьшения передачи вибраций на руки работающих с ручным механизированным инструментом, а также для снижения вибраций основания вания некоторых машин вибрационного действия используют пневматические виброизолаторы.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия вибрации работающие должны пользоваться средствами индивидуальной защиты перчатками, рукавицами, спецобувью согласно ГОСТ 12.4.010—' «Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования» и ГОСТ 12.4.024—76 «Обувь специальная виброзащитная»:

К лечебно-профилактическим мерам защиты от производственного вибрации относятся внедрение рационального режима труда и отдыха регламентированные перерывы, ограничение времени контакта с вибрационными машинами и др.; периодические медосмотры.

Для повышения защитных свойств организма, работоспособности трудовой активности работников следует использовать специальны1 комплексы производственной гимнастики, витаминопрофилактика спецпитание. Для профилактического лечения и отдыха работников, том числе и занятых в виброопасных профессиях, на предприятиях должны быть организованы профилактории, кабинеты психологической разгрузки.

Расчеты виброизоляции. Комбинированные виброизолаторы представляют собой сочетание металлических пружин с резиновыми прокладками. Применяются как при низко-, так и при высокочастотной вибрации в различных условиях работы. Приводится расчет комбинирована виброизолаторов. Расчет заключается в определении необходимого количества пружин и резиновых прокладок для комбинированных виброзолиторов.

## 1.2 Лекция № 2

Тема: Системы защиты среды обитания от энергетических загрязнений

1. Вопросы лекции:

1. Характеристики энергетических загрязнений.
2. Шумовые характеристики источников шума.
3. Звукопоглощение, способы и средства защиты от шума.

2. Краткое содержание вопросов:

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ.

Неблагоприятное влияние на жизнедеятельность человека оказывают:

- акустическое загрязнение (шум);
- вибрационное загрязнение (вибрация);
- электромагнитное загрязнение (электромагнитное поле);
- различные излучения:
  - ультрафиолетовые;
  - инфракрасные;
  - световые;
  - ионизирующие.

Среда обитания человека – окружающая среда характеризуется совокупностью: физических, химических, биологических факторов, способных при определенных условиях оказывает прямое или косвенное, немедленное или отдаленное воздействие на деятельность и здоровье человека.

При решении задач защиты выделяют источник, приемник энергии и защитное устройство, которое уменьшает до допустимых уровней поток энергии к приемнику.

В общем случае защитное устройство (ЗУ) обладает способностями: отражать, поглощать, быть прозрачным по отношению к потоку энергии. Пусть из общего потока энергии  $W^+$ , поступающего к ЗУ (рис. 1), часть  $W_\alpha$  поглощается, часть  $W^-$  отражается и часть  $W_\sim$  проходит сквозь ЗУ. Тогда ЗУ можно охарактеризовать следующими энергетическими коэффициентами: коэффициентом поглощения  $\alpha = W_\alpha/W^+$ , коэффициентом отражения  $\rho = W^-/W^+$ , коэффициентом передачи  $\tau = W_\sim/W^+$ . Очевидно, что выполняется равенство  $\rho + \alpha + \tau = 1$ . Сумма  $\alpha + \tau = 1 - \rho = v$  (где  $v = W_\sim/W^+$ ) характеризует неотраженный поток энергии  $W_v$ , прошедший в ЗУ. Если  $\alpha = 1$ , то ЗУ поглощает всю энергию, поступающую от источника, при  $\rho = 1$  ЗУ обладает 100%-й отражающей способностью, а равенство  $\tau = 1$  означает абсолютную прозрачность ЗУ: энергия проходит через устройство без потерь.

В соответствии с этим можно выделить следующие принципы защиты:

- 1) принцип, при котором  $\rho \rightarrow 1$ ; защита осуществляется за счет отражательной способности ЗУ;
- 2) принцип, при котором  $\alpha \rightarrow 1$ ; защита осуществляется за счет поглощающей способности ЗУ;
- 3) принцип, при котором  $\tau \rightarrow 1$ ; защита осуществляется с учетом свойств прозрачности ЗУ.

На практике принципы обычно комбинируют, получая различные методы защиты:

- метод изоляции;

- метод поглощения;
- коэффициент потерь.

### 1.3 Лекция № 3

Тема: Защита от вибрационного загрязнения

1. Вопросы лекции:

1. Методы защиты от вибрации и конструкции устройств.
2. Отстройка от резонансных частот, методы расчета и конструкции средств защиты.
3. Защита от вибрации

2. Краткое содержание вопросов:

Низкочастотная общая вибрация вызывает длительную травматизацию межпозвоночных дисков и костной ткани, изменение подвижности гладкой мускулатуры желудка и кишечника, возникновение и прогрессирующее изменение позвоночника. Систематическое изменение общих вибраций может быть причиной стойких нарушений физиологических изменений организма, обусловленных преимущественно воздействием вибраций на центральную нервную систему. Эти нарушения проявляются в виде головных болей, головокружений, плохого сна, пониженной работоспособности, плохого самочувствия, нарушений сердечной деятельности (рис. 4.28).



Рис. 4.28. Действие вибрации на человека

Нормирование вибрационных воздействий. Согласно действующему ГОСТ 12.1.012—90 «Вибрационная безопасность. Общие требования», нормирование вибраций ведется отдельно для общей и локальной вибраций. При этом используются среднеквадратичные значения виброускорения и виброскорости, а также их логарифмические уровни в дБ. Для общей вибрации эти величины устанавливают в октавных диапазонах частот со среднегеометрическими значениями 2, 4, 8, 32, 63 (для транспортных вибраций в октавной полосе со среднегеометрическим значением 1 Гц). Для локальных вибраций — в октавных полосах частот со среднегеометрическими значениями 16, 32, 63, 125, 250, 500, 1000 Гц. Нормы установлены для продолжительности смены 8 часов.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.012—90 разработаны стандарты на допустимые уровни вибрации ручных машин, стандарты на технические требования к средствам измерения и контроля вибрации на рабочих местах и стандарты на средства испытания ручного инструмента.

Приборы контроля вибрации. Вибрацию измеряют в соответствии с требованиями СТ СЭВ-931—78 «Вибрация». Общие требования к проведению измерений, действующих санитарных норм и стандартов по ограничению вибраций отдельных видов технологического оборудования. В настоящее время для измерения вибрации используют отечественные приборы ВШВ-3М2 и ВИП-2, а также импортные фирмы Robotron — виброметр М-1300, снабженный октавными и третьоктавными фильтрами; фирмы Брюль и Кьер — шумомер 2231 модель 4322 в комплекте с подушкой для измерения общей вибрации.

Методы снижения вибрации на производстве. Все используемые методы и средства снижения вибрации на производстве можно разделить на методы уменьшения вибраций в источнике, методы организации условий труда, направленных на снижение вредного воздействия вибраций на работающих, средства индивидуальной защиты и лечебно-профилактические мероприятия.

Классификация технических методов и средств защиты от вибраций представлена на рис. 4.29.

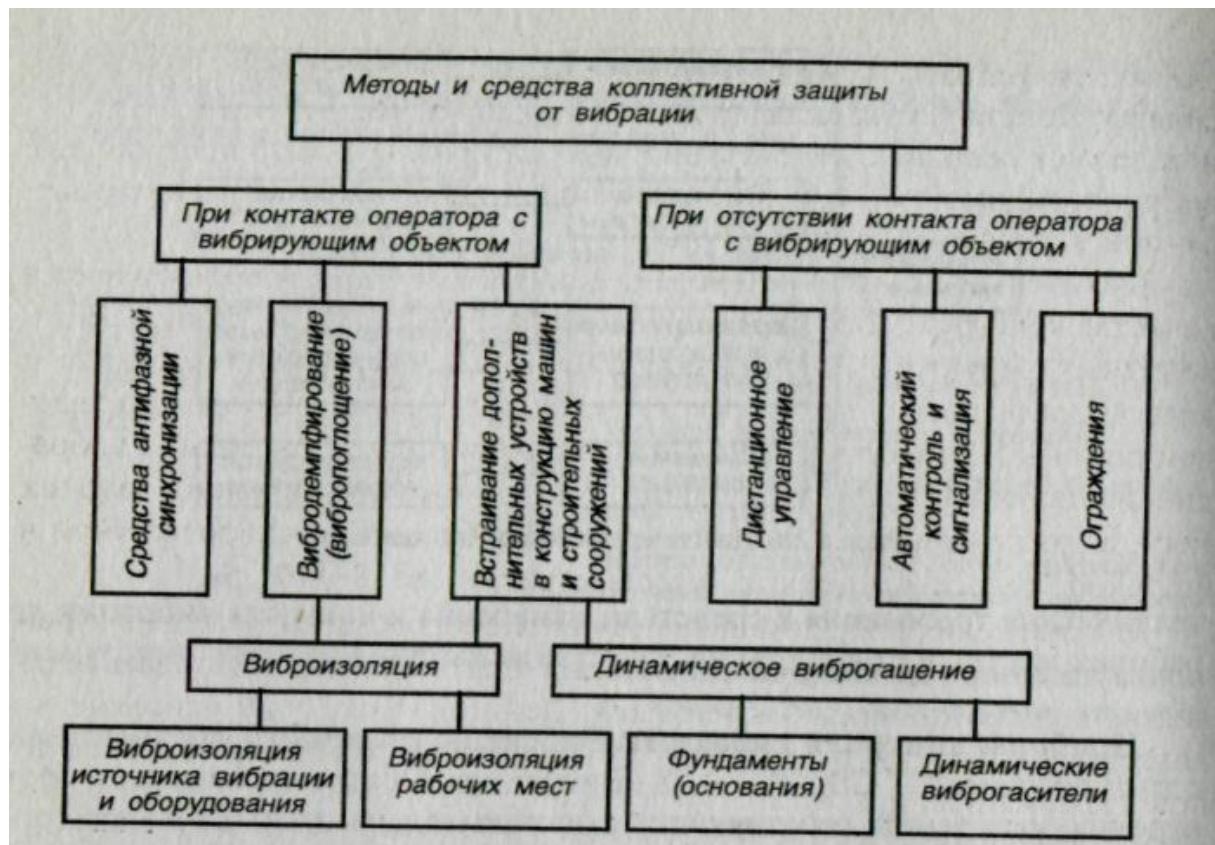


Рис. 4.29. Классификация технических методов и средств защиты от вибраций

Методы и средства коллективной защиты от вибраций разделяют на две группы. Первая группа—защита работающего от непосредственного контакта с вибрирующим объектом, что включает средства антифазной синхронизации, вибродемпфирование (вибропоглощение) и встраивание дополнительных устройств в конструкцию машин и строительных сооружений: виброзоляция и динамическое вибропоглощение. Вторая группа—защита работающего от вибрации при отсутствии контакта оператора с вибрирующим объектом.

Под средством антифазной синхронизации понимается исключение резонансных режимов работы, т. е. отстройки собственных частот агрегата и его отдельных узлов и деталей от частоты вынужденной силы. Резонансные режимы при работе технологического оборудования устраниют двумя путями: либо изменением характеристик системы (массы или жесткости), либо установлением нового рабочего режима (отстройка от резонансного значения угловой частоты вынужденной силы).

Вибродемпфирование (вибропоглощение) — это процесс уменьшения уровня вибрации защищаемого объекта путем превращения энергии механических колебаний в другие виды энергии, например, в тепловую, электрическую, электромагнитную. Вибропоглощение (виброгашение) может быть реализовано в случаях, когда конструкция выполнена из материалов с большими внутренними потерями; на ее поверхность нанесены вибропоглощающие материалы; используется контактное трение двух материалов;

элементы конструкций соединены сердечниками электромагнитов с замкнутой обмоткой и др.

Для вибродемпфирования используются различные материалы: сплавы металлов, композиционные материалы, полимерные металлы, мастики, смазочные материалы. Большим затуханием колебаний обладают (после закалки) сплавы марганца с содержанием 15—20 % меди и магниевые сплавы. Детали у этих сплавов имеют меньшую, чем чугуны и стали (из них делают основные конструкционные материалы в машиностроении), вибропроводимость. Затухание колебаний в металлах резко увеличивается при повышении температуры.

Значительное снижение вибраций происходит при использовании в качестве конструкционных материалов пластмасс, дерева, резины. В тихоходных редукторах применяют шестерни из капрона, текстолита и дельты древесины. В некоторых случаях используют шестерни из твердой резины. Применение этих материалов приводит к снижению вибраций оснований фундаментов машин, т. е. к снижению вибраций рабочих мест, а также позволяет снизить уровень вибрации по виброскорости в широкой полосе средних и высоких частот на 8—10 дБ.

Для снижения вибраций используются вибродемпфирующие покрытия из полимерных материалов, которые невозможно использовать в качестве конструкционных материалов. Действие покрытий основано на колебании вибраций путем перевода колебательной энергии в тепловую при деформациях покрытий. Эффективное действие покрытий происходит на резонансных частотах элементов конструкций агрегатов и машин. Особый интерес представляют многослойные покрытия, состоящие из слоя вязкоупругого материала (твердой пластмассы, рубероида, изола, битумизированного войлока) и слоя фольги, увеличивающей жесткость покрытия. Широкое распространение получили фольгоизол, стеклоизол, гидроизол.

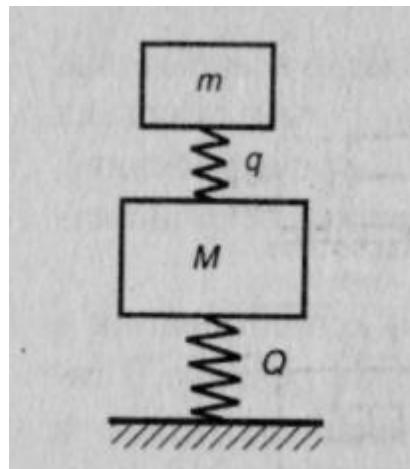
В качестве жестких возможно применение металлических покрытий (на основе меди, алюминия, свинца, олова), в качестве мягких вибродемпфирующих покрытий используют легкие пластмассы и материалы типа резины — пенопласт, технический винипор, пенопласт и др.

Хорошо гасят колебания смазочные материалы, так как слой смазочного материала устраняет возможность контакта между двумя сочлененными элементами, а следовательно, и появление сил поверхностного трения — причины возбуждения вибраций.

Динамическое виброгашение является одним из способов увеличения реактивного сопротивления колебательных систем. Наибольшее распространение в промышленности получили динамические виброгасители, уменьшающие уровень вибраций защищаемого объекта за счет воздействия на него реакций виброгасителя. Динамические виброгасители представляют собой дополнительную колебательную систему с массой  $m$  и жесткостью  $q$ , собственная частота которой  $f_0$  настроена на основную частоту  $f$  колебаний данного агрегата, имеющего массу  $M$  и жесткость  $Q$ .

(рис. 4.30). В этом случае подбором массы и жесткости виброгасителя обеспечивается выполнение условия

$$f_0 = \frac{1}{2} \pi \sqrt{\frac{q}{m}} = f$$



Виброгаситель жестко крепится на вибрирующем агрегате, поэтому в нем в каждый момент времени возбуждаются колебания, находящиеся в противофазе с колебаниями агрегата.

Недостатком динамического виброгасителя является то, что он действует только при определенной частоте, соответствующей его резонансному режиму колебания.

Для снижения вибраций используют такие ударные виброгасители, в которых осуществляется переход кинетической энергии относительно движения контактирующих элементов в энергию деформации с распространением колебаний из зоны контакта по взаимодействующим элементам. В результате энергия распределяется по объему соударяющихся элементов виброгасителя, вызывая их колебания и вместе с тем рассеяние энергии вследствие действия сил внешнего и внутреннего трения. Ударные виброгасители колебаний простейшей конструкции подразделяются на маятниковые, пружинные и плавающие.

Виброизоляция — это метод защиты, позволяющий уменьшить передачу колебаний от источника возбуждения запрещенному объекту при помощи устройств, помещенных между ними. Она осуществляется введением в колебательную систему дополнительной упругой связи, препятствующей передаче вибрации от машины — источника колебаний — к основанию или смежным элементам конструкции; эта упругая связь может также использоваться для ослабления передачи вибраций от основания на человека либо на защищаемый агрегат.

Эффективность вибропоглощения определяется коэффициентом передачи  $K_p$ , (коэффициентом амортизации  $K_A$ ), т. е. отношение амплитуды виброперемещения, виброскорости, вибровескания защищаемого объекта или действующей на него силы к амплитуде той же величины источника возбуждения при гармонической вибрации. Чем меньше это соотношение, тем выше вибропоглощение.

Если  $f$  — частота вынуждающей силы,  $f_a$  — собственная частота установки (агрегата), то

$$K_p = \frac{1}{\frac{f^2}{f_a^2} - 1}.$$

Чем ниже собственная частота по сравнению с частотой вынуждающей силы, тем выше эффективность вибропоглощения. При  $f < f_a$  вынуждающая сила действует как статическая и целиком передается основанию. При  $f = f_a$  наступает резонанс, сопровождающийся резким возрастанием уровня вибраций. При  $f > f_a$  режим резонанса не осуществляется, значение  $K_p$  равно единице, а при дальнейшем увеличении оно становится меньше единицы, так как система оказывает вынуждающей силе все большее инерциальное сопротивление. Вследствие этого передача вибраций через вибропоглощение уменьшается.

Обычно эффективность вибропоглощения определяют в децибелах:

$$\Delta L = 20 \lg \left( \frac{f^2}{f_a^2} - 1 \right) = 20 \lg \frac{1}{K_p}.$$

Выражение для собственной частоты в герцах с учетом, что  $mg/q = x_{st}$ , можно представить в виде

$$f_a = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{qg}{mg}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{g \cdot x_{st}},$$

где  $x_{st}$  — статическая осадка системы на вибропоглощаторах под действием собственной массы. Чем больше статическая осадка, тем ниже собственная частота и тем эффективнее вибропоглощение.

Из приведенных формул следует, что эффективность виброзащиты увеличивается с увеличением массы вибропоглощатора и частотой вибрации. Это на практике может привести как к удорожанию установки (агрегата), так и к его большой подвижности по отдельным степеням свободы. С целью выработки компромисса между экономическими и техническими требованиями к вибропоглощению приняли оптимальным соотношение между частотой возбуждения и собственной частотой колебаний системы, равное

$$f/f_a = 3 \div 4,$$

что

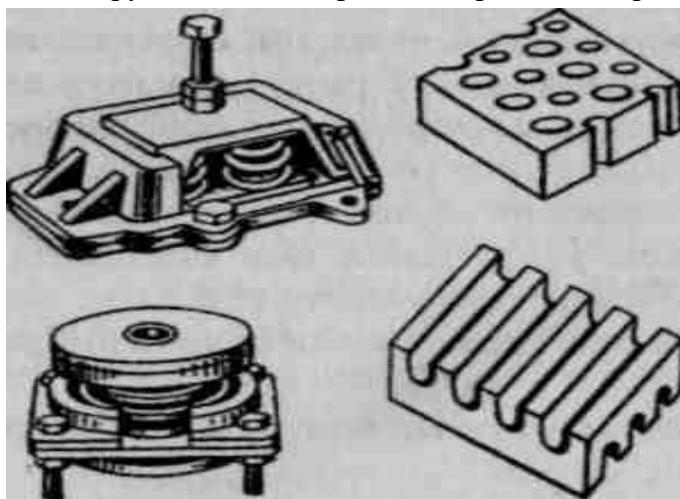
соответствует

$$K_p = 1/8 + 1/5.$$



Для виброизоляции стационарных машин с вертикальной вынуждающей силой в промышленности чаще всего используются виброизолирующие опоры типа упругих прокладок или пружин (рис. 4.32) или их сочетания (комбинированные виброизоляторы).

Пружинные виброизоляторы по сравнению с прокладками имеют ряд



преимуществ. Они могут применяться для изоляции колебаний как низких, так и высоких частот (обеспечивают любую деформацию), дольше сохраняют постоянство упругих свойств во времени, хорошо противостоят действию массы и температуры, относительно малогабаритны, однако могут пропускать колебания высоких частот.

Для повышения виброзащитных свойств резиновых прокладок (избежание деформации в горизонтальной плоскости) их изготавливают в виде ребристых или дырчатых плит либо разбивают на ряд параллельно устанавливаемых виброизоляторов.

а — б)

а) Рис 4.32. Виброизолирующие опоры:

Для уменьшения передачи вибраций на руки работающих с ручным механизированным инструментом, а также для снижения вибраций основания вания некоторых машин вибрационного действия используют пневматические виброизоляторы.

В целях профилактики неблагоприятного воздействия вибрации работающие должны пользоваться средствами индивидуальной защиты перчатками, рукавицами, спецобувью согласно ГОСТ 12.4.010—' «Средства индивидуальной защиты рук от вибрации. Общие технические требования» и ГОСТ 12.4.024—76 «Обувь специальная виброзащитная»:

К лечебно-профилактическим мерам защиты от производственного вибрации относятся внедрение рационального режима труда и отдыха регламентированные перерывы, ограничение времени контакта с вибрационными машинами и др.; периодические медосмотры.

Для повышения защитных свойств организма, работоспособности трудовой активности работников следует использовать специальн1 комплексы производственной гимнастики, витаминопрофилактика спецпитание. Для профилактического лечения и отдыха работников, том числе и занятых в виброопасных профессиях, на предприятиях дол: ны быть организованы профилактории, кабинеты психологической ра грузки.

Расчеты виброзоляции. Комбинированные виброзоляторы пре ставляют собой сочетание металлических пружин с резиновыми прокладками. Применяются как при низко-, так и при высокочастотной вибрац в различных условиях работы. Приводится расчет комбинирована виброзоляторов. Расчет заключается в определении необходимого количества пружин и резиновых прокладок для комбинированных виброзоляторов.

## 1.4 Лекция № 4

Тема: Защита от радиационного и электромагнитного загрязнения

### 1. Вопросы лекции:

1. Радиоактивное заражение.
2. Особенности поражающего действия радиации
3. Способы защиты от радиоактивного заражения.
4. Свойства ионизирующих излучателей.
5. Обеспечение безопасности при работе с закрытыми источниками излучения.
6. Инженерные методы расчета толщины защитных экранов.
7. Расчет толщины защитных экранов по кратности ослабления с помощью универсальных таблиц Н.Г. Гусева.
8. Расчет толщины защитных экранов по слоям половинного ослабления.

### 2. Краткое содержание вопросов:

1) Самопроизвольное (спонтанное) превращение неустойчивых атомных ядер в ядра другого типа, сопровождающееся испусканием частиц или гамма-квантов, называется радиоактивностью (впервые радиоактивность была обнаружена А. Беккерелем в 1896)

Мерой радиоактивности радионуклида в данном энергетическом состоянии в данный момент времени является активность:

$$A = \frac{dN}{dt}$$

Где  $dN$  – ожидаемое число спонтанных ядерных превращений из одного энергетического состояния, происходящих за промежуток времени  $dt$ .

Единица активности беккерель (Бк)

1 Бк = 1 распаду в секунду.

Кюри (Ки) =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

Время в течение которого распадается половина исходных атомов – называется периодом полураспада  $T_{1/2}$ .

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Где  $\lambda$  – постоянная распада.

Зависимость активности от времени:

$$A(t) = \lambda N(t) = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Где  $A_0$  – активность в начальный момент времени;

$$A_0 = N_0 \lambda$$

$N_0$  – число радиоактивных атомов в начальный период времени.

1 эВ – (электроновольт) – единица энергии равная кинетической энергии электрона, приобретаемой им при прохождении разности потенциалов равной 1 В.

Единицей поглощенной дозы является грей (Гр) соответствует поглощению 1 Дж энергии ионизирующего излучения в массе вещества 1 кг

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ дж/кг}$$

$$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$$

Единица эквивалентной дозы МС (Си) установлен зиверт (Зв).

Един зиверт равен эквивалентной дозе, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани на взвешенный коэффициент равно 1 Дж/кг.

Бэр (биологический эквивалент рада). 1 бэр = 0,01 Зв.

Рентген (Р) – это единица экспозиционной дозы рентгеновского или гамма-излучения, которая определяет его ионизирующую способность в воздухе

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг.}$$

2)

Обеспечение безопасности при работе с закрытыми источниками излучения.

Когда конструкция источника исключает попадание РВ в окружающую среду.

При работе с закрытыми источниками излучения необходимо соблюдать следующие требования:

1. Запрещается использовать закрытые источники в случае нарушения их герметичности, а также по истечению их срока эксплуатации;

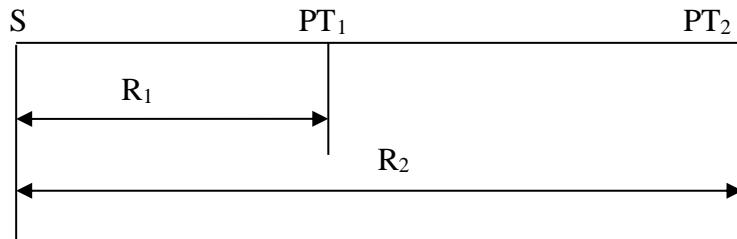
2. Запрещается дотрагиваться к радионуклидным источникам руками;
3. В нерабочем состоянии все радионуклидные источники должны находиться в защитных устройствах, а установки генерирующие излучение должны быть обеспечены;
4. При извлечении источников следует пользоваться дистанционным инструментом или специальными приспособлениями.

Системы защиты для различного типа радионуклидных установок строятся по принципу местной и стационарной защиты.

Местная защита – это защитный кожух, в котором помещается радионуклидный источник, снабженный окном для выпуска пучка лучей только в нужном направлении.

Стационарные защитные ограждения состоят из помещения где расположена установка или лабиринтного входа и смотрового окна.

Доза от точечного изотропного источника изменяется обратно пропорционально квадрату расстояния.



$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{R_1^2}{R_2^2} \Rightarrow D_2 = D_1 \frac{R_1^2}{R_2^2}$$

Если между источником излучения и расчетной точкой установить защиту с коэффициентом ослабления  $K_{oc}$ , то уравнение радиационной безопасности для работников категории А при работе  $t$  часов в неделю с радионуклидным источником активностью  $Q$ , Бк на расстоянии от него  $R, \text{м}$  имеет вид:

$$\frac{1,09 * 3600 * K_{oc} * Q * \Gamma_6 * t * k}{10^{18} R^2} = 4 * 10^{-4}$$

$$\frac{Q \Gamma_6 t k}{R^2} = \frac{10^{11}}{K_{oc}}$$

Где  $\Gamma_6$  – полная керма постоянная, аГр\*м<sup>2</sup>/сБк;

$K$  – коэффициент качества, Зв/Гр;

1,09 – коэффициент перевода поглощенной дозы в воздухе в поглощенную дозу в ткани;

$10^{18}$  – коэффициент перевода, аГр/Гр;

$4 * 10^{-4}$  – предельно допустимая доза за неделю Зв.

Керма – физическая величина, равная сумме начальных кинетических энергий всех загрязненных частиц, образуемых нейтронами, рентгеновскими и -квантами в единицу массы облучаемого вещества в результате взаимодействия с веществом.

### 3) Инженерные методы расчета толщины защитных экранов.

Методы:

1. По кратности ослабления с помощью универсальных таблиц.
2. По слоям половинного ослабления.
3. По методу конкурирующих линий.

3.1 Расчет толщины защитных экранов по кратности ослабления с помощью универсальных таблиц Н.Г. Гусева.

Кратность ослабления есть функции энергии -квантов и конкретного поглотителя

Кратность ослабления есть функция только толщины.

Фрагмент универсальной таблицы

Кратность ослабления K	Толщина защитного экрана из свинца, см ( $\rho=11,34 \text{ г/см}^3$ ) при энергии -излучения, МэВ					
	0,142	0,279	0,412	0,661	1,25	2,75
1,25						
-						
-						
50	0,6	1,28	2,0	3,7	7,2	10,04
-						
100						

Например: толщина Pb пластины толщиной 7,2 см обеспечивает ослабление излучения  $\text{Co}^{60}$  (энергия -квантов 1,25 МэВ) в 50 раз.

### 3.2 Расчет толщины защитных экранов по слоям половинного ослабления.

Слоем половинного ослабления  $\Delta_{1/2}$  называют толщину защитного экрана, ослабляющую мощность дозы (дозу, интенсивность, плотность потока) в 2 раза.

Если требуется рассчитать толщину защитного экрана, обеспечивающего кратность ослабления K(d), то

$$K(d)=2^n,$$

Где n – требуемое число слоев половинного ослабления

d – толщина защиты.

Зная кратность ослабления и величину слоя половинного ослабления для данной энергии - квантов и выбранного материала, можно оценить толщину защитного экрана, умножив величину слоя половинного ослабления на их число.

В условиях узкого пучка слой половинного ослабления определяется как  $\Delta_{1/2}=0,639/\mu$

Где  $\mu$  – линейный коэффициент ослабления излучения.

3.3В Расчет толщины защитного экрана по методу конкурирующих линий для немоноэнергетических источников.

На практике чаще всего применяют источники сложного спектрального состава (немоноэнергетические). В этом случае используют метод конкурирующих линий, для этого необходимо знать дозовый спектральный состав излучений.

1. Для набора дискретных значений энергии источника  $E_1, E_2, \dots, E_n$  находим процентный вклад в мощность эквивалентной дозы  $P_1, P_2, \dots, P_n$ .

Для нуклеидного источника, например  $P_i = \frac{\Gamma_{6i}}{\Gamma_6}$

Где  $\Gamma_{6i}, \Gamma_6$  – дифференциальная и полная керма-постоянные.

Если спектр непрерывный, его разбивают на (3-4) группы и находят эффективную энергию  $E_{\text{эфф}}$  каждой группы с процентным вкладом каждой группы в мощность эквивалентной дозы.

2. Рассчитывают полную кратность ослабления  $K$ .
3. Рассчитывают парциальные кратности ослабления  $K_i = K P_i$
4. По  $K_i$  кратности ослабления для энергии  $E_i$  ( $E_{\text{эфф}}$ ) из таблиц находят соответствующую толщину защитного экрана. Для определения толщин при значениях  $K$  и  $E$ , не указанных в таблицах, допускается двойная линейная ??????.

Главной линией спектра называют энергию, для которой получают наибольшую толщину защитного экрана  $d_r$ . Линия спектра, дающая следующую толщину защитного экрана  $d_k$ , называется конкурирующей.

Окончательную толщину защитного экрана выбирают из условия

Если  $(d_r - d_k) = 0$ , то  $d = d_r + \Delta_{1/2}$

Если  $0 < (d_r - d_k)$ , то  $d = d_k + \Delta_{1/2}$

Если  $(d_r - d_k) > \Delta_{1/2}$ , то  $d = d_r$

Роль основной и конкурирующей линий не остается постоянной и меняется в зависимости от кратности ослабления.

3.4 расчет толщины защитных экранов от прямого рентгеновского излучения.

При определении толщины защитного экрана от прямого рентгеновского излучения применяют монограммы, полученные на основании экспериментальных данных.

С помощью монограмм толщину необходимого свинцового защитного экрана  $d$  определяют для коэффициента ослабления

$$K = tI/3R^2$$

$t$  – время облучения в день, ч;

$I$  – сила тока трубки, мА;

$R$  – расстояние между рентгеновской трубкой и рабочей местом, м.

При определении толщины защитного экрана рекомендуется увеличить расчетную толщину на один слой половинного ослабления.

## 1.5 Лекция № 5

Тема: Тепловое загрязнение и методы его снижения

1. Вопросы лекции:

1. Основные понятия и исходные положения термодинамики.
2. Использование экранов для защиты от излучений.
3. Типы теплообменных аппаратов.
4. Виды теплового расчета теплообменников.

2. Краткое содержание вопросов:

1) Термодинамика – изучает законы превращения энергии в различных физико-химических процессах, происходящих в микроскопических системах и сопровождающихся тепловым эффектом.

Свойства каждой системы характеризуются рядом величин, т.е. термодинамическими параметрами. Основные:

- Температура;
- Давление;
- Удельный объем.

Теплоемкостью газов называется отношение количества теплоты  $\delta Q$ , полученного телом при бесконечно малом изменении его состояния, к связанному с этим изменению температуры тела  $dT$

$$C = \frac{\delta Q}{dT}$$

Различают:

1. Удельную массовую теплоемкость С (Дж/(кг\*K));
2. Удельную объемную теплоемкость С<sup>1</sup> (Дж/(м<sup>3</sup>\*К));
3. Удельную мольную теплоемкость μС (Дж/(кмоль\*K)).

2)

Для защиты от перегрева некоторых элементов теплотехнического оборудования требуется уменьшить лучистый теплообмен. В этом случае между излучателем и обогреваемым элементом ставят перегородки называемые экранами.

Рассмотри рисунки:

Лучистый теплообмен между двумя поверхностями через экран.

От более горячей пластины экрану теплота передается в количестве

$$q_{1,3} = \varepsilon_{\text{пр}} c_0 \left( \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 \right)$$

Где

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{\varepsilon}{2 - \varepsilon} - \text{приведенный коэффициент теплового излучения системы.}$$

От экрана и более холодной поверхности

$$q_{3,2} = \varepsilon_{\text{пр}} c_0 \left( \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right)$$

*В стационарном режиме*

$$q_{1,3} = q_{3,2} \Rightarrow \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 = \left( \frac{T_3}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \text{ т. е.} \Rightarrow$$

$$q_{1,3} = q_{3,2} = \frac{1}{2} \varepsilon_{\text{пр}} c_0 \left( \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right)$$

Из выражения видно, что установка одного экрана при  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3$  уменьшает поток вдвое

$$\frac{q_{1,2}^3}{q_{1,2}} = \frac{1}{1 + n \frac{\varepsilon(2 - \varepsilon_3)}{\varepsilon_3(2 - \varepsilon)}}$$

Т.е. если  $\varepsilon=0,8$  (окисленная стальная поверхность), а  $\varepsilon=0,1$  то при наличии одного экрана  $\frac{q_{1,2}^3}{q_{1,2}} = 0,073$ , т.е. тепловой лучистый поток уменьшится в 13 раз.

Для исключения конвекции и теплопроводности из зазоров часто откачивают воздух. Такая изоляция называется ваккумно-многослойной.

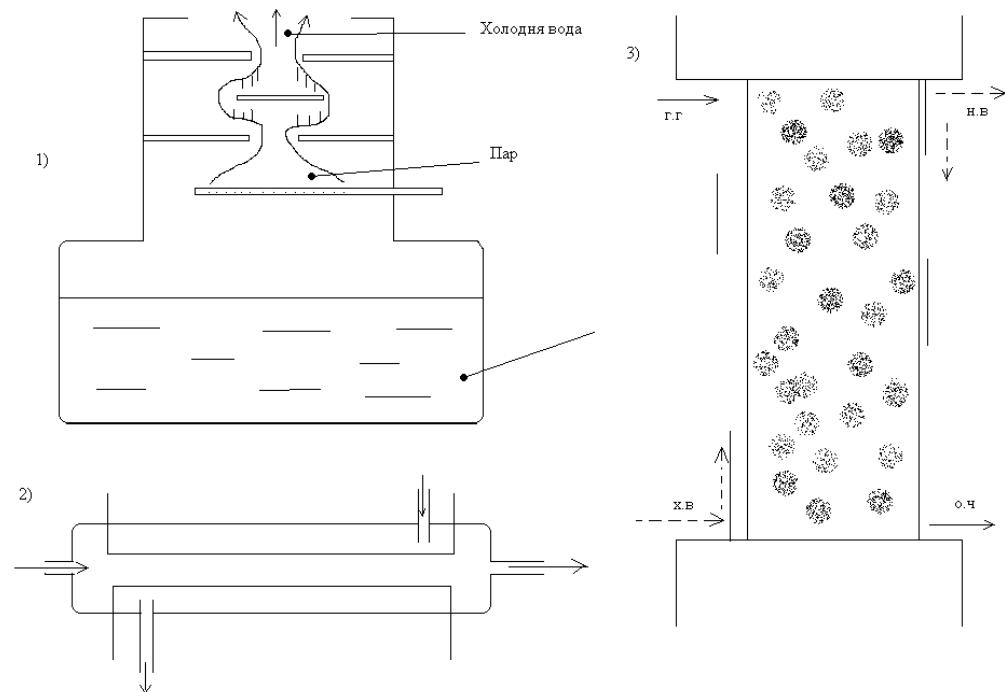
3)

Теплообменный аппарат (теплообменник) – это устройство, предназначенное для нагревания или охлаждения теплоносителя.

Теплообменники с двумя теплоносителями в зависимости от способа передачи от одного теплоносителем к другому можно разделить на несколько типов:

- Смесительные (происходит смещивание ...)
- Регенеративные
- С промежуточным теплоносителем

Одним из оригинальных устройств, использующих в качестве промежуточного теплоносителя пар и его конденсат, является герметичная труба, заполненная частично жидкостью, а частично ..... Такое устройство называется тепловой трубой, способное передавать большие тепловые мощности.



4)

Наиболее простым является конструктивный расчет теплообменника, при котором известны начальные и конечные параметры теплоносителей и необходимо рассчитать поверхность теплообменника. Порядок выполнения такого расчета:

1. Из балансового уравнения определяют мощность теплового потока  $Q_2$ , которую нужно передать от горячего теплоносителя к холодному.
2. Пользуясь рекомендациями специальной литературы, задаются скоростями течения теплоносителем и конструктивными особенностями теплообменника ( $d$  трубок, проходным сечением .....
3. Рассчитывают коэффициент теплоотдачи, а затем коэффициент теплопередачи  $K$ .
4. По формуле  $\Delta t$  – средний перепад температур.
5. Из уравнений теплопередачи находим площадь  $F$  теплообменника.
6. По известной площади  $F$  рассчитывают длину трубок теплообменника.
7. Метод поверочного расчета -> метод последовательных приближений.

Пример:

Привести конструктивный тепловой расчет кожухотрубчатого теплообменника, в котором насыщенном паром с давлением  $p=0,6$  МПа греется проходящая по трубкам вода от  $t_2^{\parallel}=10^0\text{C}$  до  $t_2^{\parallel}=70^0\text{C}$ . Объемный расход воды  $V_2=1\text{l/s}=10^{-3}\text{ m}^3/\text{s}$ .

Принимаем трубы из латуни  $\lambda=106$  Вт/м\*К диаметром  $d_{\text{вн}}/d_n=16/18$  мм. Скорость течения воды в трубах теплообменников  $\omega_2$  обычно принимается около 1 м/с, теплофизические свойства воды будем брать из справочника при средней температуре воды  $t_2=40^0\text{C}$ , а конденсата при температуре  $t_1=t_h=158,8^0\text{C}$ .

- 1) Для нагрева воды необходим тепловой поток

$$Q_2 = \rho_2 V_2 (n_2^{\parallel} - n_2^{\perp}) = 992,2 * 10^{-3} (293 - 46,2) = 245 * 10^3 \text{ Вт}$$

- 2) Средний перепад температур  $\Delta t$  рассчитаем по разности средних температур:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 158,8 - 40 = 118,8^0\text{C}$$

- 3) Суммарные сечения труб для прохода воды

$$F_{\text{tp}} = \frac{V_2}{\omega_2} = \frac{10^{-3}}{1} = 10^{-3} \text{ м}^2$$

- 4) Площадь внутреннего сечения одной трубы:

$$F_{\text{tp}}^{\perp} = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4} = \frac{3,14 (16 * 10^{-3})^2}{4} = 2,01 * 10^{-4} \text{ м}^2$$

- 5) Тогда число параллельно включенных трубок

$$n = \frac{F_{\text{tp}}}{F_{\text{tp}}^{\perp}} = \frac{10^{-3}}{2,01 * 10^{-4}} = 5$$

- 6) Уточненное значение скорости течения воды в трубах

$$\omega_2 = V_2 (n F_{\text{tp}}^{\perp}) = 10^{-3} (5 * 2,01 * 10^{-4}) = 0,995 \text{ м/с}$$

- 7) Для расчетов коэффициентов теплоотдачи в первом приближении температуру стенки трубы примем равной средней между температурами теплоносителей

$$t_{c1} = t_{c2} = \frac{t_1 + t_2}{2} = 100^{\circ}\text{C}$$

Коэффициенты теплоотдачи:

$$a_1 = 8980 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$$

$$a_2 = 6260 \text{ Вт}/(\text{м}^2 * \text{К})$$

8) Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{a_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{a_2}} = \frac{1}{\frac{1}{8980} + \frac{0,001}{106} + \frac{1}{6260}} = 3360 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 * \text{К}}$$

9) Площадь теплообменника

$$F = \frac{Q}{K\Delta t} = 245 * \frac{10^3}{3560 * 118,8} = 0,580 \text{ м}^2$$

10) Длина трубок

$$l = \frac{F}{n\pi d} = \frac{0,580}{5 * 3,14 * 0,017}$$

$$d = 0,5(d_{\text{BH}} + d_{\text{H}}) = 0,5(16 + 18) = 17 \text{ мм} \quad \text{т. к. } \frac{d_{\text{H}}}{d_{\text{BH}}} < 1,5$$

11) Уточним температуру поверхностей стенки трубы со стороны пара по формуле

$$t_{c1} = t_1 - Q(a_1 F) = 158,8 - 245 * \frac{10^3}{8910 * 0,58} = 111^{\circ}\text{C}$$

Со стороны воды

$$t_{c2} = t_{c1} - \frac{Q\delta}{\lambda F} = 111 - 245 * 10^3 * \frac{10^{-3}}{106} = 107^{\circ}\text{C}$$

12) Повторив расчет (начиная с п.7) с уточнением значений  $t_{c1}$  и  $t_{c2}$  получим результат  $l=2,13 \text{ м.}$

## 1.6 Лекция № 6

Тема: Классификация методов и аппаратов защиты атмосферы и их основные характеристики

1. Вопросы лекции:

1. Классификация устройств отчистки воздуха от пыли.
2. Пылеосадительные камеры.
3. Аппараты мокрой отчистки газов.

2. Краткое содержание вопросов:

## Вопрос №1

В зависимости от природы сил, используемых в пылеулавливающих аппаратах для отделения частиц пыли от газового потока, их подразделяют на четыре группы:

- 1) Пылеосадительные камеры и циклоны
- 2) Аппараты мокрой отчистки газов
- 3) Пористые фильтры
- 4) Электрические фильтры

Классификация пылеулавливающего оборудования дана в ГОСТ 12.2.043-80 «Оборудование пылеулавливающее. Классификация»

Оборудование применяемое для отчистки от пыли воздуха подразделяются на следующие типы:

1. Оборудование, применяемое для отчистки от взвешенных частиц пыли воздуха, подавляющего в помещении системами т.е. – Воздушные фильтры.
2. Оборудование, применяемое для отчистки от пыли воздуха, выбрасываемого в атмосферу системами вытяжной вентиляции – пылеуловители.

Пылеулавливающее оборудование по принципу действия подразделяются на группы, по конструктивному признаку – на виды и действует по сухому и мокрому способу.

Пылеулавливающее оборудование, в котором отделение пыли от воздушного потока осуществляется последовательно в несколько ступеней, отличающихся по принципу действия, конструктивным особенностям и способу отчистки, относят к комбинированному пылеулавливающему оборудованию.

<b>Пылеулавливающее оборудование</b>			
I	Улавливание или сухим способом		
Гравитационное	Инерционное	Фильтрационное	Электрическое

онное											
Полное	Поглощение	Жалюзийное	Циклонное	Ротационное	Тканевые	Волокнистые	Зернистые	Сетчатые	Губчатые	Однозонное	Двухзонное
п/у	п/у	п/у	п/у	п/у	п/у	а/ф	п/у	а/ф	а/ф	п/у	а/ф

II	Улавливание пыли мокрым способом							
Инерционные				Фильтраци онное		Электрическое		
Инерционное	Ротационное	Скруберное	Ударное	Сетчатое	Пенное	Однозонное	Двухзонное	
п/у	п/у	п/у	п/у	п/у	а/ф	п/у	а/ф(п/у)	

III	Биофильтры							

## Вопрос №2

Пылеосадительные камеры.

Пылеулавливающие камеры являются простейшими пылеулавливающими устройствами.

Преимущества:

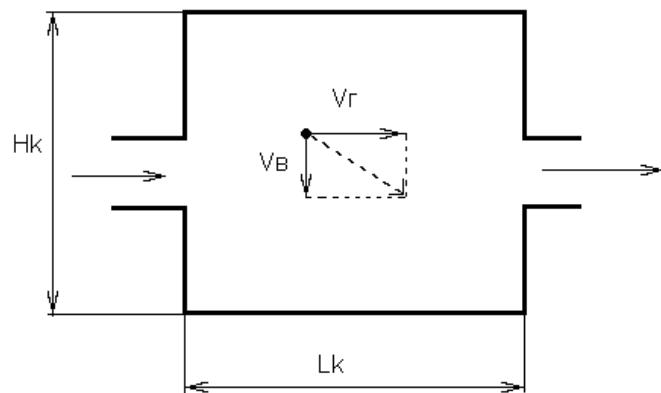
- простота устройства
- несложность эксплуатации

- долговечность
- потери давления не превышают 20-150 Па
- Возможность изготовления из бетона и других, не коррозионно-активных материалов.

Недостатки:

- осаждение крупных фрагментов пыли
- громоздкие
- степень очистки 50-60%
- для осаждения взрыво- и пожароопасной пыли не допускается.

Рассмотрим пылеосадительные камеры.



Пылевая частица, внесенная в камеру потоком воздуха находится под действием 2-х сил:

- сила инерции
- сила тяжести.

Равнодействующую силу можно найти из параллелограмма сил. В горизонтальном направлении частица проходит путь  $L_g$ , м.

$$L_g = V_g \cdot \tau \quad (1)$$

В вертикальном  $h_g$ , м.

$$H_g = V_b \cdot \tau \quad (2)$$

Где:  $\tau$  - время пребывания частицы в камере, с.

$V_g$  - скорость движения частицы в горизонтальном направлении, м/с.

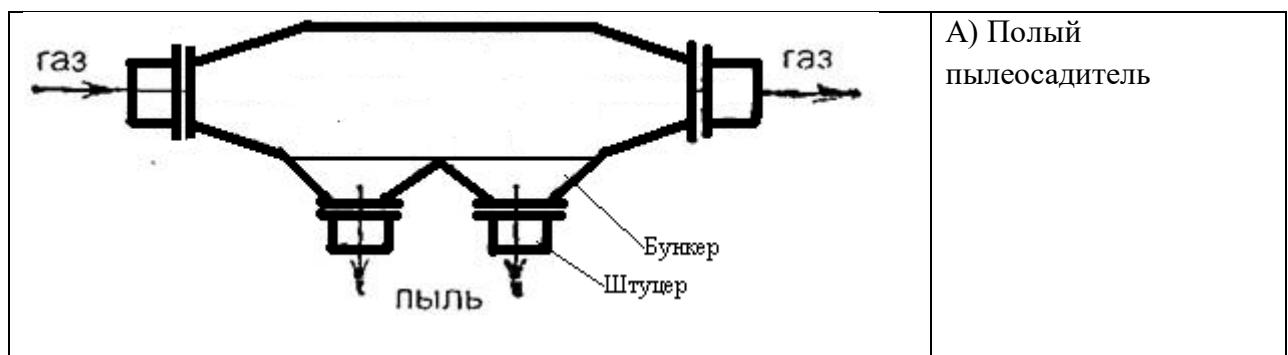
$V_b$  - скорость движения частицы в вертикальном направлении, м/с.

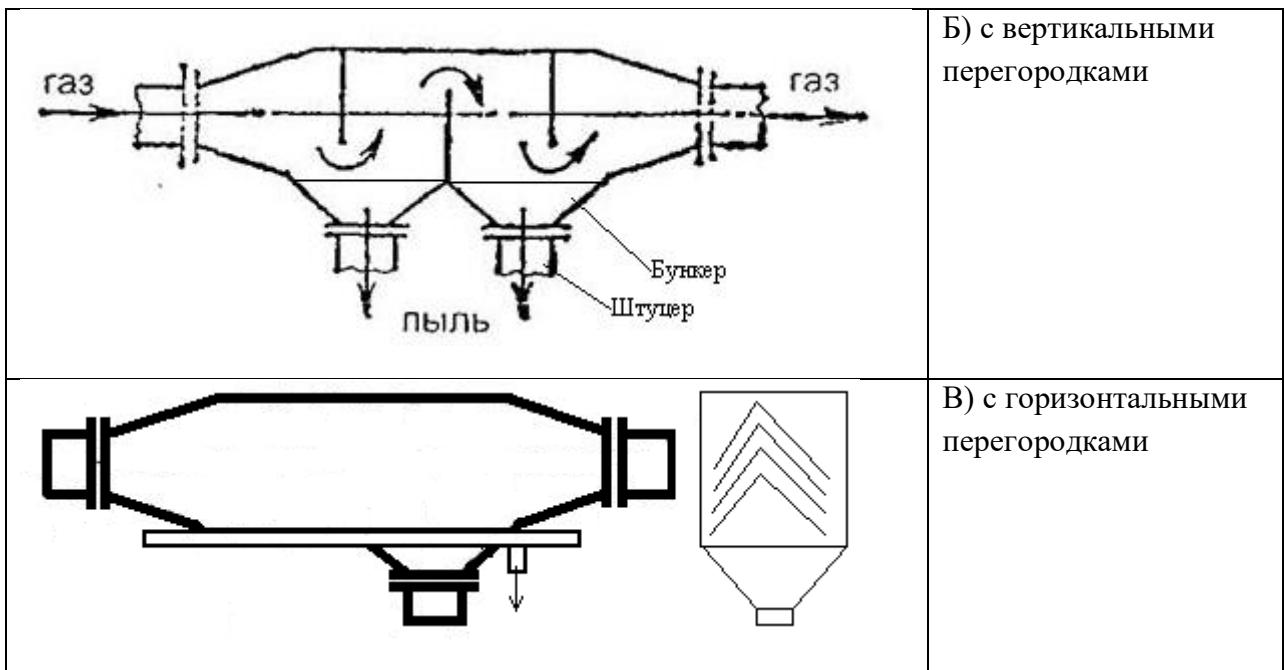
Таким образом, получаем

$$L_k = H_p \frac{V_g}{V_b} \quad (3)$$

Как видно из формулы(3) чем ниже камера тем быстрее она встретит дно.

Поэтому в камерах целесообразно поместить несколько параллельных каналов – полочная пылеосадительная камера.





Продолжительность прохождения  $\tau$  (с) газами осадительной камеры при равномерном распределении газового потока по её сечению.

$$\tau = \frac{V_k}{V_r} = \frac{L_n B H}{V_r} \quad (4)$$

Где :

$V_k$ -объем камеры, м<sup>3</sup>

$V_r$ -объемный расход газов, м<sup>3</sup>

$L_n$ -длина камеры, м.

$B$ -Ширина камеры, м.

$H$ -Высота камеры, м.

Теоретическая скорость осаждения:

$$W = R_e * \frac{V^2}{d} \quad (5)$$

Где:

$R_e$ -Критерий Рейнольдса.

$V^2$ - кинетическая вязкость газа.

$d$  - диаметр частиц

Общая высота пылеулавливающей камеры:

$$H = n(h + h_1) \quad (6)$$

Где:

$h$ -расстояние между полками.

$h_1$ - толщина одной полки.

$n$ - число полок.

Время пребывания газа в камере:

$$t = \frac{l_k}{w}$$

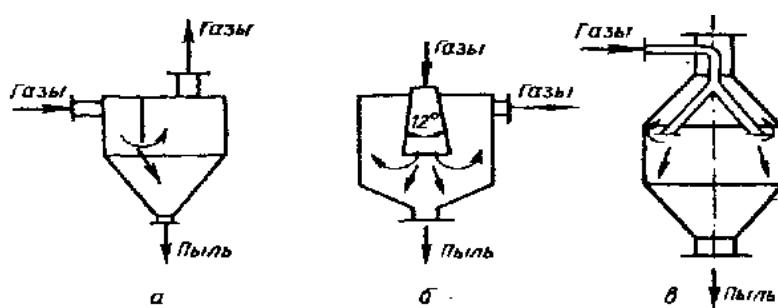
Где:

$l_k$ -длина камеры.

$w$ - скорость осаждения.

Инерционные пылеуловители

В и.п. для изменения направления движения направления газов устанавливается перегородка. При этом наряду с силой тяжести действуют и силы инерции  $V$  газов в н.а.= 5-15 м/с



- А) – камера с перегородкой
- Б) – камера с расширяющимся конусом
- В) - камера с заглубленным бункером.

Циклон

Циклон рекомендуется использовать для представленной части газа и устанавливать перед высокоэффективными аппаратами (эл. фильтр и т.д) отчистки.

Основными преимуществами являются :

- простота устройства
- надежность в эксплуатации
- низкие капитальные и эксплуатационные затраты.

Циклоны: -Большой производительности

-Высокой производительности.

По форме:

цилиндрические:  $H_{ци} > H_{кн}$

нормальные :  $H_{кн} > H_{ци}$

$H_{ци}$  и  $H_{кн}$  – высота цилиндрической и конической части циклона.

Аппарат мокрой отчистки газов.

Мокрую отчистку газов производят в гидравлических пылеуловителях:

Скрубберах: -насадочных

-центробежных

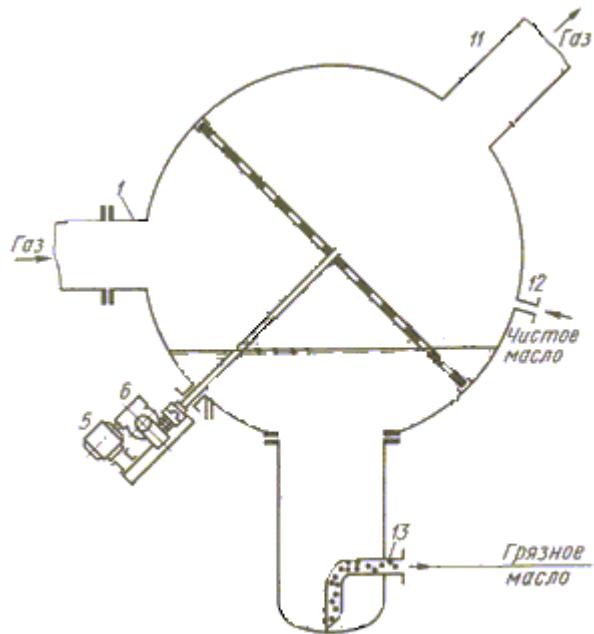
-струйных

И механических газопромывательных со смоченной поверхностью.

Рассмотрим шаровый пылеуловитель:

Имеет ряд преимуществ перед механическим газопромывателем со смоченной поверхностью.

- наименее металлоемок
- хорошее распределение газов по рабочему сечению
- шарообразная форма позволяет удачно расположить основные элементы.



Секундный объем газа:

$$V_{\text{сек}} = V_{\text{см}} \frac{(t_r + 273)}{3600 * 293}$$

Где  $V_{\text{см}}$ - стандартный объем газа.

Технические характеристики ЦН-15

-Допускаемая запыленность газа, г/м<sup>3</sup>:

Для слабо слипающихся пылей не более 1000

Для средне слипающихся пылей 250

-температура осушки газа, С° не более 400

- давление (разрежение), кПа(кг/см<sup>2</sup>) не более 5(500)

- коэффициент гидравлического сопротивления :

Для одиночных циклонов – 147

Для групповых циклонов – 175-182

-эффективность отчистки (от пыли  $d_m=20\text{мкм}$ , при скорости газового потока 3,5м/с и диаметре циклона 100мм), % -78.

**ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ**

Дано:

Расход очищенного воздуха  $3000-20000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ,  $t=40^\circ\text{C}$

Начальная концентрация пыли  $C=10 \text{ г/м}^3$

Пыль- горелая земля литейного цеха

Плотность пыли  $\rho_n=2900 \text{ кг/м}^3$

Медианный диаметр  $dm=15 \text{ мкм.}$

$\rho_{\text{воздуха}} = 1,128$

Динамическая вязкость  $\mu=19,3 \times 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$

Требуется подобрать циклон и определить его основные размеры.

На листе А2 выполнить чертеж.

Окружающий человека атмосферный воздух непрерывно подвергается загрязнению. Воздух производственных помещений загрязняется выбросами технологического оборудования или при проведении технологических процессов без локализации отходящих веществ. Удаленный из помещения воздух может стать причиной загрязнения атмосферного воздуха. Промышленных площадок и населенных пунктов.

Кроме того, воздух промышленных площадок загрязняется технологическими выбросами цехов, выбросов ТЭС, транспортных средств и других источников.

Воздух жилых помещений загрязняется продуктами сгорания природного газа и других топлив, испарение растворителей, моющих средств, дерево-стружечных конструкций и д.р. также токсичными веществами, поступающими в жилые помещения с приточным вентиляционным воздухом.

Летом при  $t=20^{\circ}\text{C}$  в жилые помещения проникает около 90% примесей наружного воздуха.

Можно определить  $m_i$  (массу  $i$ -того) загрязняющего вещества.

$$m_i = m_{ygi} \Pi K(1-\eta)$$

где:

$m_{ygi}$ - удельное воздействие одного загрязняющего вещества за единицу продукции;

$\Pi$ - расчетная производительность технологии;

$K$ - поправочный коэффициент учета особенностей технологического процесса.

$\eta$ - эффективность отчистки выбросов волях единицы. (при отсутствии =0)

Требования к выбросам в атмосферу.

Средства защиты атмосферы должны ограничивать наличие вредных веществ в воздухе среды обитания человека на уровне не превышающем ПДК.

Всегда (во всех случаях) должно соблюдаться условие:

$$C + C_{\phi} \leq \text{ПДК}$$

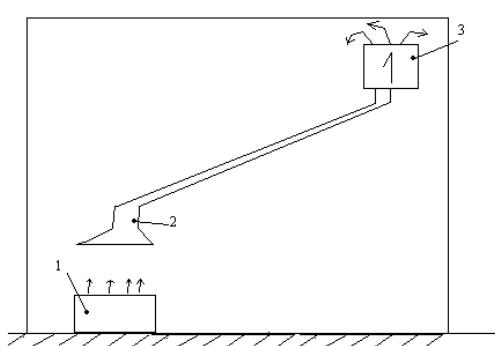
$C$ - концентрация

$C_{\phi}$ - фоновая концентрация

Если концентрация вредных веществ в атмосфере  $>$  ПДК то принимают отчистку выбросов в атмосферу вредных веществ в аппаратах отчистки, установленных в выпускной системе.

## Варианты защиты атмосферного воздуха

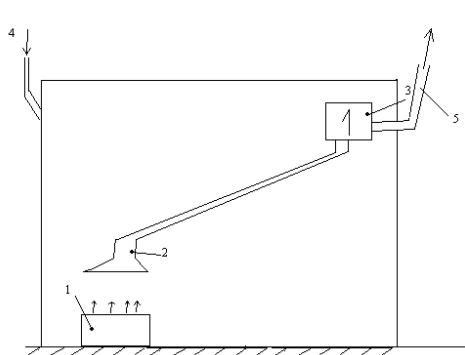
- 1) Вывод токсичных отходов из помещения общеобменной вентиляцией.
- 2) Локализация точечных веществ в зоне их образования местной вентиляцией, отчистка загрязненного воздуха в аспирационных аппаратах и возврат в производство или бытовое пользование(если соответствует требованиям).



1- источник токсического вещества

2-устройство для локализации точечных веществ(местное)

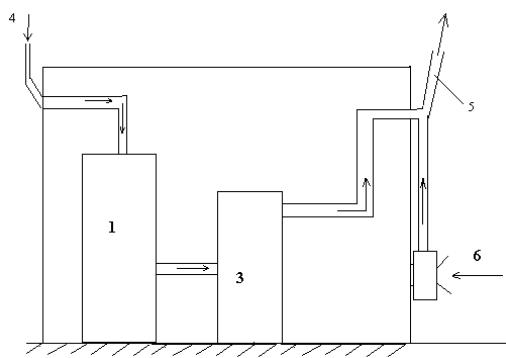
- 3) Локализация токсических веществ в зоне их образования местной вентиляцией, отчистка загрязненного воздуха в специальных ----- , выброс и рассеивание в окружающую среду.



4-устройство для забора воздуха из атмосферы.

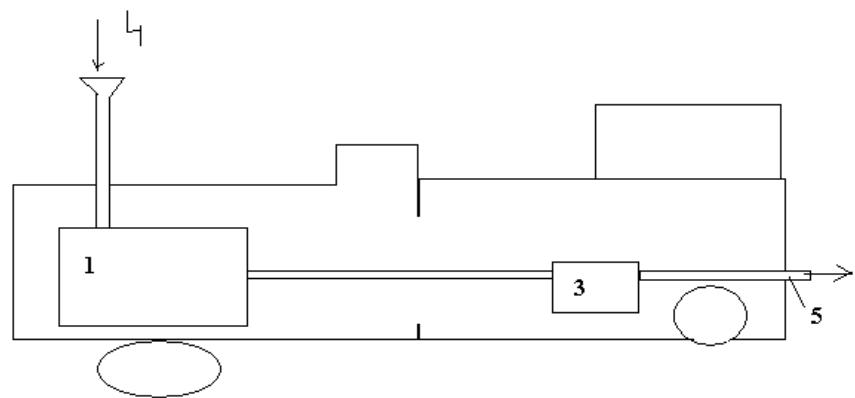
5- труба для рассеивания.

- 4)Отчистка технических газов выбросов в специальных аппаратах, выброс и рассеивание в атмосферу, в ряде случаев перед выбросом отходящих газов разогревают атмосферный воздух.



6-устройство (воздуходувка) для подачи воздуха на разбавление выбросов

5) Отчистка отходящих газов энергоустановок (прим: ДВС) и выброс в атмосферу или производственную зону(рудник, склады, карьер и т.д.)



Для соблюдения ПДК вредных веществ в атмосферном воздухе, устанавливают предельно допустимые выбросы (ПДВ) вредных веществ из систем вытяжной вентиляции, различных технологических и энергетических установок.

ПДВ устанавливается для каждого проекта и установки предприятия

ГОСТ 17.2.2.02-78

## 1.7 Лекция № 7

Тема: Методы и средства очистки выбросов от пыли и аэрозолей

### 1. Вопросы лекции:

1. Отбор проб и анализ газов из атмосферы.
2. Отбор и анализ аэрозольных проб.
3. Атмосфера в движении
4. Теория рассеяния.

## 2. Краткое содержание вопросов:

### Вопрос №1

При использовании инспекторских методик в масштабе реального времени, отбор проб производят прокачиванием проб воздуха через ловушку, ячейки или реакционные камеры.

#### а) Метод отбора полной пробы воздуха

-пробы можно отбирать в полиэтиленовые мешки или в жесткие контейнеры.

Преимущества:

-увеличивает количество отобранной пробы

-уменьшает вероятность нахождения в пробе загрязнения

#### б) Криогенный метод

-Используется в тех случаях, когда необходимо отобрать для анализа значительные количества углеродсодержащих материалов.

Для этого поток воздуха при пониженной температуре пропускают через ловушку.

#### в) Метод абсорбции

-метод отбора проб, основанный на растворении газообразных веществ в жидкой среде

#### г) Метод адсорбции

-Метод отбора проб предусматривает пропускание потока воздуха через слой древесного угля, молекулярные сита или другие адсорбенты, которые способны задерживать газообразные загрязнения, последние удаляются при испарении или экстракции растворителем.

### Вопрос №2

Все известные методы оценки частиц (как общей их массы, так и массового распределения по размерам) являются экстрактивными методиками(методиками выделения). Это означает, что представителями пробы отбираемого аэрозоля берется из основной массы потока аэрозоля и доставляется затем к измерительному прибору.

Измерительный прибор фактически только отделяет частицы от газа. Основное измерение заключается во взвешивании отобранного дисперсного материала на соответствующих весах.

Последовательность действий:

#### 1) Определение скорости газа и его состав

- 2) Получение пробы
- 3) Транспортировка пробы
- 4) Накопление пробы
- 5) Анализ пробы
- 6) Обработка образовавшихся данных

### **Вопрос №3**

Перенос загрязнений в атмосфере обусловлен:

- полем среднего ветра, переносящего загрязнение от одного места к другому.
- турбулентность движения.

Большая часть этих движений, важных для принятия инженерных решений, реализуется в планетарном пограничном слое.

Планетарный пограничный слой- часть атмосферы, располагающаяся между поверхностью земли и свободной атмосферой, где движение в основном не подвергается влиянию приземного трения и охлаждения, и искривления земли.



Вещество, выброшенное в структуру, переносится ветром и рассеивается турбулентными вихрями.

Размеры вихрей в этом случае будут определять максимальный размер облака рассеивающейся примеси и чем больше будет облако, тем больше будет концентрация примесей в его центре.

#### Вопрос №4

В настоящее время пользуются 2-мя альтернативными подходами.

Теория градиентного переноса	Статистическая теория
Этот подход основан на применении дифференциального уравнения описывающего адвентивное и турбулентное движение в атмосфере и их влияние на рассеивание атмосферных примесей	

#### Градиентный перенос (К-теория)

Математическая схема теории градиентного переноса взята из физики тепло и электро проворности.

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = k \left( \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

Из уравнения 1 видно, что степень изменения некоторого качества  $q$  в одномерном случае зависит от степени изменения его градиента и некоторой постоянной, которая в атмосфере называется индифирентом турбулентной диффузии.

Краевые условия для -----

$$\bar{q} \rightarrow 0, \quad \text{тогда } t \rightarrow \infty$$

$\bar{q} = 0$ , тогда  $t \rightarrow 0$  для всех  $X$ , кроме  $X=0$ .

Где  $\bar{q} \rightarrow 0$  так, что  $\int_{-\infty}^{\infty} \bar{q} dx = Q$

В трехмерной системе, для некоторой точки на поверхности земли уравнение записывается в виде:

$$\frac{d\bar{q}}{dt} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial \bar{q}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial \bar{q}}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} \right)$$

Краевые условия имеют тот же вид, что и для точечного источника.

Q-плотность источника, т.е. который выброс вещества представленного через концентрацию среды.

Решение этого уравнения известно как формула Гаусса.

$$\frac{q}{Q} = \left( at^{\frac{x}{2}} \right)^{-1} \exp \left( \frac{-bx^2}{t} \right)$$

$$a = (4k\pi)^{\frac{x}{2}} \text{ и } b = (4k)^{-1}$$

X-расстояние от центра диффузационной области

a и b – коэффициент полученный при получении уравнения неразрывности, которое дает полную мощность выброса.

Следовательно, для мгновенного точечного источника, производящего выброс плотностью Q в момент t=0, решение уравнения(1) принимает вид:

$$\frac{q}{Q} = (4\pi kt)^{\frac{-1}{2}} \exp \left( \frac{-x^2}{4kt} \right)$$

Для трехмерного случая турбулентности:

$$\frac{q}{Q} = (4\pi t)^{\frac{-3}{2}} (k_x k_y k_z)^{\frac{-1}{2}} \exp \left( (4t)^{-1} \left( \frac{x^2}{k_x} + \frac{y^2}{k_y} + \frac{z^2}{k_z} \right) \right)$$

Одна из трудностей К-теории состоит в предположении постоянства турбулентной диффузии в пограничном слое, в котором существует явно выраженный сдвиг среднего ветра и большая изменчивость вертикальных температурных градиентов.

Правильность К-теории доказана с успехом, достигнутым в представлении рассеяния в атмосфере. В настоящее время используется в основном для городов.

Для того чтобы получить Гауссовы уравнения необходимо сделать несколько предположений.

- 1) Решение не зависит от времени.
- 2) Скорость ветра не мешает ни поперек общего потока, ни вертикально.
- 3) коэффициент диффузии не зависит от расположения

4) Диффузия в направлении оси X мала по сравнению со средней положенной или переносом примеси в этом направлении.

Коэффициент К-теория

Коэффициент горизонтальной диффузии

$$k = \sigma_y \frac{d\sigma_y}{dt}$$

$$\sigma_y = \sigma_q (\bar{u}t)^{0.91}$$

$$u = (u^2 + v^2 + \omega^2)^{\frac{1}{2}}$$

Где:

$\sigma_q$ -стандартное отклонение условных колебаний Флетчера

$u, v, \omega$ -ортогональные направления ветра.(восток, северо-юг, вертикаль)

Коэффициент вертикальной диффузии

$$K = \frac{k_v z}{H}, \quad 0 < z < H$$

$$K = K_v, \quad H < z$$

Где:

z-высота над поверхностью земли.

H- высота слоя турбулентного перемещения.

$K_v$ - рассчитывается из вертикального профиля температуры и её изменениями во времени.

$$K_v = \frac{\partial T / \partial t}{\partial^2 T / \partial z^2}$$

## 1.8 Лекция № 8

Тема: Вспомогательное оборудование систем пылегазоочистки

1. Вопросы лекции:

1. Аппараты мокрой очистки и фильтры
2. Физические основы и теория мокрой очистки газов.
3. Фильтры.
4. Типы и конструкции электрофильтров.

2. Краткое содержание вопросов:

1) Главными мероприятиями по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу являются:

- Совершенствование технологического процесса с доведением до минимума выбросов и создание безотходных, замкнутых технологических процессов;
- Применение эффективных средств очистки воздуха от пыли.

Наиболее распространенные частицы 10 мкм.

Применение фильтров -> требует, как третьей ступени, быстрой регенерации и замены, что приводит к дополнительным затратам.

Потому большой интерес представляют мокрые пылеуловители, которые позволяют повысить степень коагуляции мелкой пыли и за счет этого обеспечить высокую степень очистки.

Существует гидрофильтрная (смачивающаяся) и гидрофобная (не смачивающаяся) пыль.

Способность к смачиванию обусловлена явлением поверхностного натяжения жидкости.

Поверхностное натяжение жидкости на границе с воздухом: 72,  $75 \cdot 10^{-5}$  Н/см,  $t_{\text{воды}}=20^{\circ}\text{C}$ .

Смачивающаяся частица втягиваются в воду силой поверхностного натяжения, при этом, если  $\rho_{\text{ч}} < \rho_{\text{в.}}$ , то действует сила тяжести и частица тонет. К смачиваемым частицам относят стекло, кварц, кальцит и др.

Способность твердых тел к смачиванию уменьшается с увеличением их дисперсности, которая является одним из важнейших свойств аэрозолей, т.е. систем, состоящих из твердых или жидкых аэрозольных частиц (дисперсной фазы), взвешенных в воздушной (дисперсной) среде.

Под дисперсностью пыли понимают совокупность размеров всех составляющих ее частиц.

Среднее квадратическое смещение частицы в любом произвольном направлении за время  $t$  определяется уравнением Эйнштейна:

$$\Delta X^2 = 2D t, \quad (1)$$

где  $D$  – коэффициент диффузии ( $\text{см}^2/\text{с}$ ), определяемый по формуле:

$$D = B T B, \quad (2)$$

Где  $B$  – постоянная Больцмана ( $1,38062 \cdot 10^{-3}$  Дж/К);

$T$  – абсолютная температура воздуха, К;

$B$  – подвижность частицы, определяемая по формуле Стокса:

$$B = 1/3\pi\mu_B d, \quad (3)$$

Где  $\mu_B$  – вязкость воздуха (при  $t=20^0C$   $\mu_B=17,75*10^{-6}$  Па\*с)

$D$  – диаметр частицы.

Способность к диффузии свойственна очень малым по размеру частицам, поэтому для вычисления подвижности частицы  $B$  в формулу (3) вводят поправку Кенингейма и формула приобретает вид:

$$B = \frac{1 + 1,728 \frac{l}{d}}{3 \pi \mu_B d}, \quad (4)$$

Где  $l$  - средняя длина свободного пути молекул ( $\approx 1*10^{-3}$  см);

С учетом изложенного, среднее квадратичное смещение частицы в любом направлении в том числе и перпендикулярно линиям тока, за  $t$  определяем по формуле :

$$\Delta X^2 = \frac{2B \left(1 + 1,728 \frac{l}{d}\right) t}{3 \pi \mu_B d}, \quad (5)$$

В результате такого хаотического движения частицы соприкасаются и при определенных условиях слипаются. Это явление называется коагуляцией, которая определяется по уравнению:

$$\frac{dn}{dt} = K n^2, \quad (6)$$

Где  $n$  – число частиц;

$K$  – константа коагуляции, определяется по формуле :

$$K = 4\pi d D, \quad (7)$$

Из уравнения (7) видно, что на ранних стадиях, когда концентрации загрязняющих веществ велика, коагуляция протекает с большой скоростью и эффективно, а затем скорость и эффективность снижаются.

Для повышения коагуляции запыленный воздушный поток орошается каплями жидкости и меняет направление движения.

Расход жидкости :

$$Q = 0,14\pi D, \quad (8)$$

Где  $D$  – диаметр аппарата, м.

Сила .....:

$$F_{ad} = 2A\pi\beta d, \quad (9)$$

Где  $A$  – площадь поверхности (константа),  $\text{см}^2$  ;

$B$  – поверхностное натяжение жидкости.

Длина канала:

$$L = \frac{4DW_{cp}}{3V}, \quad (10)$$

Где  $W_{cp}$  – средняя скорость потока ;

$V$  – скорость ..... , определяемое по формуле :

$$V = \frac{d(P_n - P_r)g}{18\mu_r}, \quad (11)$$

Где  $P_n$ ,  $P_r$  – плотность соответственно частицы и воздуха,  $\text{г/см}^3$  ;

$\mu_r$  – динамическая вязкость,  $\text{Па}^* \text{с}$ .

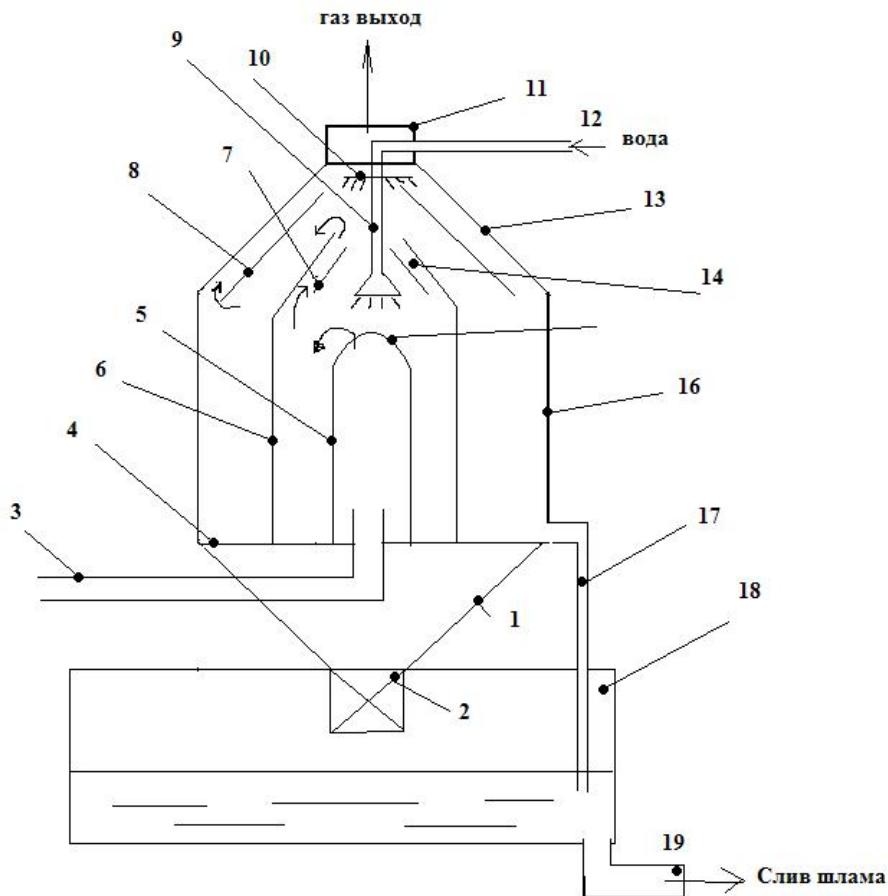
Эффективность осаждения:

$$E = \frac{VL}{W_{cp}H}, \quad (12)$$

Где  $L$  – длина канала, м;

$H$  – высота канала, м.

Руководствуясь изложенным рассмотрим устройство для очистки газа от пыли.



2). Фильтрация запыленных промышленных газов и аспирационного воздуха через пористые перегородки, является эффективным техническим решением.

Все фильтрованные материалы можно подразделить на четыре основных типа, различающиеся тем, что они изготовлены из:

- Естественных волокон животного и растительного происхождения;
  - Искусственных органических волокон (лавсан, капрон);
  - Естественных минеральных волокон (асбест);
  - Искусственных неорганических волокон (стеклоткань, металлоткань).

При расчете и выборе фильтров учитываются следующие основные показатели.

### - Эффективность очистки газов

$$\eta = \frac{v_1 z_1 - v_2 z_2}{v_1 z_1} = 1 - \frac{v_2 z_2}{v_1 z_1},$$

$\eta$  – степень очистки;

$v_1, v_2$  – объемный расход газов на входе и выходе фильтра м/с ;

$Z_1, Z_2$  – запыленность газов на входе и выходе,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

- Пористость фильтра – отношение объема воздушного пространства между твердыми непроницаемыми элементами пористой среды к общему объему, занятому пористой средой.
- скорость фильтрации (газопылевая нагрузка) – отношение объема расхода газов, происходящих через фильтр к площади фильтрующей поверхности.
- пылеёмкость фильтра – количество пыли, которое фильтр удерживает за период непрерывной работы.
- гидравлическое сопротивление фильтра – разность давлений между входом и выходом.

Основным фактором, определяющим площадь фильтрованной ткани в установке является перепад давления на ткани.

Кроме того, надо знать нагрузку по газу.

Общая площадь фильтрации установки  $S$ ,  $\text{м}^2$

$$S = S_p + S_c - \frac{v_1 + v_2}{v_{cp}} + S_{cp},$$

Где  $S_p$  – площадь фильтрации в одновременно работающих секциях,  $\text{м}^2$ ;

$S_c$  – площадь ткани в регенерирующей секции,  $\text{м}^2$ ;

$v_1$  – расход запыленных газов с учетом подсоса,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$v_2$  – расход продувочных газов или воздуха,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;

$v_{cp}$  – скорость фильтрации (газовая нагрузка на ткань),  $\text{м}^3/(\text{м}^2 * \text{мин})$ .

Расчет полого скруббера.

Для снижения теплового загрязнения атмосферы используют скруббера.

При этом основным вопросом является определение количества тепла необходимое отнять от газа в процессе его охлаждения и передать жидкости рассчитывается по формуле:

$$Q = V_0(c + f_1 c_n)(t_1 - t_2), \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \quad (13)$$

Где  $V_0$  – количество сухого газа при нормальных условиях,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$c$  – объемная теплоемкость сухого газа при постоянном давлении и нормальных условиях,  $\text{Дж}/(\text{м}^3 * 0^\circ\text{C})$ ;

$c_n$  – теплоемкость водяного пара,  $\text{Дж}/(\text{кг} * 0^\circ\text{C})$ ;

$f_1$  – начальное влагосодержание газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$t_1, t_2$  – соответственно начальная и конечная температуры газа на входе в скруббер и на выходе из него,  $^0\text{C}$ .

Полезный рабочий объем скруббера

$$V_{\text{ск}} = \frac{Q}{K\Delta t}, \quad \text{м}^3$$

$K$  – объемный коэффициент теплопередачи в скруббере,  $\text{Вт}/\text{м}^3*^0\text{C}$ ;

$\Delta t$  – средняя разность температур газа и жидкости,  $^0\text{C}$ .

Зависимость объемного коэффициента получены Алексеевым и Оленовым опытным путем:

$$K = (14,7 + 96,7U)\rho_r v_r,$$

Где  $U$  – плотность орошения,  $\text{кг}/(\text{м}^2*\text{ч})$ ;

$\rho_r$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v_r$  – скорость газа,  $\text{м}/\text{с}$ .

..... данного коэффициента.

Увеличивается с ростом относительной скорости газа и капель, а также с уменьшением размера капель и снижается с ростом величины удельного орошения.

Среднюю разность температур газа и воды в скрубберах (газ и вода движутся противотоком) определяют из выражения:

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_k) - (t_2 - t_h)}{2,3 \lg \frac{(t_1 - t_k)}{(t_2 - t_h)}}, \quad ^0\text{C}$$

$t_1, t_2$  – начальная и конечная температуры газа,  $^0\text{C}$ ;

$t_h, t_k$  – начальная и конечная температуры воды,  $^0\text{C}$ .

## 1.9 Лекция № 9

Тема: Рассеивание вредных веществ в атмосфере. Методы, системы и установки подавления выбросов основных отраслей экономики и технологических процессов

### 1. Вопросы лекции:

1. Совершенствование технологических процессов.
2. Распространение в атмосфере выбрасываемых из труб промышленных выбросов.
3. Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания выбросов промышленных предприятий.

4. Распределение концентраций вредных веществ.
5. Производственные здания и сооружения промышленных предприятий.
6. Методы, системы и установки подавления выбросов.

## 2. Краткое содержание вопросов:

Совершенствование технологических процессов, применение высокоеффективных систем газоочистки позволяют в значительной мере уменьшить размеры промышленных выбросов в воздушный бассейн. В то же время полностью уловить пыле- и газообразные примеси в отходящих газах практически невозможно, и выделение в атмосферу некоторой части вредных веществ пока еще неизбежно. Для того чтобы концентрация вредного вещества в приземном слое атмосферы не превышала предельно допустимую максимальную разовую концентрацию, пылегазовые выбросы подвергаются рассеиванию в атмосфере через высотные трубы.

Распространение в атмосфере выбрасываемых из труб промышленных выбросов подчиняется законам турбулентной диффузии. На процесс рассеивания выбросов существенное влияние оказывают состояние атмосферы, расположение предприятий, характер местности, физические свойства выбросов, высота трубы, диаметр устья и др. Горизонтальное перемещение примесей определяется в основном скоростью ветра, а вертикальное - распределением температур в вертикальном направлении.

На рис. 41 показано распределение концентрации вредных веществ в атмосфере над факелом организованного высокого источника выброса. По мере удаления от трубы в направлении распространения промышленных выбросов концентрация вредностей в приземном слое атмосферы сначала нарастает, достигает максимума и затем медленно убывает, что позволяет говорить о наличии трех зон неодинакового загрязнения атмосферы: зона переброса факела выбросов, характеризующаяся относительно невысоким содержанием вредных веществ в приземном слое атмосферы; зона задымления - зона максимального содержания вредных веществ и зона постепенного снижения уровня загрязнения.

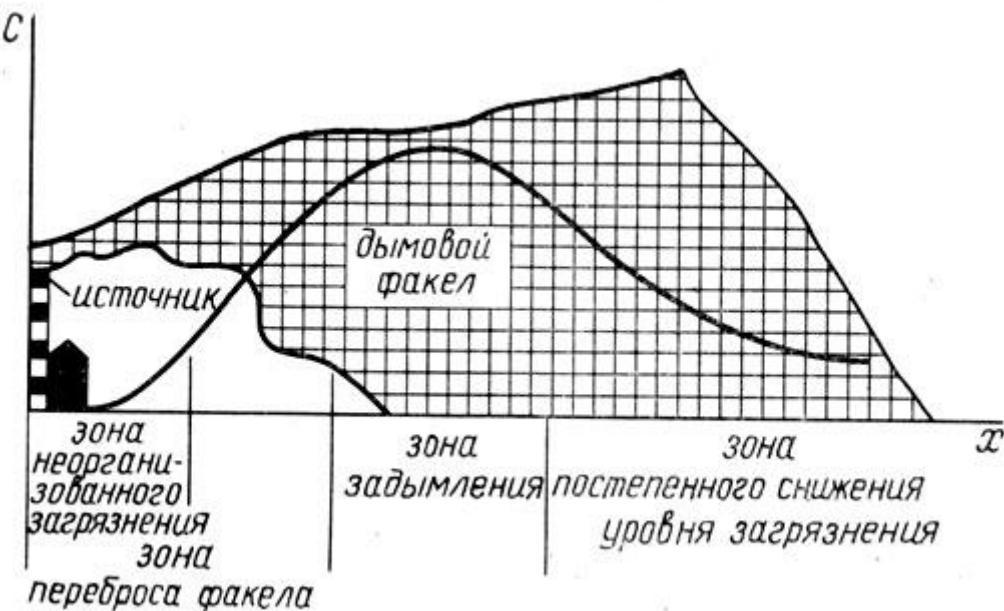


Рис. 41. Распределение концентрации вредных веществ в атмосфере от организованного высокого источника выброса

Основным документом, регламентирующим расчет рассеивания выбросов промышленных предприятий в атмосфере и определение приземных концентраций вредных веществ, являются «Указания по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. СН 369-74». В основу методики указаний положено то, что величина наибольшей концентрации каждого вредного вещества в приземном слое атмосферы не должна превышать максимальную разовую предельно допустимую концентрацию данного вредного вещества в атмосферном воздухе.

При одновременном присутствии в атмосферном воздухе нескольких веществ, обладающих аддитивными свойствами, должно выполняться условие (1) для каждой точки местности.

Согласно действующей методике минимальная высота  $H_{min}$  одноствольной трубы для рассеивания газовоздушных выбросов, имеющих температуру выше температуры окружающего воздуха, определяется по формуле

$$H_{min} = \sqrt{AMk_F m n / \Pi \Delta K} \cdot \sqrt{1/Q \Delta T},$$

где А - коэффициент, зависящий от температурного градиента атмосферы и определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредностей. В зависимости от метеорологических условий для субтропической зоны Средней Азии А=240; для Казахстана, Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии, Сибири, Дальнего Востока и остальных районов Средней Азии - 200; Севера и Северо-Запада европейской территории СССР, Среднего Поволжья, Урала и Украины - 160; Центральной части европейской территории СССР - 120; М - количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с; Q - объемный расход газовоздушной смеси, выбрасываемой из всех труб, м<sup>3</sup>/с; k<sub>F</sub> - коэффициент, учитывающий скорость оседания взвешенных частиц выброса в атмосфере. Для газов k<sub>F</sub>=1, для пыли при эффективности очистки газоочистной установки более 0,90-2,5 и менее 0,75-3; ΔТ -

разность температур выбрасываемой газовоздушной смеси и окружающего атмосферного воздуха. Температуру окружающего воздуха принимают по средней температуре самого жаркого месяца в 13 часов;  $m$  и  $n$  - безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса.

Величина безразмерного коэффициента  $m$  определяется по графику (рис. 42) в зависимости от параметра:

$$f = 10^2 \omega_r^2 D / H_{\min}^2 \Delta T,$$

где  $\omega_r$  - средняя скорость выхода газов из устья источника, м/с;  $D = 1,13 \sqrt{Q/\omega_r}$  - диаметр устья источника выбросов, м.

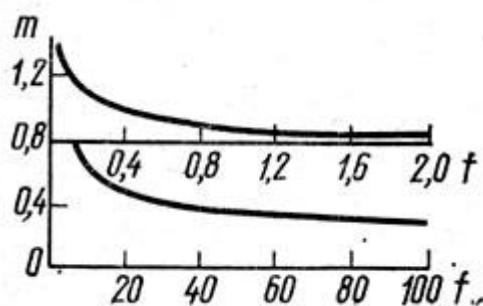


Рис. 42. Зависимость коэффициента  $m$  от параметра  $f$

Величина безразмерного коэффициента  $n$  определяется в зависимости от величины  $v_m$ , м/с:

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{Q \Delta T / H_{\min}}$$

$$v_m \leq 0,3 \Rightarrow n = 3,0; v_m > 2 \Rightarrow n = 1,0;$$

$$0,3 < v_m \leq 2,0 \Rightarrow n = 3 - \sqrt[3]{(v_m - 0,3)(4,36 - v_m)}$$

Максимальная концентрация вредных веществ у земной поверхности достигается на оси факела выброса (по направлению среднего за рассматриваемый период ветра) на расстоянии  $x_m$  от источника выброса и не должна превышать максимальную разовую концентрацию данного вещества в атмосфере:

$$C_m = A M k_F m n / H^{2/3} \sqrt{Q \Delta T} \leq ПДК.$$

Если коэффициент, учитывающий скорость оседания взвешенных частиц выброса в атмосфере  $k_F < 2$ , то  $x_m / k_F \geq 2$ , то  $x_m = 5 - k_F / 4 k_d H$ . Значение безразмерного параметра  $k_d$  находится по номограмме (СН 369-74) либо расчетным путем:

$$v_m \leq 2 k_d = 4,95 v_m (1 + 0,28 \sqrt[3]{f});$$

$$v_m > 2 k_d = 7,0 \sqrt{v_m} (1 + 0,28 \sqrt[3]{f}).$$

Распределение концентраций вредных веществ в приземном слое атмосферы по оси факела на различных расстояниях  $x$  от источника выброса находят по формуле

$C_x = S_1 C_m$ . Безразмерная величина  $S_1$  зависит от отношения  $x/x_m$  (рис. 43). При  $x/x_m > 8$  величина  $S_1$  зависит от скорости оседания взвешенных частиц выбросов.

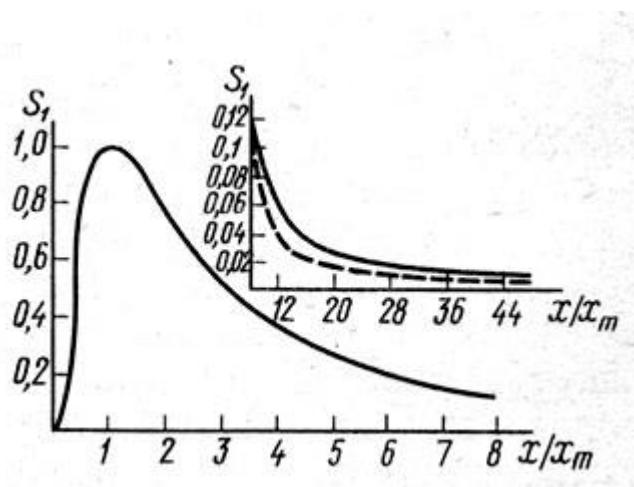


Рис. 43. Зависимость безразмерной величины  $S_1$  от  $x/x_m$ : для аэрозолей  $kF > 2,0$ ; для газообразных выбросов  $kF = 1,0$

Приземная концентрация вредных веществ в атмосфере  $C_y$  на расстоянии  $y$  от поверхности земли определяется по формуле  $C_y = S_2 C_x$ . Безразмерная величина  $S_2$  зависит от скорости ветра  $\omega_m$ , м/с, расстояния от источника выброса и высоты над поверхностью земли:

$$S_2 = [1 + 8,4\omega_m(y/x)^2]^{-1,0} [1 + 28,2\omega_m^2(y/x)^4]^{-1,0}$$

Для выброса холодной газовоздушной смеси (температура выбрасываемых газов близка температуре окружающего воздуха) через одиночную трубу с круглым сечением устья минимальная высота трубы

$$H_{min} = \sqrt[4]{AMk_{Fn}/\Pi K D} D/8Q)^3$$

Более подробные сведения по расчетам рассеивания вредных веществ в атмосферу, облегчающие проведение расчетов, приведены в указаниях СН 369-74. Видное место в системе мероприятий по охране атмосферного воздуха занимают планировочные мероприятия, позволяющие при постоянстве валовых выбросов существенно снизить воздействие загрязнения окружающей среды на человека. Особое внимание следует уделять выбору площадки для промышленного предприятия и взаимному расположению производственных зданий и жилых массивов. Площадки для строительства промышленных предприятий и жилых массивов должны выбираться с учетом аэроклиматической характеристики и рельефа местности. Промышленное предприятие должно быть расположено на ровном возвышенном месте, хорошо продуваемом ветрами. Площадка жилой застройки не должна быть выше площадки предприятия, в противном случае преимущество высоких труб для рассеивания промышленных выбросов практически сводится на нет. Взаимное расположение предприятий и населенных пунктов определяется по средней розе ветров теплого периода года. Для данной местности промышленные предприятия, являющиеся источниками выделения вредных веществ в окружающую среду, располагаются за чертой населенных пунктов и с подветренной стороны от жилых массивов, чтобы выбросы уносились в сторону от жилых кварталов.

Производственные здания и сооружения промышленных предприятий обычно размещают по ходу производственного процесса. Вместе с тем цехи, выделяющие наибольшее количество вредных веществ, следует располагать на краю производственной территории со стороны, противоположной жилому массиву. Кроме того, взаимное расположение цехов должно быть таким, чтобы при направлении ветров в сторону жилых кварталов их выбросы не объединялись.

Требованиями «Санитарных норм проектирования промышленных предприятий СН 245-71» предусмотрено, что предприятия, являющиеся источниками выделения в окружающую среду вредных и неприятно пахнущих веществ, следует отделить от жилой застройки санитарно-защитными зонами. Размеры санитарно-защитной зоны до границы жилой застройки устанавливаются в зависимости от мощности предприятия, условий осуществления технологического процесса, характера и количества выделяемых в окружающую среду вредных и неприятно пахнущих веществ. В соответствии с классификацией промышленных предприятий в зависимости от выделяемых вредностей установлено пять величин санитарно-защитных зон, м: для предприятий I класса - 1000; II класса - 500; III класса - 300; IV класса - 100; V класса - 50.

Предприятия с технологическими процессами, не выделяющими в атмосферу вредных веществ, допускается размещать в пределах жилых районов. Машиностроительные предприятия по степени воздействия на окружающую среду в основном относятся к IV и V классам.

При наличии неблагоприятных аэробиологических условий для рассеивания производственных выбросов в атмосфере, при отсутствии или недостаточной эффективности очистных устройств предприятия санитарно-защитная зона может быть увеличена, но не более чем в 3 раза по совместному решению Главного санитарно-эпидемиологического управления Минздрава СССР и Госстроя СССР.

Размеры санитарно-защитной зоны могут быть уменьшены при изменении технологии, совершенствовании технологического процесса и внедрении высокоэффективных и надежных в эксплуатации очистных устройств.

Санитарно-защитная зона не может рассматриваться как резервная территория предприятия и использоваться для расширения промышленной площадки. Вместе с тем на территории санитарно-защитной зоны допускается размещать производства более низкого класса вредности, чем основное производство, для которого установлена эта зона, а также пожарные депо, гаражи, склады, административные здания, научно-исследовательские лаборатории, стоянки транспорта и т. п.

Для максимального ослабления влияния на окружающее население производственных загрязнений атмосферного воздуха территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена. Озеленение производится газоустойчивыми породами деревьев и кустарников. Со стороны жилого массива ширина полосы древесно-кустарниковых насаждений должна быть не менее 50 м, а при ширине зоны до 100 м - не менее 20 м.

## 1.10 Лекция № 10

Тема: Классификация методов и аппаратов защиты гидросферы, их основные характеристики

### 1. Вопросы лекции:

1. Устройства очистки от нерастворимых и растворимых загрязнений, классификация методов и аппаратов очистки воды.
2. Эффективность очистки, гидравлическое сопротивление, эксплуатационные и энергетические показатели.
3. Рациональное использование водных ресурсов, меры по предотвращению их истощения и загрязнения.

### 2. Краткое содержание вопросов:

Термин «охрана природы» получил широкое распространение после 1-го Международного съезда по охране природы, прошедшего в 1913 г. в Швейцарии. В конце XIX - начале XX вв., когда воздействие человека на природу носило еще локальный характер, под охраной природы понимали сохранение отдельных оскудевающих природных объектов путем изъятия их из хозяйственного пользования. В соответствии с этим она сводилась в основном к созданию заповедников, резерватов, национальных парков, запрету добычи редких животных, охране памятников природы и т. д. Позднее, с расширением масштабов и глубины воздействия человеческого общества на природу, указанных локальных мер по охране природы стало недостаточно. Под охраной природы стали понимать не только сохранение некоторых объектов, но и охрану, рациональное использование всех природных ресурсов и окружающей природной среды в целом, иначе говоря, всей биосферы.

Затем вместо термина «охрана природы» стали широко применять термин «охрана окружающей природной среды». Вопросы терминологии специально рассматривались на 1-й Европейской рабочей конференции по природоохранительному просвещению (Швейцария, 1971), где было признано, что эти два понятия - синонимы.

Устройства очистки от нерастворимых и растворимых загрязнений, классификация методов и аппаратов очистки воды.

Природные ресурсы - это компоненты и свойства природной среды, которые используются или могут быть использованы для удовлетворения разнообразных физических и духовных потребностей человеческого общества. Природные ресурсы делятся на различные категории в зависимости от места, занимаемого ими в биосфере Земли, ограниченности и способности к восстановлению, возможности замены при использовании, многоократности потребления, видового и качественного состава, целей использования и иных признаков.

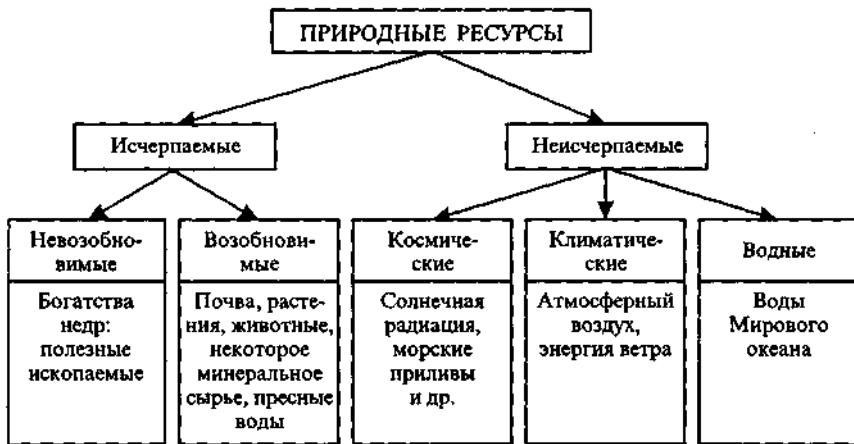


Схема 2. Классификация природных ресурсов

Водные запасы на Земле огромны, они образуют гидросферу одну из мощных сфер нашей планеты. Вода находится также в литосфере и атмосфере. Гидросфера объединяет Мировой океан, моря, реки и озера, болота, пруды, водохранилища, полярные льды и горные ледники, подземные воды, почвенную влагу и пары атмосферы. Водные ресурсы слагаются из статических (вековых) запасов и возобновляемых ресурсов.

Вода - химическое соединение водорода и кислорода ( $H_2O$ ) - жидкость без запаха, вкуса, цвета (в толстых слоях голубоватая); плотностью 1,000 г/см<sup>3</sup> при температуре 3,98 °C. При 0 °C вода превращается в лед, при 100°C - в пар. Молекулярная масса воды 18,0153. По В.И. Вернадскому, химический состав воды может быть представлен формулой  $H_2O$  со значением π, равным 1-6. Не все молекулы воды одинаковы: наряду с обычными молекулами, имеющими массу 18, присутствуют молекулы с молекулярной массой 19,20,21 и даже 22.

Вода - уникальное вещество по своим физическим и химическим свойствам. Полярность молекул и наличие между ними «водородных» связей определяет уникальные свойства воды. Наибольшая плотность воды при температуре 3,98°C, при дальнейшем охлаждении вода переходит в лед, что сопровождается уменьшением ее плотности. Уменьшение объема вместо расширения происходит при плавлении (таянии) льда. Летучесть воды небольшая.

В жидком состоянии вода составляет гидросферу, наполняя океаны, моря, озера, реки, болота, пруды и водохранилища. В твердом состоянии, в виде льда и снега она находится у полюсов планеты, на горных вершинах, зимой покрывает значительные площади водоемов и суши. В горных породах литосферы она присутствует в различных состояниях: пленочная, гигроскопическая, гравитационная, капиллярная, кристаллизационная, а также в виде пара. Запасы воды на Земле приведены в табл. 1.

Таблица 2

Суммарные мировые запасы воды

Наибольшие запасы поверхностных вод сконцентрированы в Мировом океане, который занимает 361 млн км<sup>3</sup>, или 70,8% поверхности Земли.

Части гидросферы	По М. И. Львовичу, 1969, 1974		По Р. К. Клиге, 1998	
	Объем, тыс. км <sup>3</sup>	% к объему	Объем, тыс. км <sup>3</sup>	% к объему
Мировой океан	1 370 323	93,9300	1 476 000	94,32
Подземные воды	60 000	4,1200	60 000	3,83
Ледники	24 000	1,6500	30 000	1,92
Озера, болота	230	0,0160	290	0,02
Почвенная влага	75	0,0050	16	0,001
Влага атмосферы	14	0,0010	14	0,0008
Речные воды	1,2	0,0001	2	0,0001
Вся гидросфера	1 454 643,2	100	1 566 322	100

Пресные воды составляют ничтожную (около 2% гидросферы) долю от общих запасов воды в природе. Пресная вода, доступная для использования, находится в реках, озерах и подземных водах.

Ее доля от всей гидросферы составляет 0,3%- Ресурсы пресной воды распределены крайне неравномерно, часто обилие воды не совпадает с районами повышенной хозяйственной деятельности. В этой связи возникают проблемы недостатка и истощения водных ресурсов и особенно пресной воды. Она усугубляется все возрастающими объемами ее использования.

Проблема истощения водных ресурсов возникает по некоторым причинам, главные из которых: неравномерное распределение воды во времени и пространстве, рост ее потребления человечеством, потери воды при транспортировке и использовании, ухудшение качества воды и как крайний случай - ее загрязнение.

Основные антропогенные причины истощения и загрязнения пресной воды - это отбор поверхностных и подземных вод; водоотлив из шахт, штолен; разработка месторождений твердых полезных ископаемых, нефти и газа, промышленных вод, выплавка серы; урбанизация: жилая застройка, энергетические объекты (АЭС, ТЭЦ). Сильно загрязняют пресные воды предприятия промышленности: химической, пищевой, целлюлозно-бумажной, черной и цветной металлургии, нефтеперерабатывающей, строительных материалов, машиностроительной.

Рост потребления пресной воды населением на планете определяется в 0,5 - 2 % в год. В начале XXI столетия общий водоотбор достиг объема в 12-24 тыс. км<sup>3</sup>. Потери пресной воды увеличиваются с ростом ее потребления на душу населения и связаны с использованием воды для хозяйственных нужд. Чаще всего это объясняется несовершенством технологии промышленного, сельскохозяйственного производства и коммунальных служб. Потери воды из водонесущих коммуникаций в городах России - 30-35%. В городах областного значения они составляют примерно 10-15 млн т в год и удваиваются через каждые 5 лет. Большие потери пресной воды происходят при

разработке месторождений полезных ископаемых, при строительном осушении городских территорий.

### Основные загрязняющие вещества и поставщики загрязнений

В настоящее время известно более 2000 веществ, загрязняющих водоемы. Основными загрязняющими и наиболее токсичными веществами являются нефть и нефтепродукты. Они попадают в поверхностные и подземные воды в результате аварий, при добыче, переработке и транспортировке нефти и ее производных продуктов. Все большую опасность начинают представлять поверхностно активные вещества, в том числе синтетические моющие средства (СМС). Широкое применение этих соединений в быту и промышленности приводит к увеличению их концентрации в сточных водах. Опасными загрязнителями являются соли тяжелых металлов: свинца, железа, меди, ртути и др. Они попадают в поверхностные и подземные воды как непосредственно с промышленных предприятий, так и через их сточные воды и твердые бытовые отходы в местах их захоронения и складирования.

Сельскохозяйственное производство поставляет такие загрязняющие вещества, как пестициды, минеральные и органические удобрения. Опасными загрязнителями являются радиоактивные и биологически активные вещества.

Поверхностные воды озер, прудов, водохранилищ, рек в наибольшей степени подвержены загрязнению и ущербу. По данным Государственного доклада «О состоянии окружающей среды Российской Федерации» (1999), в поверхностные воды России сбрасывается (тыс. т в год): нефтепродуктов - 39,4, фосфора - 60, фенола - 0,22, ПАВ - 8,9, соединений меди - 0,9, железа - 51,2, цинка - 1,6. Общий объем сточных вод, сброшенных в поверхностные воды, за последнее десятилетие в среднем за год составляет 50-60 км<sup>3</sup>. Нефтепродукты, фенолы, легко окисляемые органические вещества, соединения металлов, аммонийный и нитритный азот, а также специфические вредные вещества: лигнин, ксантогенаты, формальдегид и др. являются самыми распространенными инородными веществами в поверхностных водах.

Причинами ухудшения качества и загрязнения подземных вод является деятельность предприятий промышленности (37%), сельского (16%) и жилищно-коммунального хозяйства (10%), совместное воздействие различных объектов (9%), а также подтягивание некондиционных природных вод при нарушении режима эксплуатации водозаборов (13 %). Основными веществами, которые ухудшают качество и загрязняют подземные воды, являются: сульфаты, хлориды, соединения азота (нитраты, нитриты, аммиак, или аммоний), нефтепродукты, фенолы, соединения железа и других тяжелых металлов (меди, цинка, свинца, кадмия, никеля, ртути). Для 28% выявленных очагов загрязнения подземных вод содержание указанных выше веществ изменяется в пределах 10-100 ПДК, у 12% в 100 раз превышает ПДК.

Источниками загрязнения подземных вод являются отходы и выбросы различных объектов хозяйственной деятельности человека: предприятий легкой и пищевой, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности, складируемые или

захороняемые промышленные и коммунальные отходы, выбросы автотранспорта, отходы сельского хозяйства и животноводческих комплексов, месторождений полезных ископаемых, где из недр извлекают вещества, отсутствующие в окружающей среде. Поставщиками загрязняющих веществ являются места хранения, захоронения и уничтожения химического и бактериологического оружия.

Степень и характер загрязнения природных вод определяют по показателям загрязнения, среди которых различают: физические (степень мутности, запах); химические (рН, растворенный  $O_2$ , биохимическая потребность в кислороде (БПК), химическая потребность в кислороде (ХПК), окисляемость, количество аммонийного азота); бактериологические (титр кишечной палочки и наличие патогенных микроорганизмов), гидробиологические (видовой состав гидробионтов: соотношение сапробных и олигосапробных организмов) и т. д. С помощью гидробионтов главным образом определяют зараженность бактериями, например кишечной палочкой, и другими микроорганизмами, растущими на нефти; проводят санитарно-химические анализы (БПК и ХПК).

Для определения степени загрязнения воды, предназначенной для питьевых целей, используется количественный показатель - предельно допустимые концентрации (ПДК). Под ПДК понимается максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченного времени не вызывает каких-либо болезненных изменений в организме и неблагоприятных наследственных изменений у потомства. ПДК устанавливаются законодательно для каждого вредного вещества. Особенно строгие ПДК предъявляются к воде, предназначенной для питьевых целей.

Требования к качеству питьевых вод содержатся в утвержденных нормативах предельно допустимых концентраций веществ в воде, стандартах качества воды, изложенных в ГОСТах, технических условиях, стандартах, требованиях:

- ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством»;
- «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения» (СанПиН 4630-88);
- Санитарные правила и нормы «Требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников» (СанПиН 2.1.4.544-96);
- Санитарные правила и нормы «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (СанПиН 2.1.4.559-96).

Рекомендуемые предельно допустимые концентрации компонентов в питьевых водах согласно санитарным правилам и нормам (СанПиН) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) приведены в табл. 2.

*Таблица 2*

**Предельно допустимые концентрации компонентов в питьевых водах (мг/л)**

	Показатель	СанПИН 2.1.4.559-96	ВОЗ, 1994 г/п
1	Минерализация	1000	1000
2	Кислотность (рН)	6-9	-
3	Жесткость общая, ммоль/л	7	-
4	Щелочность (HCO <sub>3</sub> ),ммоль/л	-	-
5	Хлориды	350	250
6	Сульфаты	500	250
7	Кальций	-	-
8	Магний	200	200
9	Натрий	45	50
10	Нитраты	3	3
11	Нитриты	-	1,5
12	Аммоний	0,5	0,2
13	Алюминий	0,1	0,7
14	Барий	0,0002	
15	Бериллий	0,5	0,3
16	Бор (суммарно)	0,3	0,3

В таблице перечислены основные компоненты, содержание которых регламентируется в питьевых водах. По состоянию на начало 2000 г. этот перечень достигает 1700 названий! Определять содержание всех их технически нереально. В связи с этим разработаны перечни так называемых приоритетных компонентов, определяемых в первую, вторую очередь и т. д. Признаками загрязнения воды считается прежде всего превышение норм для минерализации, жесткости и наиболее распространенных веществ: нитритов, нитратов, железа. Вблизи объектов, где возможно загрязнение другими компонентами, они также подлежат определению. Аналитические методы определения концентрации каждого компонента также устанавливаются ГОСТами.

Для оценки степени загрязнения водоемов, которые размещены у пунктов хозяйствственно-питьевого и культурно-бытового назначения, прежде всего применяется прямое измерение концентрации загрязнителей, например солей тяжелых металлов.

При загрязнении водоемов органическими веществами потребление кислорода для дыхания организмов и окислительных процессов возрастает, поэтому существует метод определения загрязнения воды по биохимической потребности в кислороде - по количеству кислорода, которое поглощается определенным объемом воды за пять суток при температуре 18-20°C.

При бактериологическом анализе определяют количество бактерий в 1 см<sup>3</sup> воды при выращивании колоний на питательных средах в лаборатории.

Загрязнение воды по-разному сказывается на видовом разнообразии водных биоценозов. Одни виды нуждаются в органических веществах, другим они противопоказаны. Около 800 обитателей пресных водоемов очень чувствительны к органическим веществам и служат индикаторами благополучия водных экосистем. Для биологической диагностики степени загрязнения воды используют сообщества сапробных организмов (животных, растений, водорослей, грибов и др.), живущих при разной степени ее загрязнения органическими веществами.

Важнейшими технологическими мерами рационального использования и охраны водных ресурсов являются совершенствование технологий производства, внедрение в практику безотходных технологий. В настоящее время совершенствуется ныне действующая обратная система водоснабжения, или повторное использование воды.

Поскольку избежать полностью загрязнения воды невозможно, применяются биотехнические меры охраны водных ресурсов - принудительная очистка сточных вод от загрязнения. Основные методы очистки - механические, химические и биологические.

При механической очистке сточных вод нерастворимые примеси удаляются с помощью решеток, сит, жиро(масло)ловок и т.д. В отстойниках осаждают тяжелые частицы. Механической очисткой удается освободить воду от нерастворенных примесей на 60-95%.

При химической очистке применяются реагенты, которые переводят растворимые вещества в нерастворимые, связывают их, осаждают и удаляют из сточных вод, которые очищаются еще на 25-95%.

Биологическая очистка проводится двумя способами. Первый осуществляется на специально подготовленных полях фильтрации (орошения) с оборудованными картами, магистральными и распределительными каналами. Очистка происходит естественным способом - путем фильтрации воды через почвогрунты. Органический фильтрат подвергается бактериальному разложению, воздействию кислорода, солнечных лучей и используется в дальнейшем в качестве удобрения. Применяется также каскад прудов-отстойников, в которых естественным путем происходит самоочищение воды. Второй ускоренный способ очищения сточных вод производится с применением специальных биофильтров. Очистка сточных вод осуществляется фильтрацией через пористые материалы (гравий, щебень, песок и керамзит), поверхность которых покрыта пленкой микроорганизмов. Процесс очистки на биофильтрах происходит интенсивнее, чем на полях фильтрации.

В настоящее время практически ни один город не обходится без очистных сооружений, причем в городских условиях применяются все указанные способы в комплексе, что дает хороший эффект.

--Эффективность очистки, гидравлическое сопротивление, эксплуатационные и энергетические показатели.

Для характеристики уровня загрязнения природных вод также используют ПДК, но единицы измерения другие, чем для ПДК веществ в воздухе: если для воздуха ПДК выражают в  $\text{мг}/\text{м}^3$ , то для Природных вод — в  $\text{мг}/\text{л}$ . Значения ПДК, которые можно использовать при решении задач, приведены в табл. 3.

Важной характеристикой загрязнения атмосферного воздуха являются величины предельно-допустимого выброса (ПДВ) — максимальная величина выброса вредных соединений от данного источника в совокупности с другими источниками данного района, которая не создает в приземной зоне таких концентраций вредных веществ, которые превышали бы величины их ПДК.

Таблица 3

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоемов хозяйствственно-питьевого (I тип) и рыбохозяйственного (II тип) водопользования

№ п/п	Вещество	ПДК, $\text{мг}/\text{л}$	
		Водоем	
		I типа	II типа
1	Аммиак	2	0,05
2	Бензол	0,5	0,5
3	Кадмий	0,001	0,005
4	Магний	-	40
5	Мышьяк	0,03	0,01
6	Нефть в виде эмульсии	0,1	0,05
7	Никель	0,1	0,01
8	Свинец	0,03	од
9	Фенолы	0,001	0,001
10	Хлор свободный	0	0
11	Хлорофос	0,05	0
12	Пинк	1	0,05
13	Нитриты, нитраты	10	-
14	Ртуть	0,0005	-
15	Формальдегид	0,01	-
Хром:			
16	трехвалентный	0,5	—
17	шестивалентный	0,1	—
18	Бензин	0,1	-
19	Гексахлоран	0,02	-
20	ДДТ	0,1	—

ПДВ является научно-техническим нормативом. Следует помнить, что разбавление выбросов отходящих газов до уровня ПДК не снижает вредности таких выбросов, потому что в среду попадают все вредные вещества, образующиеся в данном производстве. Выброс вредных веществ можно уменьшить лишь при изменении технологии производства, за счет поглощения вредных веществ в производственном процессе и их утилизации.

Величины предельно допустимого сброса (ПДС) — масса загрязняющего вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению с установленным режимом в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в водоеме.

Важной характеристикой среды является природный фон загрязняющих веществ (например, в природе всегда находится определенное количество  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , оксидов азота, сероводорода, аммиака, радиоактивных веществ и т.д.).

Природным фоном загрязняющих веществ называют естественную концентрацию или степень воздействия природных соединений и факторов на природные экологические процессы, в том числе и на человека.

Как правило, естественный фон не оказывает отрицательного воздействия на организмы, однако возможны явления (эндемии), связанные с пониженным или повышенным содержанием таких веществ (например, эндемический зоб у людей, связанный с недостатком йода в природных водах, или высокий уровень мутагенеза в районах с повышенным уровнем природной радиации).

Характер воздействия человека на природную окружающую среду делает необходимым разработку и осуществление природоохранной деятельности. Одним из средств осуществления природоохранной деятельности является мониторинг природной окружающей среды.

Охрана гидросферы тесно связана с охраной атмосферы и литосферы, так как загрязнения, попадающие в атмосферу и литосферу, могут попадать и в гидросферу за счет растворения или механического смешивания, происходящего при перемещении водных масс в процессе круговорота природных вод.

Вода — важнейший жидкий минерал Земли (Ферсман А.Е.).

Ее использование с каждым годом возрастает во все большей степени. Так, в 2000 г. ее потребление достигло  $7000 \text{ км}^3$ . При этом для потребления необходима экологически чистая вода. Воду применяют в сельском хозяйстве, жилищно-коммунальной сфере и в промышленности. Промышленность потребляет около 32 % воды, используемой человеком на нужды жизнедеятельности и производства. В промышленности вода является и реагентом, и средой для протекания химических превращений, и теплоносителем, и средством транспортировки сырья, продукции и отходов. Поэтому воды, использованные в промышленности, в большинстве своем загрязняются различными газообразными, жидкими, твердыми веществами и становятся сточными.

Сточными называют воды, поступающие в природную окружающую среду после их использования в производственной или бытовой сферах деятельности человека. К сожалению, одним из способов снижения токсичности вод, использованных в промышленности, сельском хозяйстве и жилищно-коммунальной сфере, является разбавление сточных вод. Разбавление не снижает загрязнения природной окружающей среды, а лишь частично рассеивает загрязняющие примеси, уменьшая их местную

концентрацию, которая может локально самопроизвольно увеличиваться и приводить к серьезным нарушениям природных процессов, в том числе и экологических. Однако разбавление сточных вод широко применяется в промышленности. На это тратится огромное количество природной воды, например при разбавлении стоков производства полиэтилена необходимо разбавление производственных вод в 30 раз, а в производстве синтетических волокон — в 200 раз.

В процессе хозяйственной деятельности человека постоянно образуются сточные воды, которые имеют различную классификацию. По условиям возникновения их разделяют на бытовые, промышленные, паводковые, ливневые. Существуют классификации по другим признакам — по концентрации загрязняющих компонентов и т.д.

Для сточных вод, как и для газов, существует два глобальных направления природоохранных мероприятий: очистка сточных вод и создание замкнутых водооборотных циклов. Эти два направления не изолированы друг от друга, а оптимально сочетаются.

Водоочистка от загрязняющих примесей представляет собой Удаление механических, биологических и химических загрязнителей из воды различными способами. Характер водоочистки зависит от того, какая задача поставлена перед этим процессом. Так, Для получения питьевой воды необходима ее очистка не только от Механических примесей, но и от микробов и нежелательных растворенных химических соединений, в то время как для получения технически чистой воды ее нужно освободить от примесей, загрязняющих среду обитания, и тех веществ, которые нежелательны в данном производстве. Особые задачи стоят и при очистке промышленных сточных вод — в этом случае необходимо выделить из них вещества, загрязняющие гидросферу, которые являются отходами производства, а также уловить те вещества, которые могут быть использованы в данном производстве, и утилизировать их.

Различают механическую, химическую, физико-химическую, биохимическую и биологическую очистку сточных вод.

Механическая очистка сточных вод является обязательной составной частью водоочистки и предваряет другие методы очистки. Благодаря ей из вод удаляются нерастворимые примеси, в том числе и те, которые находятся в коллоидном состоянии. Перед механической очисткой в сточные воды добавляют коагулянты (вещества, вызывающие укрупнение коллоидных частиц) и флокулянты (вещества, способствующие процессам флотации, т. е. выделению частиц из смеси за счет сил отталкивания от растворителя с последующим укрупнением). В качестве флокулянтов используют полиэтиленамин и некоторые другие высокомолекулярные вещества, а как коагулянты — сульфаты алюминия, железа(Ш) и др. При выделении укрупненных частиц нерастворимых веществ применяют процессы фильтрования (на различных фильтрах и электрофильтрах), отстаивания (в отстойниках) и центрифугирования (на гидроциклонах и центрифугах — здесь используют действие центробежных сил).

Химическая очистка основана на том, что растворимые примеси вступают в реакции с осадителями или веществами иного действия (окислителями, восстановителями), при этом образуются или нерастворимые вещества, которые потом удаляются механически, или нетоксичные вещества, не приносящие ущерба природе. В качестве осадителей и нейтрализаторов широко применяют известняк, известковое молоко (сuspензия гидроксида кальция) и другие щелочи, окисление активным хлором, кислородом или озоном и т. д. Однако необходимо отметить, что окисление хлором хоть и эффективно, но с экологической точки зрения небезопасно из-за образования экологически опасных хлорорганических соединений.

Физико-химические методы основаны на физико-химических процессах, ионном обмене, на протекании химических процессов под воздействием физических явлений (электролиз, электроагуляция и др.). Наиболее эффективными с экологической точки зрения являются процессы полного удаления примесей из сточных вод (например, полное обессоливание при использовании ионообменных смол, содержащих ионы водорода и гидроксид-ионы ( $\text{OH}^-$ )). При использовании физико-химических методов удаляются стойко-эмульгированные и суспензированные примеси, а также коллоидные и растворенные вещества. Однако эти методы очень дороги и используются в специальных случаях. Биохимические и биологические методы основаны на том, что некоторые микроорганизмы способны использовать загрязняющие вещества как пищу, усвоив которую они очищают сточные воды от таких примесей (это применяется, как правило, для очистки сточных вод от органических и биологических примесей). Различают аэробные и анаэробные разновидности данных методов. Их реализуют в аэротенках и биофильтрах (аэробные методы), либо в особых отстойниках. В результате применения биохимических методов образуется активный ил, который подвергается определенным методам обработки (обезвоживание, уплотнение, термическая обработка и др.), после чего его утилизируют либо в сельском хозяйстве, либо в строительстве.

Биохимические и физико-химические методы, связанные с пол-йным удалением примесей, являются наиболее перспективными, несмотря на их дороговизну и трудности реализации. Существуют сточные воды, которые нельзя очистить указанны-

ми выше методами (их около 3 % от остальных сточных вод). Такие воды подвергают термическому обезвреживанию или закачивают глубокие горизонты (последнее крайне опасно с экологической точки зрения и требует искоренения).

Для конкретного производства используют такие методы, которые позволяют получить воды, соответствующие санитарно-гигиеническим требованиям. Как правило, эти методы применяют комплекс для получения наиболее положительных результатов.

### **Рациональное использование водных ресурсов, меры по предотвращению их истощения и загрязнения**

Масштабы загрязнения и истощения водных ресурсов в настоящее время приняли угрожающий характер. Остро встала проблема нехватки пресной воды в густонаселенных районах, крупных промышленных центрах, в местах орошаемого земледелия. Отсутствие чистой питьевой воды, загрязнение водоемов являются причиной многих заболеваний человека, губительно сказываются на животном и растительном мире Земли. Во многих местах загрязнение пресных вод переходит из разряда локального в региональный.

Рациональное использование и охрана водных ресурсов как составная часть охраны окружающей природной среды представляет собой комплекс мер (технологических, биотехнических, экономических, административных, правовых, международных, просветительских и т. д.), направленных на рациональное использование ресурсов, их сохранение, предупреждение истощения, восстановление природных взаимосвязей, равновесия между деятельностью человека и средой. Важными принципами рационального использования водных ресурсов являются:

- профилактика - предотвращение негативных последствий возможного истощения и загрязнения вод;
- комплексность водоохранных мер - конкретные водоохранные меры должны быть составной частью общей природоохранной программы;
- повсеместность и территориальная дифференцированность охранных мер;
- ориентированность на специфические условия, источники и причины загрязнения;
- научная обоснованность и наличие действенного контроля заэффективностью водоохранных мероприятий.

Рациональное использование поверхностных вод. К поверхностным водам должны применяться в самой жесткой форме все меры рационального их использования. Поверхностные воды являются основным источником питьевых вод, связующим звеном с подземными водами, в них сосредоточены запасы рыбных ресурсов и т. д. Среди мер по регулированию качества и ресурсов поверхностных вод и их рациональному использованию должны доминировать профилактические меры, предотвращающие попадание загрязняющих веществ в водоемы и реки. Это переход на безотходные технологии в промышленности и сельском хозяйстве, жесткая очистка сточных вод.

Мероприятия по рациональному использованию и охране вод морей и Мирового океана заключаются в устраниении причин ухудшения качества и загрязнения вод. Особые меры по предупреждению загрязнения морской воды следует предусматривать при разведке и освоении нефтяных и газовых месторождений на материковых шельфах. Необходимо ввести запрет на захоронение токсичных веществ в океане, сохранять мораторий на испытания ядерного оружия под водой. Следует как можно быстрее ликвидировать последствия аварий и катастроф, при которых в океан попадают токсичные продукты.

Проблема охраны вод Мирового океана является глобальной, она касается всей планеты. Для их рационального использования и охраны морских вод необходимы совместные усилия всех государств мирового сообщества, ООН и ее подразделений. В значительной степени такие меры могут быть успешными при участии государств в международных природоохранных программах, которые предусмотрены международными соглашениями и конвенциями.

Рациональное использование подземных вод. Подземные воды являются наиболее ценным, а в некоторых районах и единственным, источником питьевого водоснабжения. Благодаря естественной защищенности от поверхностного загрязнения они имеют стратегическое значение для крупных городов и промышленных центров как источник чистой питьевой воды при экологических катастрофах. Поэтому очень важно обеспечить их рациональное использование и охрану от истощения и загрязнения.

Мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от истощения и загрязнения подразделяются на профилактические и специальные, общие и конкретные.

К профилактическим мероприятиям относятся следующие:

тщательный выбор места расположения строящегося объекта, при котором антропогенное воздействие на подземные воды будет минимальным;

соответствующее оборудование зон санитарной охраны (ЗСО) и соблюдение режима хозяйственной деятельности в их пределах;

учет степени защищенности при использовании подземных вод;

соблюдение режима эксплуатации, который определен нормативными документами и экспертизой Государственной комиссии по запасам (ГКЗ);

организация и ведение мониторинга подземных вод.

Одной из наиболее важных профилактических мер по рациональному использованию и охране подземных вод является создание зон санитарной охраны. Создание таких зон регламентируется Положением о порядке проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения. Водоохранные зоны состоят из трех поясов, в которых осуществляются специальные мероприятия, исключающие возможность загрязнения подземных вод. Первый пояс водоохранных зон - пояс строгого режима. Он включает территорию водозаборных, водопроводных и водоподводящих сооружений. Границы пояса устанавливаются в виде заграждения на расстоянии не менее 30- 50 м от сооружений в зависимости от степени природной защищенности водоносного горизонта. Для береговых (ин-фильтрационных) водозаборных сооружений в границы первого пояса включается вся территория между рекой и водозаборными сооружениями, но не более 150 м. Здесь запрещаются все виды строительства, не имеющие отношения к эксплуатации водозаборного сооружения, и осуществляются планировка и отвод поверхностного стока, строгий контроль состояния воды и охрана территории. Второй и третий пояса водоохранных зон - пояса ограничений. Они предназначены для защиты подземных вод от микробного (второй) и химического (третий пояс) загрязнений. Площади зон определяются из расчета времени, в течение которого патогенные организмы погибают, а химические загрязнители полностью адсорбируются и нейтрализуются. Во втором и третьем поясах запрещены новое строительство, складирование отходов, размещение предприятий промышленности и сельского хозяйства. Постоянно осуществляется контроль за благоустройством и санитарным состоянием территории.

Специальные мероприятия по рациональному использованию и охране подземных вод от загрязнения направлены на изоляцию источников и очагов загрязнения, перехват загрязненных вод. При истощении вод применяют меры искусственного пополнения и увеличения питания подземных вод. Необходимы: утилизация шахтных и дренажных вод, которые в ряде случаев сбрасываются без применения, уменьшение и запрещение использования пресных вод на технические нужды, бережное расходование воды, уменьшение потерь при ее транспортировке и распределении. Минеральные воды должны использоваться только для лечебных целей.

Таким образом, рациональное использование и охрана как поверхностных, так и подземных вод включают общие (строгое соблюдение законодательных актов, уменьшение промышленных отходов, создание безотходных производств) и специфические меры (многократное использование вод, строительство очистных сооружений, соблюдение правил при разведке подземных вод, строительстве и эксплуатации водозаборов). Важным элементом рационального использования и охраны водных ресурсов планеты является их мониторинг.

## 1.11 Лекция № 11

Тема: Механические методы и средства очистки сточных вод от нерастворимых загрязнений

1. Вопросы лекции:

1. Общая сведения.
2. Отстойники.
3. Гидроциклоны.
4. Фильтры.

2. Краткое содержание вопросов:

**1. Механическая очистка** применяется для выделения из сточной воды нерастворимых минеральных и органических примесей. Назначение механической очистки заключается в подготовке производственных сточных вод при необходимости к биологическому, физико-химическому или другому методу более глубокой очистке.

Механическая очистка состоит: процеживание через решетки, пескоулавливания, отстаивание и фильтрование.

Высокий эффект очистки сточных вод достигается различными способами интемификации ??, гравитационного отстаивания - предаэрацией, биокоагуляцией, осветлением во взвешенном слое (отстойники- осветлители) или в тонком слое (тонкослойные отстойники), а так же с помощью гидроциклонов.

## Схема

I вариант с дроблением отходов и отводом их в канализацию.

II вариант с вывозом отходов в контейнерах на обезвреживание.

1 - камера

2 – решетки механические с отдельными дробилками или решетки дробилки

3- песколовки

4 – водоизмерительное устройство(поток Веншури)

5 – усреднители

6 – отстойники или отстойники осветлители

7 – барабанные сетки и песчаные фильтры (не требующие установки перед ними барабанных сеток)

8. насосная станция

Примечание: При повторном использовании биологически очищенной сточной воды в соответствии с санитарными нормами требуется применять хлорирование.

Решетки – устанавливают на очистных станциях при поступлении на них сточных вод самотеком.

Песколовки – необходимо предусматривать для задержания минеральных частиц крупностью свыше 0,2- 0,25 мм при пропускной способности станции очистки сточных вод более 100 м<sup>3</sup>/сут.

Усреднители предназначаются для регулирования состава и поступления сточных вод на очистные сооружения.

**2.** Выбор типа и конструкции отстойников зависит от количества и состава производственных сточных вод, поступающих на очистку, характеристик образующегося осадка и от местных условий строительной площадки.

Для расчета отстойников необходимо следующие данные:

1. Количество сточных вод  $Q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , по максимальному притоку
- 2 концентрация взвешенных веществ  $C_1$ ,  $\text{мг}/\text{л}$  тяжелых и легких (масла и нефтепродукты) механических примесей.
3. Требуемая степень очистки, или допустимое содержание взвешенных веществ в осветленной воде  $C_{\text{тр}}$   $\text{мг}/\text{л}$  принимаемое в соответствии санитарными нормами или обусловленные технологическими требованиями.
4. Гидравлическая крупность, определяемая по кривым отстаивания  $\mathcal{E} = f(t)$ , которые получены в лаборатории в условиях при высоте слоя отстаивания

$h \geq 200\text{мм}$  или

$$h = (\Delta h_2 - h_1 \geq 200\text{мм})$$

При приведении слоя равным к слою воды в отстойниках пользуются формулой:

$$U = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n}$$

Н- глубина проточной воды в отстойнике, м;

К – коэффициент использования объема в отстойнике

$t_1$  - продолжительность отстаивания в лаб. цилиндре при высоте слоя  $h_1$

$n$  – коэффициент пропорциональности.

$$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2}$$

$h_1 h_2$  – высота слоев отстаивания в лаб. условиях, мм

$t_1 t_2$  - продолжительность отстаивания в соответствующих слоях, при которой достигается требуемый эффект отстаивания, с

### 3. Гидроциклоны

Принципы действия гидроциклонов основан на сепарацию частиц твердой фазы во вращающемся потоке жидкости

К основным принципам преимуществам:

- 1) высокая удельная производительность по обрабатываемой суспензии
- 2) низкие расходы на строительство и эксплуатацию установок
- 3) отсутствие вращающихся механизмов.
- 4) возможность создания автоматизированных установок.

Выбор типа гидроциклонов в каждом конкретном случае следует определить технико-экономическим сравнением вариантов.

Основная расчетная величина открытых гидроциклонов – удельная гидравлическая нагрузка  $q$ ,  $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot u)$

$$q = 3,6 \cdot k \cdot u_0$$

$u_0$  – гидравлическая крупность частиц

$K$  – коэффициент пропорциональности зависит от типа гидроциклона

0,61 – для гидроциклона без внутренних устройств

- 1,98 – для многоярусных циклонов с наклонными выступами

$$K = 1,5n(D^2 - d_2^2)/D^2$$

$n$  – число пар ярусов

$d_2$  – диаметр отверстия средней диафрагмы пары ярусов

Производительность одного аппарата

$$Q = 0,785qD^2$$

В открытых гидроциклонах создаются благоприятные условия для осаждения солей кальция.

## 1.12 Лекция № 12

Тема: Физико – химические методы и средства очистки сточных вод от нерастворимых загрязнений. Физико – химические методы и средства очистки сточных вод от растворимых загрязнений

### 1. Вопросы лекции:

1. Коагуляция.
2. Сорбция.
3. Флотация.
4. Экстракции.
5. Ионный обмен.

## 2. Краткое содержание вопросов:

1. Коагуляция – это слипание частиц коллоидной системы при столкновениях в процессе теплового движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле.

Слипание однородных частиц называется гомокоагуляцией, а разнородных гетерокоагуляцией

Флокуляция – при которой мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии, под влиянием специально добавляемых веществ (флокулянтов) образуют интенсивно оседающие рыхлые хлопьевидных скоплений

Эффективность коагуляционной очистки зависит от:

- вида коллоидных частиц;
- их концентрации и степени дисперсности;
- наличие в сточных водах электролита и других примесей;
- величины электрохимического потенциала.

Рассмотрим коллоидную частицу

Гранула вместе с диффузным слоем называется мицеллой.

- 1) Адсорбционный слой – ионы, непосредственно прилегающие к ядру, образуют слой поверхностно- ядерных ионов.
- 2) Диффузный слой – слой на границе адсорбционного слоя.

Рисунок

Одним из методов потенциала коллоидной системы является увеличение концентрации в воде электролитов.

Минеральные коагулянты:

1. соли алюминия;
  2. известь;
  3. соли магния;
  4. соли железа;
  5. шламовые отходы и отработанные растворы отдельных производств.
1. – воздухоотделитель;
  2. – опускная труба;
  3. – осадкоотводные трубы;
  4. – осадкоуплотнитель;

5,6 – трубопроводы соответственно выпуска осадка и отвода осветленной воды.

Расчетный расход сточной воды

2. Сорбции – это процесс поглощения веществ из окружающей среды твердым телом или жидкостью.

Различают

- абсорбцию поглощении всей массой жидкого сорбента;
- адсорбцию поглощение поверхностным слоем твердого или жидкого сорбента.

Преимущества:

- адсорбции веществ многокомпонентных смесей;
- высокая эффективность очистки;
- извлечение из сточных вод ценных растворенных веществ.

Адсорбция растворенных веществ – результат перехода молекулы растворенного вещества из раствора на поверхность твердого сорбента под действием силового поля поверхности.

Сорбционная установка с последовательным введением сорбента.

- 1, 2 – подача сточной воды и сорбента;
- 3 – резервуары с перемешивающими устройствами;
- 4- отстойники для отделения сточной от сорбента

## 1.13 Лекция № 13

Тема: Биологическая очистка сточных вод

1. Вопросы лекции:

1. Общие понятия.
2. Очистка сточных вод в естественных условиях.
3. Очистка сточных вод в искусственных условиях.

2. Краткое содержание вопросов:

1. Биологическое окисление – широко применяется на практике метод очистки производственных сточных вод, позволяющий очистить их от многих органических примесей.

Биологическое окисление осуществляется сообществом микроорганизмов (биоценозом), включающим множество различных бактерий, простейших и ряд высокоорганизованных – водорослей, грибов и т.д. Механизм биологического окисления в аэробных условиях гетеротрофными бактериями может быть представлены

органические вещества +  $O_2 + N + P$  – микроорганизмы +  $CO_2 + H_2O +$  биологически неокисляемые растворимые вещества.

Оптимальной температурой для аэробных процессов, происходящих в очистных сооружениях, считается  $20^0 - 30^0$  С.

Необходимо также поддержать кислородный режим до 2 г/л.

2.1 Сооружения косвенной очистки различают:

- залив
- залив по бороздам и полосам
- дождевальное подпочвенное орошение

Схема очистных сооружений с малыми полками орошении при круглогодичном приеме сточных вод

Рисунок

- 1- канализ коллектор
  - 2- канализ колодец
  - 3- решетка
  - 4- установка утилизации или обезвреживания отбросов
  - 5- двухяросный отстойник
  - 6- иловые площадки
  - 7- распред. Устройство
  - 8- поле орошения
  - 9- пруды накопители
- Схема очистных сооружений с большими полями орошения

Рисунок

- 1- канализ коллектор
- 2- канализ. колодец
- 3- решетка
- 4- дробилка
- 5- песколовка
- 6- песковые площадки
- 7- отстойник
- 8- метатанки
- 9- иловые площадки

- 10- распределительный колодец
  - 11- поля орошения
  - 12- дренаж
  - 13- биологический пруд
  - 14- подача воды для технических целей
  - 15- выпуск в водоем
- 2.2 Биологические пруды

При глубокой очистке биологически очищенной воды вместимость секции принимают исходя из 1,5-2 – суточного пребывания в ней воды.

Параметр  $\beta$  - характеризует скорость окисления в зависимости от свойств исходной

$$\text{воды } \beta = \frac{1}{1 + 2,3KgV/q}$$

где:  $Kg$  – коэффициент

$V$  - объем ступени

$q$  – суточный расход сточной воды.

### 3.1. Биофильтры

Биофильтр – основной отличительной особенностью является биофильтрующие материалы.

Отсутствует принципиальная разница между б.ф. загруженными шлаком, гравием, керамзитом или пластмассовыми материалами.

При поступлении сточных вод с  $La = 300$  во избежании заиливания поверхности биофильтра предусматривается рециркуляция – возврат очищенной воды для разбавления исходной сточной воды.

Рециркуляция – технологически необходимый прием, без которого нормальная работа биофильтров невозможна.

Рециркуляция приводит к следующим результатам:

- увеличение содержания растворенной  $O_2$  в смеси, подаваемой в биофильтр
- выравнивается концентрация биопленки на высоте сооружения
- поддерживается более равномерная, но увеличенная гидравлическая нагрузка
- выравниваются пики по концентрации загрязнений
- незначительно повышается нагрузка на биофильтры по загрязнениям
- значительно возрастает потребность в объемах отстойников
- значительно увеличивается потребность энергии на воды

### 3.2. Аэротенки

#### Классификации

- по структуре потока- Аэротенки-вытеснители, аэротенки смесители, аэротенки с рассредоточенным выпуском сточной воды
- по способу регенерации ила- аэротенки с отдельно стоящими регенераторами ила, а совмещенные с регенераторами.
- по загрузке на активный ил высокопогруженные, обычные или низкопогруженные
- по числу ступеней- одно, двух - многоступенчатые
- по конструктивным признакам прямоугольные, круглые, комбинированные противоточные, шахтные, фильтротенки, флототенки
- по типу системы аэрации с пневматической, механической, комбинированной, гидродинамической или пневмомеханической

#### Рисунок

#### Расчет аэротенков:

##### 1. Период аэрации в аэротенках $t$ (смеситель)

$$t = \frac{l_a - l_t}{a(1 - S)S}$$

где:  $l_a$   $l_t$  – БПК соответственно очищенной и поступающей сточной воды

$S$  – зональность ила, доли единицы

$S$  – скорость окисления загрязнений, мг

БПК – коли на 1 г беззольного вещества ила в 1 г.

$a$  – количество возвратного ила волях ед. от расхода воды

##### 2. Скорость окисления

$$S = S_{max} \frac{L + C_o}{LtCo + KiCo + KoLi} \left( \frac{1}{1 + \varphi_a} \right)$$

$S_{max}$  – максимальная скорость окисления мг / (2 4), равная для городских сточных вод 86

Kо – константа характеризующая влияние кислорода, мг О<sub>2</sub> /л (0,625)

K<sub>i</sub> – свойства орг. Загрязнений (33)

$\varphi$  - коэффициент ингибиции продуктами расхода активного ила, г/л (0,07)

а – доза или г/л

### 3. Период аэрации

$$t = \frac{1 + \varphi_a}{S_{max} C_o (1 - S)} ((C_o + K_o)(L_a - L_t) + 2,3 K_i C_o \lg \frac{L_a}{L_t}) K_r$$

где: Kr- коэффициент учет. влияние продольной перемешивания

### 4. Количество рециркулирующего ила

$$Q_p = \frac{a Q}{1000 / I - a}$$

Q – средний расход сточных вод м<sup>3</sup>

а- концентрация ила г/л

I – иловый индекс, см<sup>3</sup>/л

(Формула справедлива при I=175 см<sup>3</sup>/л и а ≤ 5 г/л)

### 5. Нагрузка на ил q. Мг/БПК полн. в сутки

$$q = \frac{24(L_a - L_t)}{a(1 - S)t}$$

### 6. Объем аэротенков

$$V = Q \cdot t$$

Q – средний часовой расход воды

t – время аэрации

## 1.14 Лекция № 14

Тема: Обработка осадков сточных вод

### 1. Вопросы лекции:

1. Механическая очистка стоков.
2. Химическая очистка.
3. Биологическая очистка.
4. Анаэробная биохимическая очистка.

## 2. Краткое содержание вопросов:

**Способы переработки отходов.** К настоящему времени разработано достаточное количество способов переработки отходов. Методы очистки (обеззараживания, обезвреживания) отходов применяются с давних пор.

1.С помощью различных остроумных решений осажденный ил удаляется из отстойников и складируется на специальных полигонах или свалках.

2.Очистка с помощью полей орошения, т.е. спуск сточных вод на специально подготовленные поля, где они просачиваются через песчаный грунт, отфильтровываются и осветляются.

3.Химическая очистка сточных вод с помощью разного рода осветлителей (известняк, соли железа и алюминия).

4.После открытия возможности эффективного использования биологического («живого») ила началась разработка современных технологий, основанных на возврате биологического ила в новую порцию сточных вод, а не полное удаление его из процесса.

5.Применение физико-химических методов очистки промышленных сточных вод от конкретных удаляемых веществ:

- 5.1.Нейтрализация опасных компонентов.
- 5.2.Их флоккуляция и осаждение.
- 5.3.Умягчение сточных вод.
- 5.4.Механическая очистка (скребками) и перегонка.
- 5.5.Адсорбция, ионный обмен, экстракция.
- 5.6.Обратный осмос и ультрафильтрация.
- 5.7.Удаление аммиака:

а) биологическими методами (нитрификация);  
б) физико-химическими методами (очистка, ионный обмен, обратный осмос, отгонка с паром).

5.8. Окислительная очистка сточных вод:

- а) сжиганием;
- б) при влажном окислении:

— $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$  (реагент Фентона);  
— $\text{O}_3$  (озонирование).

Основными направлениями переработки осадков сточных вод, донных илов и загрязненных почв к настоящему времени являются:

1. Биологическая обработка осадков и обработка окислением:

- 1.1.Сбраживание осадков в метантенках.
- 1.2.Аэробная стабилизация осадков.

2. Обезвоживание, сушка и сгущение осадков; использование химических реагентов и дополнительных присадочных материалов в этом виде обработки:

- 2.1. Обезвоживание, сушка и сгущение осадков.
- 2.2. Использование химических реагентов.
- 2.3. Использование дополнительных присадочных материалов.

3. Специальные способы обработки осадков:

- 3.1. Термическая обработка осадков.
- 3.2. Замораживание осадков.
- 3.3. Пиролиз осадков.

Технологические схемы очистки сточных вод обеспечивают ускорение разложения устойчивых органических соединений под воздействием микроорганизмов. Поскольку открытые бассейны с биологическим илом (к тому же это источник неприятных запахов) занимают огромные площади, то часто их заменяют вертикальными конструкциями типа башен (резкое уменьшение занимаемой площади, возможность изоляции неприятных запахов, эффективней используется кислород). Замкнутая система обеспечивает более высокую рабочую температуру, что повышает скорость протекания реакций. Биологическая очистка сточных вод возможна только после их разбавления до определенной концентрации (токсичности). На основании модельных исследований выявлено, что ряд органических соединений, а также токсичные соединения тяжелых металлов не разлагаются биологическими методами очистки сточных вод, т.е. они накапливаются в биологическом иле.

Физико-химические методы (рис. 1.2) очистки промышленных сточных вод от конкретных веществ дороже и эффективнее методов коммунальной очистки (рис. 1.3).

Способами удаления ила могут быть закладка в отвалы, термическая обработка (сжигание, пиролиз), внесение в почвы сельскохозяйственного назначения (после обеззараживания ила) или его неиспользование.

Для сгущения и уплотнения взвеси в стоках наиболее простым способом является отстаивание.

Оказалось, что соединения железа, алюминия, хрома, меди, щелочь, имеющиеся в составе промышленных сточных вод, способствуют интенсификации осаждения и обезвоживания осадков, а химический состав, структура частиц, их дисперсность и влагосодержание осадка определяют в значительной мере скорость процесса

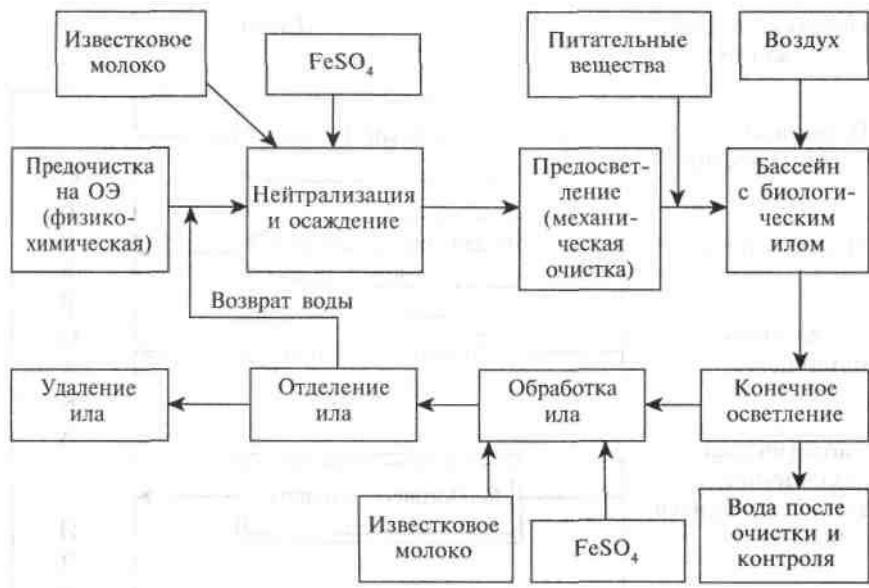


Рис. 1.2. Вариант схемы очистки промышленных сточных вод (предварительная физико-химическая очистка на объекте экономики и биологическая на очистных сооружениях).

(чем больше пористость осадка и его влагосодержание, тем меньше скорость осаждения).

Для ускорения процессов осаждения применяются высокомолекулярные флоккулянты. Коллоидные частицы суспензии осадка имеют отрицательный заряд, т.е. силы электростатического отталкивания препятствуют коагуляции (свертыванию, затвердеванию, разделению коллоидного раствора на две фазы). В качестве примера высокомолекулярных флоккулянтов наиболее широко применяют полиакриламид (ПАА), который способен увеличить скорость осаждения в 20—40 раз.

В ряде случаев целесообразно применять магнитную или электрическую обработку суспензии с целью концентрирования в растворе твердых взвесей для обеспечения улучшения эффективности действия осветлителей.

Эффективным методом доочистки воды может стать озонирование. Метод позволяет эффективно воздействовать на большое количество загрязнителей естественного и искусственного происхождения с одновременным обеззараживанием воды. К свойствам озона можно отнести:

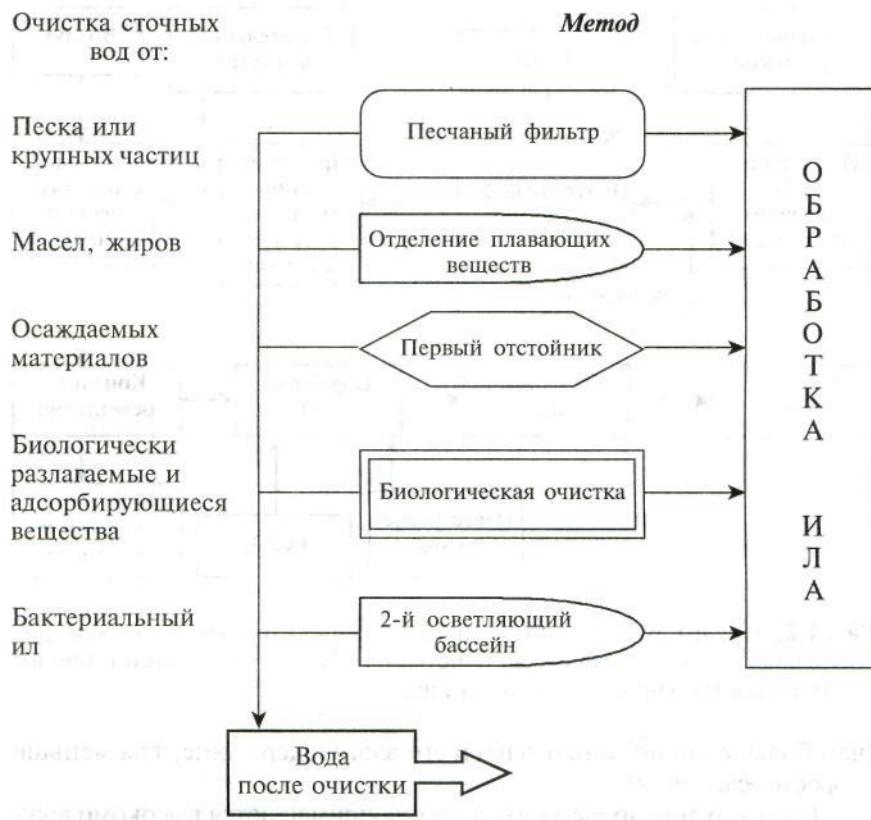


Рис. 1.3. Вариант технологической схемы очистки коммунальных сточных вод.

- ◆ высокую реакционную способность;
- ◆ уменьшает молекулярный вес сложных органических веществ и увеличивает их способность к биологическому разложению;
- ◆ удаляет органические соединения, обладающие запахом и вкусом;
- ◆ улучшает цветность воды;
- ◆ окисляет моющие средства, пестициды, фенолы;
- ◆ окисляет железо, марганец, тяжелые металлы, цианиды, сульфиды;
- ◆ уничтожает бактерии, вирусы, споры микроорганизмов, цисты.

Получение озона можно обеспечить на месте внедрения озонной технологии, что существенно облегчает вопрос доставки традиционно используемых окислителей (хлора и его производных). В европейских странах, США, Японии этот метод достаточно широко используется (в Швейцарии на миллион жителей работает 24 озонаторные установки, а в России — только 0,02).

Озонирование представляет собой процесс абсорбции, сопровождаемый химической реакцией в жидкой фазе (хемосорбция). Эффективность процесса определяется величиной удельной поверхности контакта фаз и значением коэффициента массопередачи, что заставляет применять высокоинтенсивные контактные аппараты, обеспечивающие создание большой и непрерывно обновляющейся межфазовой поверхности.

Для перемешивания озона с водой перспективно использовать явление кавитации (образование пустот в движущейся жидкости) как наиболее экономичного и эффективного способа смешения при использовании 95—99% озона. В зоне кавитации создается глубокий вакуум и сюда за счет самовсасывания подводится озона-воздушная смесь. Поскольку при этом часть жидкости переходит в парообразное состояние, то поверхность контакта фаз при кавитации увеличивается в тысячи раз, так как перемешивание происходит на уровне «газ с газом». Кавитационные аэраторы просты по конструкции, компактны, не требуют глубоких контактных камер.

Примером может стать исследование разрушения фенолов озоном. Превращение фенола в процессе озонирования протекает в последовательности:

Фенолы —> многоатомные фенолы —> хиноны -> гуминовые вещества -> карболовые кислоты —> оксалаты или карбонаты кальция.

При этом продукты глубокого окисления фенолов озоном нетоксичны и некумулятивны. Насколько полно идет процесс превращения фенолов при озонировании, зависит от начальной концентрации фенолов и озона, реакции pH среды, наличия примесей. В процессе разложения фенола озоном сначала происходит распад бензольного кольца при затрате 3 молей озона на 1 моль фенола. Затем начинается прямое окисление с образованием глиоксалевой, уксусной, малеиновой и щавелевой кислот при затрате до 5 молей кислорода (образуется при распаде озона) на 1 моль фенола. Упрощенная технологическая схема процесса представлена на рис. 1.4.

Сточные воды насосом подаются из бассейна в кавитационный смеситель, где происходит их смешение с озона-кислородной смесью, поступающей из озонатора. Затем двухфазный поток через змеевик, обеспечивающий взаимодействие озона со сточными водами, поступает в дегазатор. В нем происходит разделение жидкой и газовой фаз. После этого стоки проходят отстойник и биофильтр.

Исследования по доочистке сточных вод, загрязненных нефтепродуктами, озонированием, показали, что при содержании нефти (40 мг/л), фенолов и других соединений в сточной воде снижалось по нефти до 4 мг/л.

Перспективными считаются разработки технологий очистных сооружений с применением лазерной техники.

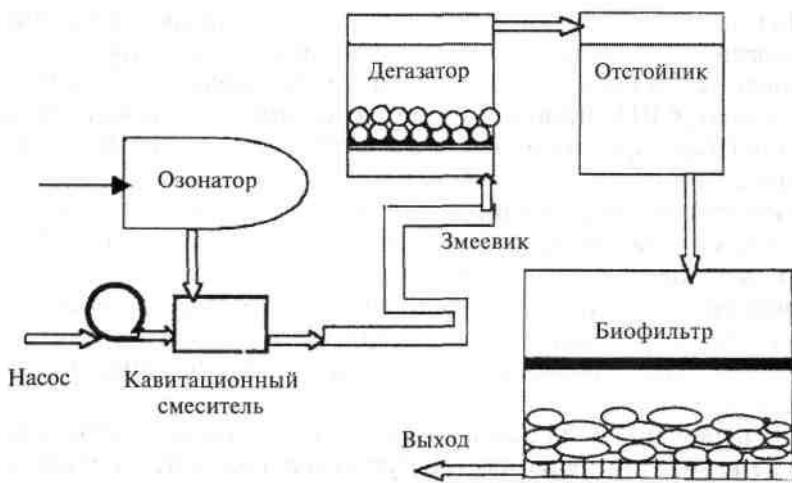


Рис. 1.4. Технологическая схема доочистки сточных вод озонированием.

Наиболее распространенным способом «безопасного» удаления отходов является их складирование в специальных местах (склады, свалки, полигоны). Все они занимают огромные площади, являются источниками пыли, запахов и шума, при этом можно выделить три вида таких хранилищ:

- ◆ отвалы строительного мусора и фунта;
- ◆ свалки (хранилища) бытового мусора;
- ◆ хранилища производственных (специальных) отходов.

Из-за протекающих процессов и реакций в отвалах с органическими компонентами бытовых отходов происходит образование газов (метан, диоксид углерода, азот, сероводород). Газовый состав зависит от длительности хранения и фазы брожения. В хранилищах промышленных отходов микробиологические процессы обычно не наблюдаются из-за значительной концентрации ядовитых веществ (микроорганизмы просто уничтожаются). В хранилищах могут образоваться ядовитые или взрывоопасные газы, что требует принятия соответствующих мер обеспечения безопасности. Если склад (свалка) не обеспечен защитой от осадков, наводнений, грунтовых вод, то из хранящихся веществ вымываются в первую очередь продукты брожения и гниения. Велика опасность загрязнения подземных вод.

Но более предпочтительным является сжигание (термолиз) отходов (в развитых регионах Западной Европы сжигается до 50% всех отходов), что существенно снижает объем отходов, разрушает горючие материалы и органические соединения (шлаки и зола составляют менее 10% исходного объема отходов, а по массе — не более 30%). Но даже при сжигании отходов в специально для этого оборудованных печах нельзя исключить проникновения в ОС вредных веществ, в том числе и вновь образовавшихся. Продукты сжигания мусора (шлаки, зола, дымовые газы) содержат неорганические и органические вещества и поэтому требуют особой переработки, чтобы исключить опасность для ОС.

В дымовых газах при сжигании отходов в специальных печах содержатся пыль и вредные газообразные вещества, вид и количество которых в неочищенных отходящих газах зависит от состава сжигаемых отходов, конструкции топки, условий работы всего сжигающего комплекса (табл. 1.9). Устройства для очистки дымов (электрофильтры, тканевые фильтры, промывные установки) должны -

Таблица 1,9

Предельные концентрации вредных веществ в установках для

сжигания мусора, мг/м<sup>3</sup>

Вредные вещества	Содержание в дымовых газах	
	до очистки	после очистки
Хлороводород HCl	400–11 500	50
Фтороводород HF	2–20	2
Диоксид серы SO <sub>2</sub>	200–800	100
Оксиды азота NO <sub>2</sub>	150–400	500
Моноксид углерода CO	20–600	100
Органические вещества	300–500	20
Пыль	800–15 000	30

В результате очистки сточных вод образуется большое количество осадков, загрязненных токсичными веществами, склонных к загниванию и зараженных патогенными микроорганизмами. Это обуславливает необходимость специальной обработки осадков для последующего их использования.

На станциях аэрации производительностью до 100 000 м<sup>3</sup> сточных вод в сутки выполняется центрифугирование осадков с последующей термической сушкой обезвоженного осадка. На более крупных станциях применяют реагентное обезвоживание осадков на вакуум-фильтрах. В качестве реагентов используют хлорное железо (до 5%) и известь (до 15% от массы сухого вещества). Сушка и прогрев осадков до температуры 70°C обеспечивает снижение влажности до 10% и их санитарное обеззараживание. Для экономии топлива сушку осадка осуществляют до 40% влажности (осадок имеет вид твердого сыпучего незагнивающего обеззараженного продукта).

Содержание основных элементов (в % от сухого вещества) в термически высушенном осадке (ТВО) представлено в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Содержание основных элементов (%) в ТВО

Тип ТВО	Азот	Фосфор	Калий
Из первичных отстойников	1,6–4	0,6–5,2	0,2–0,6
Активный ил	2,4–6,5	2,3–8	0,3–0,4
Смесь из первичных отстойников и активного ила	2–5	1–6	0,2–0,5
Сброшенный осадок	1,7–6	0,9–6,6	0,2–0,5

Осадки городских сточных вод (ОГСВ) образуются в результате переработки промышленных и бытовых стоков, а также стоков ливневой канализации. Они могут быть неорганическими или органическими с примерным распределением: белки (до 80%), жиры (до 20%), углеводы (до 8%). Зольность осадков составляет: лежальных — 50—57%, свежих — 40—47% (при теплоте сгорания сухого осадка до 18 кДж/г).

Способами утилизации ОГСВ могут быть:

◆ применение их в качестве удобрений после нейтрализации токсичных веществ и снижения содержания металлов;

◆ термическая обработка ОГСВ для удаления органики с возможным последующим использованием золы с высоким содержанием (выше 3%) тяжелых металлов в производстве стройматериалов, дорожном строительстве и для других целей, если это экологически безопасно;

◆ захоронение ОГСВ на специальных площадках (иловых картах). На этом этапе целесообразно организовать извлечение тяжелых металлов из отходов. Например, на иловых площадках г. Калуга имеется хрома — до 3000 т, меди — до 1000 т, никеля — 100 т, цинка — 850 т, свинца — до 90 т. Таким образом, их извлечение для повторного использования в стоимостном отношении доходит до 30 млн долл. США (по текущим ценам лондонской биржи, 2000 г.)

Способы утилизации отходов в процессе очистки сточных вод.

Применение различных механических аппаратов (вакуум-фильтров, камерных и ленточных фильтр-прессов, центрифуг и сепараторов) позволяет значительно интенсифицировать, механизировать и автоматизировать процесс обезвоживания осадков. При этом потребная площадь сокращается во много раз. Применение центрифуг позволяет герметизировать процесс, что не допускает распространение зловония. Существенным недостатком центрифуг является быстрый износ шнека абразивными частицами осадка и необходимость поддержания более высокой температуры (на 15°C), чем на фильтрах.

Первой стадией обработки осадков является их уплотнение. Количество отбросов, снимаемое с решеток, зависит от типа решетки и ширины ее прозоров. Для решеток с шириной прозоров 16—20 мм в среднем оно составляет 8 л на человека в год при влажности 80% и объемной массе 750 кг/м<sup>3</sup>. Дробленые отбросы, разбавленные водой (40 м<sup>3</sup> на 1 т), направляются в сточные воды перед решетками или в метантенки, а отбросы с решеток — на свалку или в мусоросжигательную установку. Так же поступают с плавающими примесями порядка 2 л на человека в год при влажности 60% и объемной

массе 0,6 т/м<sup>3</sup>. Тяжелые примеси (песок) из песколовок (до 0,02 л/сут на человека при влажности 60% и объемной массе 1,5 т/м<sup>3</sup>) складируются на площадках песка или накопителей.

Сырые осадки из первичных отстойников отличаются неоднородностью, имеют студенистую сусpenзию серого или светло-коричневого цвета с кисловатым запахом. Из-за большого количества органических веществ они быстро загнивают, приобретая темно-серый и даже черный цвет, распространяя неприятный кислый запах. Средняя влажность осадка, выгружаемого из первичных отстойников, составляет 95% (при самотечном удалении) и 93,8% (при удалении плунжерным насосом).

Уплотнение может осуществляться гравитационным методом в илоуплотнителях (активного ила) путем флотации или механическим разделением фаз на сепараторах. Это обеспечивает уменьшение объема избыточного активного ила, помещений и затрат электроэнергии. Для сохранения объема уплотнителей и продолжительности уплотнения применяют модули с тонкослойным осаждением; с медленным перемешиванием; прогревом; добавлением химических реагентов; совместное уплотнение с осадком первичных отстойников.

Уплотнение активного ила приводит к резкому возрастанию его удельного сопротивления вследствие увеличения количества связанной воды при повышении концентрации активного ила. Удельным сопротивлением характеризуется фильтруемость сусpenзий, оно является определяющим параметром их водоотдачи. Удельное сопротивление осадка — это сопротивление единицы массы твердой фазы, отлагающейся на единице площади фильтра при фильтровании под постоянным давлением сусpenзии, вязкость жидкой фазы которой равна 1,0. Наиболее резко удельное сопротивление возрастает при концентрации активного ила более 20 г/л (в илоуплотнителях вертикального типа) за 17 ч или 30 г/л (в илоуплотнителях радиального типа, оборудованных илоскребками) за 12 ч. Лучшее уплотнение активного ила во втором случае объясняется перемешиванием активного ила в процессе уплотнения и меньшей высотой по сравнению с вертикальными. Перемешивание снижает вязкость активного ила и его электрокинетический потенциал, что способствует лучшему хлопьеобразованию и осаждению ила. Степень уплотнения зависит не только от типа уплотнителя, но и от состава активного ила, сточных вод, степени очистки, условий подготовки ила.

Флотационное уплотнение активного ила позволяет предотвратить его загнивание, сократить продолжительность уплотнения и объемы помещений. Наилучшего эффекта можно достичь при применении напорной флотации с использованием рабочей жидкости. Насыщение рабочей жидкости воздухом осуществляется в напорном баке под давлением до 0,8 МПа в течение 2—6 мин с целесообразным одновременным перемешиванием (циркуляционным насосом).

Флотатор для уплотнения избыточного активного ила представляет собой резервуар в виде цилиндра диаметром до 12 м и глубиной до 3 м. В его верхней части установлена концентрическая (не достигающая дна) перегородка, которая разделяет резервуар на флотационную (рабочую) и отстойную зоны. Избыточный активный ил подается сверху, а рабочая жидкость поступает снизу (навстречу) по перфорированным

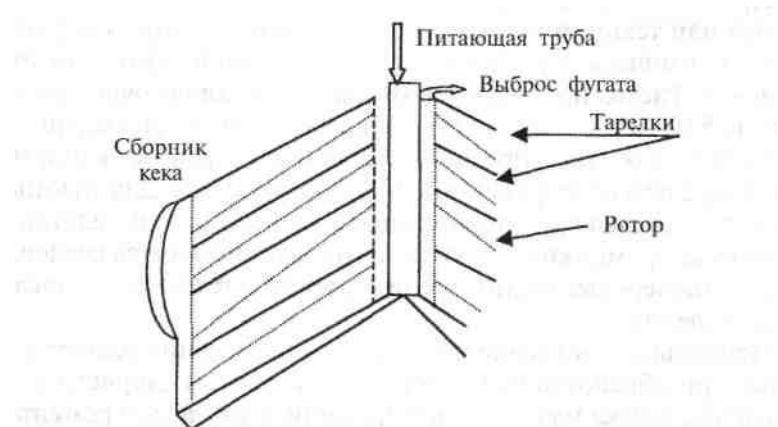
радиальным трубам. Продолжительность пребывания этой образовавшейся смеси в рабочей зоне составляет 40—60 мин. Насыщенный пузырьками воздуха активный ил всплывает и удаляется в желоб специальными скребками. В нижней части флотатора (зоне осаждения) скапливаются крупные частицы и частицы с удельным весом более 1,0, которые удаляются под гидростатическим давлением. При удельном расходе воздуха 15 л/кг сухого вещества активного ила концентрация уплотненного ила достигает 50 кг/м<sup>3</sup> при содержании взвешенных веществ в удаляемой жидкости до 60 мг/л.

Иногда уплотнение избыточного активного ила выполняют совместно с осадком первичных отстойников.

Рис. 4.3. Принцип действия жидкостного сепаратора. первичных отстойников. При этом достигается снижение влажности смеси.

Для сгущения осадков сточных вод нашли применение безнапорные вибрационные фильтры, представляющие собой наклонно установленную жесткую вибрирующую перфорированную перегородку (металлическую сетку), через которую фильтруются сгущаемые осадки. При частоте вибрации 30—50 Гц, ускорении 8—10 g, и амплитуде 0,6—0,8 мм активный ил сгущается до влажности 93—97%, а его смесь с осадком первичных отстойников — до 86—88% при выносе с фильтратом 5—30% сухого вещества.

Сепараторы применяются для сгущения активного ила и фугата, получаемого при обезвоживании осадков на шнековых центрифугах. Гарельчатые сепараторы имеют высокую степень разделения и дают относительно чистый фугат. Но чтобы межтарелочные пространства не забивались частицами крупнее 0,6 мм, перед ними устанавливаются сита или барабанные сетки. Рабочий орган жидкостных сепараторов с тарельчатыми вставками упрощенно можно представить в виде, указанном на рис. 4.3.



Принцип действий указанного сепаратора основан на том, что взвешенные в сепарируемой жидкости частицы в межтарелочном пространстве подвергаются действию

двух сил: одна направлена по радиусу к периферии ротора, а другая — к центру. В результате частицы осаждаются на внутренней поверхности пакета тарелок. Образующийся кек сдвигается центробежной силой к периферии ротора, где либо накапливается в специальном сборнике, откуда периодически выгружается, либо выгружается непрерывно через сопла. Осветленная жидкость (фугат) выдавливается к оси вращения сепаратора и выводится через специальную трубу. Высокая скорость вращения роторов обеспечивает выделение за счет центростремительной силы частицы диаметром менее 1 мкм при разности плотностей жидкой и твердой фаз более 3%. Следовательно, тонкослойное разделение суспензий на жидкостных сепараторах устраниет основной недостаток центрифуг: большой вынос взвешенных веществ с фугатом.

Уменьшение количества сухого вещества осадков на 20—30% при обеспечении их незагазованности и частичное обеззараживание осуществляется путем анаэробного сбраживания в метантенках или аэробной минерализации в сооружениях типа аэротенков.

Установки аэробной стабилизации проще анаэробных как конструктивно, так и в эксплуатации. Аэробная стабилизация осуществляется в открытых сооружениях типа аэротенков и ее эффективность зависит от продолжительности процесса, интенсивности аэрации, температуры, состава и свойств обрабатываемого осадка.

Промывка аэробно сброженных осадков очищенной сточной жидкостью или технической водой производится с целью сокращения расхода химических реагентов на коагуляцию и улучшение их уплотнения. Расход промывной воды на действующих очистных станциях до 5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> осадка при продолжительности уплотнения 20 ч. Смешивание осадка с промывной водой производится в отдельном резервуаре при одновременной продувке воздухом. Для уплотнения промытого осадка применяют радиальные отстойники-уплотнители. В процессе промывки из сброшенного осадка выносятся коллоидные и мелкодисперсные частицы, снижается его щелочность и удельное сопротивление.

Наибольшее снижение удельного сопротивления осадков достигается при обработке их 0,075%-ным раствором хлорного железа. Обработка осадка малоконцентрированным раствором реагента может быть выполнена в нескольких последовательно расположенных отстойниках (рис. 4.4).

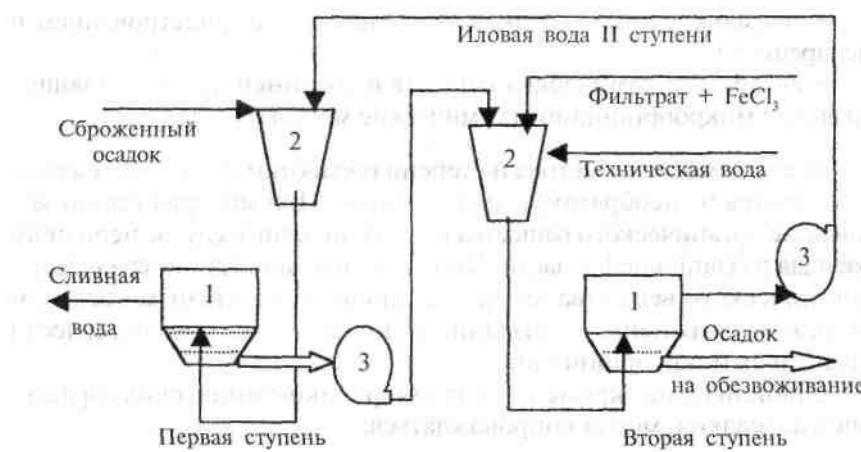


Рис. 4.4. Принципиальная технологическая схема промывки осадка малоконцентрированным раствором хлорного железа в отстойниках-илюуплотнителях.

1 — илюуплотнители; 2 — промывные резервуары ступени; 3 — насосы.

В этом случае промываемый осадок движется навстречу раствору реагента (при этом осадок подается в первый отстойник, а раствор реагента — в последний).

Разложение (гниение) органических веществ в кислой среде сопровождается выделением зловонных запахов, образованием коллоидных и мелкодисперсных частиц, ухудшением водоотдачи осадков.

Для предотвращения загнивания осадков используется метод стабилизации, основанный на изменении физико-химических характеристик осадков, с подавлением жизнедеятельности гнилостных бактерий. Она достигается:

- ◆минерализацией органических веществ (анаэробное метановое брожение, аэробная стабилизация, тепловая обработка, биотермическое разложение);
- ◆изменением активной реакции среды (повышением величины рН до 10,2—11 введением щелочей, извести с повышением температуры до 60°C);
- ◆уничтожением кислотных микроорганизмов нагреванием (пастеризация, тепловая обработка, термическая сушка);
- ◆обезвоживанием осадков (удаление влаги фильтрованием и испарением);
- ◆введением химических веществ и соединений, подавляющих развитие микроорганизмов (химические методы).

В зависимости от метода и степени обработки стабилизация подразделяется на необратимую и временную. При минерализации загнивание органического вещества возможно лишь в случае неполного распада разлагающейся части. При стабилизации без минерализации органического вещества процесс становится обратимым после повторного увлажнения и создания условий для жизнедеятельности кислотных микроорганизмов.

Стабилизация, кроме изменения физико-химических характеристик осадков, может сопровождаться:

- ◆улучшением водоотдачи осадков (аэробная стабилизация, тепловая обработка, введение извести);
- ◆сокращением объема (фильтрование, испарение, сушка);
- ◆получением побочных продуктов (метана при анаэробном сбраживании);
- ◆частичным или полным обезвреживанием (обработка известью и химическими веществами, сбраживание, термическая обработка);
- ◆улучшением удобрительных свойств (обработка известью, аммиаком);
- ◆изменением активной реакции среды.

Исследования показали, что после замораживания осадка и последующем его оттаивании можно отказаться от применения химических реагентов для их коагуляции, а также значительно увеличить производительность фильтров. Выделяющаяся при

оттаивании осадков жидкость содержит незначительное количество загрязнений, что облегчает их обработку. Процесс замораживания снижает удельное сопротивление осадков (табл. 4.6), но создает существенные трудности.

Осадок после термообработки обезвоживается без реагентов, становится стерильным и хорошо уплотняется. Но сам процесс технически сложен; имеет высокие БПК и ХПК иловой воды и фильтратов, получаемых при уплотнении и обезвоживании обработанных осадков, что ограничивает применение этого метода.

Подсушка осадка на иловых площадках зависит от гидрологических и климатических условий, требует отчуждения огромных площадей. Выбор конструкции иловых площадок (площадки с асфальтобетонным основанием, площадки-уплотнители, каскадного типа) и нагрузок на них основывается на свойствах осадков по водоотдающей способности. Вакуум-фильтры применяются для обезвоживания как сброшенных, так и сырых осадков сточных вод. В зависимости от типа и свойств осадка производительность вакуум-фильтров находится в пределах 5—60 кг/м<sup>2</sup> в час по сухому веществу, а влажность кека - 60-85%.

Таблица 4.6

Влияние температуры замораживания на снижение удельного сопротивления осадков (см/г)

Тип осадка	Исходная влажность, %	Температура замораживания, °C	Удельное сопротивление (x 10 <sup>-10</sup> ), см/г	
			исходное	после оттаивания
Активный ил Люблинской станции аэрации	97,5	-15	2320	8,5
	97,5	-3	2320	1
Активный ил Тушинской станции аэрации	97,5	-15	985	3,3
	97,5	-7	985	1,7
Сырой	96	-18	710	18,5

из первичных отстойников Тушинской станции аэрации	96 95,5 95,5	-5 -15 -3	710 830 830	1,5 7,6 1,2
Сбраженная смесь Люблинской станции аэрации	97 97 97,5 97,5	-25 -15 -15 -3	2520 2520 2180 2180	138 20,4 15,7 4,3

При механическом обезвоживании сырого осадка технологическая схема существенно упрощается за счет исключения метантенков, котельных для их обслуживания, станций перекачки, операций по промывке и уплотнению осадка. Сырой осадок обезвоживается на вакуум-фильтрах более эффективно, при меньших затратах реагентов и с большей производительностью, чем сброженный

Применение фильтр-прессов при низких значениях удельного сопротивления и показателя сжимаемости осадка позволяет получать более низкую влажность кека, чем при применении вакуум-фильтров. В странах Запада нашли применение горизонтальные, вертикальные, барабанные и ленточные фильтр-прессы непрерывного действия. Влажность кека после обезвоживания достигает 82%. Для осуществления сушки обезвоженных осадков сточных вод за рубежом нашли применение барабанные, ленточные, петлевые, вальцовые сушилки, сушилки со взвешенным слоем, трубы-сушилки. У нас в основном пока применяются барабанные сушилки, имеющие большую единичную производительность. Но из-за недостаточного объема массы (в среднем 60 кг/м<sup>3</sup> в час) они имеют большие габариты, вес и металлоемкость.

Находят применение и фильтры автоматические самопромывающиеся непрерывного действия типа ФНС для улова взвеси из отработанных вод, агрессивных, ядовитых, опасных для здоровья и взрыво-взрывоопасных жидкостей с возвратом уловленных продуктов и очищенных вод и жидкостей в производство. Они обеспечивают:

- ◆ интенсивную автоматическую промывку фильтровального элемента с регулированием расхода воды при одновременной ее очистке;
- ◆ транспортирование задержанной взвеси и воды к месту потребления под остаточным напором;
- ◆ непрерывную подачу фильтровальной воды под напором как в рабочем режиме, так и в период промывки фильтра;
- ◆ простоту сборки и разборки фильтра;
- ◆ малые габариты;
- ◆ надежную промывку и регенерацию фильтра даже от комкую-щихся взвесей.

Фильтры типа ФНС обеспечивают увеличение производительности (ФН-15 — до 20, а ФН-50 — до 70 м<sup>3</sup>/ч); снижение энергозатрат в 6 раз и металлоемкости в 1,5 раза; вместимость фильтра ФН-15 — 0,036, а ФН-50 - 0,2 м<sup>3</sup>; габариты ФН-50 1,25x1,0x1,6 м; масса ФН-50 -600 кг; остаточное содержание взвешенных веществ до 10 мг/л.

Сжигание осадков городских сточных вод не решает полностью проблемы их удаления, так как количество минерального (несгораемого) вещества в осадках как после вакуум-фильтров с применением химических реагентов, так и после безреагентного центрифугирования не превышает 50% от массы сухого вещества осадка.

Нашли применение способы обеззараживания осадков химическими веществами (аммиачная вода, карбатион, формальдегид, известь, тиазон, мочевина). Остаточное содержание в осадках указанных химических веществ поддерживает санитарно-гигиеническую стабильность почвы. Но необходимо иметь в виду, что аммиак, тиазон и формальдегид являются токсичными веществами и требуют строгого соблюдения мер безопасности, так как возможно превышение содержания азота в обработанных осадках.

По данным Института медицинской паразитологии и тропической медицины полное обеззараживание механически обезвоженных осадков происходит при смешивании с аммиачной водой (5% по аммиаку от массы осадка) и выдержке не менее 10 сут при поддержании температуры смеси в пределах 18—23°C. При снижении температуры смеси до 6°C концентрацию по аммиаку необходимо поднять до 12%, а продолжительность выдержки — до 15 сут. Обработка осадка аммиачной водой повышает его удобрительную ценность, но увеличивает влажность осадка и его взрывоопасность. Указанный институт рекомендует использовать для обеззараживания осадка тиазон, который применяется для борьбы с галловой нематодой в защищенном грунте. Тиазон в концентрации 0,2—2% общей массы осадка в течение 3—10 сут уничтожает яйца гельминтов, патогенных микробактерий (в том числе туберкулеза), яйца и личинки мух. Внесение обработанного тиазоном осадка на поля позволяет дополнительно уничтожать возбудителей инфекции, плесени, фитонематоды и сорняки в почве.

При оценке метода очистки сточных вод используют показатели: коэффициент очистки сточных вод, экономичность процесса, производительность метода, его прогрессивность.

Очистка сточных вод включает в себя ряд технологических процессов:

- ◆ удаление загрязняющих веществ из воды;
- ◆ предварительный процесс (процеживание и выделение тяжелых примесей, отдельных нефтепродуктов, усреднение и хранение);
- ◆ первичный процесс (нейтрализация и отстаивание);
- ◆ вторичный процесс (отстаивание, использование активного ила, анаэробное сбраживание, аэрация, закачка в скважины);
- ◆ третичный (экстракция, коагуляция и отстаивание, фильтрация, угольная адсорбция и ионообмен).

Удельные затраты на строительство комплекса по первичной очистке почти в два раза меньше, чем по вторичной, и в 10 раз, чем по третичной. Приняв стоимость очистки

сточной воды на 90% за единицу, требование очистки до 99% потребует затрат в 10 раз больших, а до 99,9% — в 100 раз.

Применяются 6 основных схем сброса и очистки сточных вод.

1. Прямоточная: сброс стоков в водоем производится без очистки.
2. Повторное использование воды без очистки.
3. Повторное использование воды после осветления сточных вод в сооружениях очистки.
4. Повторное использование условно-чистой воды и обратного водоснабжения загрязненной водой.
5. Обратное водоснабжение.
6. Бессточное водоснабжение.

В производстве для электрохимического полирования металлических поверхностей применяются электролиты на основе фосфорной и серной кислот. Срок применения таких электролитов ограничен из-за накопления в них соединений  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ . Исследования возможности регенерации и обезвреживания отработанного электролита выполнялись при содержании примесей:  $Fe_2O_3$  (4—7%),  $CrO_3$  (2-3%),  $Ni^{2+}$  (4 г/л).

Для регенерации отработанного электролита с целью возврата его в производство был применен ионообменный метод с использованием катионита КУ-2 (8% дивинилбензола) и анионита АВ-17 как наиболее устойчивых к воздействию окислителей. Как известно, в растворах фосфорной кислоты одновременно присутствуют катионные и анионные комплексы железа и хрома ( $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ), ионы этих металлов катионитом сорбируются лучше, чем анионитом. При этом ионы  $Fe^{2+}$  легче извлечь из растворов фосфорной кислоты, чем ионы  $Fe^{3+}$ . Ввиду наличия в отработанном электролите  $CrO_3$  железо находится в трехвалентной форме. Ионы никеля ( $Ni^{2+}$ ) вообще не сорбируются анионитом, а только катионитом.

Эффект сорбции во многом зависит от концентрации фосфорной кислоты и ионов металлов в растворе и от температуры (табл. 4.7).

Данные опытов по очистке отработанного электролита в стационарных условиях с применением катионита КУ-2 свидетельствуют о достаточности сорбирования никеля даже из концентрированных растворов фосфорной кислоты. А сорбция хрома (и особенно железа — табл. 4.7) резко уменьшается с увеличением концентрации фосфорной кислоты в растворе. С увеличением температуры раствора емкость катионита по железу возрастает и максимальной наблюдается при одномолярном растворе  $H_3PO_4$  при времени контакта 4 ч (до 4% веса катионита).

Таблица 4.7

Сорбция железа ( $Fe^{3+}$ ) катионитом КУ-2 в статических условиях

Раствор при 20°C		Время контакта, ч	Вес катиона, г	Сорбировано Fe, мг/г смолы
$H_3PO_4$ , моль/л	$Fe^{3+}$ , мг/л			
0,1	100	4	0,04	10

1,1	223,4	2	0,5	3,35
1,1	1047,2	2	1	15,5
1,1	2066,5	2	1	22,35
1,1	2136,2	4	1	35,88
1Д	4468	2	2	40,14
1,1	4468	4	2	41,29
4,25	245,7	4	0,5	3,91
4,25	1033,2	2	1	9,33
7,5	184,3	4	0,5	0
7,5	893,6	4	1	0

Опыты в динамическом режиме проводились также с применением кационита КУ-2 в колонках диаметром 15 и 25 мм при отношении высоты слоя кационита к диаметру колонки 7:1 и 10:1. Скорость фильтрации раствора составляла 0,2—0,8 м/ч. Регенерация кационита производилась раствором НС1 (применение серной кислоты оказалось нецелесообразным) со скоростью 0,5 м/ч с одновременным переводом кационита в Н-форму (табл. 4.8).

Как видно из табл. 4.8, наибольшие сорбционная емкость смолы и степень извлечения металлов имеют место при ионообменной очистке отработанного электролита, разведенного водой в отношении 1:7 (концентрация Н<sub>3</sub>РО<sub>4</sub> в этом растворе составляет 1,2 моль/л). Происходит полное извлечение никеля из очищаемых растворов. Повышение температуры раствора несколько увеличивает сорбцию металлов. Изменение скорости фильтрации 0,25—0,8 м/ч не оказывает заметного влияния на величину сорбции металлов.

Обезвреживание отработанного электролита с помощью реагентов основано на восстановлении ионов 6- и 3-валентного хрома с последующей нейтрализацией свободных кислот и удалением хрома (Сг<sup>3+</sup>) в виде нерастворимого в воде осадка гидроокиси хрома.

Таблица 4.8

Сорбция ионов металлов кационитом КУ-2 в динамических условиях

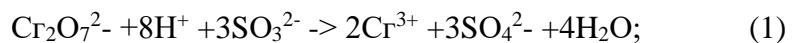
Разбавление	Количество металла в растворе, мг	t °C раствора	Сорбировано, мг на 1 мг смолы	Степень извлечения
-------------	-----------------------------------	------------------	----------------------------------	--------------------

электро лит	Fe <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>		Fe <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	всего	я, %
Нес разбавле н 1:2 1:7	315	80	20	26	10,1	3	15,8	24
	1587	400	100	19	14,7	3	20,4	34
	362	91,2	22,8	80	16	6	25	33
	215,6	64,9	13,7	30	14,8	3,7	20,3	51
	233,2	59,3	14,8	80	20	5,6	27,6	64
	1422	360	90	18	28,5	4,7	35,6	75
	1343	340	85	16	26,2	4,4	32,9	73

Примечание. 1. Состав электролита, (г/л): H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>(1050); H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (139); CrO<sub>3</sub>(100); Fe<sup>3+</sup>(63,5); Cr<sup>3+</sup> (16); Ni<sup>2+</sup> (4 г/л).

2. Скорость фильтрования 0,25—0,8 м/ч. Количество сорбированного никеля рассчитано по его концентрации в исходном растворе.
3. Расчет степени извлечения металлов проведен по железу.

Восстановителем является сульфит натрия и железный купорос. Химические реакции протекают в виде:



Восстановление Cr<sup>6+</sup> до хрома Cr<sup>3+</sup> происходит в пределах пяти минут при дозе Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> 4 вес. ч. на 1 вес. ч. 6-валентного хрома (или при дозе FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O 10 вес. ч. на 1 вес. ч. 6-валентного хрома). Температура реакционной смеси повышается до 85°C, отработанный электролит нейтрализовался до величины pH 6—6,5. В этих условиях трехвалентное железо и хром образуют малорастворимые в воде фосфаты, фосфат кальция и гидроокиси.

При нейтрализации отработанного электролита известковым молоком его объем увеличивается в 5—6 раз по сравнению с исходным объемом. Перспективней пользоваться методом сухой нейтрализации, используя в качестве реагента отходы производства (пыленку известково-обжиговых печей). При нейтрализации отработанного

электролита сухими реагентами температура реакционной смеси повышается до 90°C, происходит испарение воды. Чтобы не допустить цементации, смесь необходимо помешивать до ее остывания. Продукт нейтрализации содержит до 29% усвоемого растениями продукта (Р<sub>2</sub>О<sub>2</sub>), т.е. его можно использовать в качестве удобрения.

## 1.15 Лекция № 15

Тема: Выпуск и разбавление сточных вод

1. Вопросы лекции:

1. Прогнозирование качества воды водного объекта при выпуске очищенных сточных вод.
2. Сосредоточенные и рассеивающие выпуски сточных вод
3. Расчет выпусков и разбавление сточных вод.

2. Краткое содержание вопросов:

**1.** Данные о характере сточных вод и режиме их спуска в водоемы необходимы при решении вопроса об охране водоемов от загрязнения производственными сточными водами.

Современные заводы и фабрики, тем более комбинаты являются комплексными предприятиями. В их состав входит обычно ряд производств, которые объединяются не только последовательным использованием одного и того же сырья и отходов производства, но и общностью технологических приемов.

Для достоверности прогнозирования качества воды водного бассейна при выпуске сточных вод необходимо полностью исследовать производственные очищенные сточные воды. Для этого составим схему приемов общего обследования предприятия

Рисунок схема

В тех случаях когда предварительное ознакомление со структурой и технологией производства дает основание считать, что на предприятиях образуются сточные, различные по своим свойствам и возможному вредному влиянию, необходимо исследовать не только общий слой, поступающие в водоем, но и стоки отдельных цехов.

**2.** Разбавление сточных вод в воде водоемов осуществляется под влиянием турбулентного движения воды. Степень разбавления в конечном счете определяется отношением объема воды в водоеме к количеству поступивших в него сточных вод.

Быстро смешиваются сточные воды с водой водоема при выпуске их подводным трубопроводом на расстоянии от берега, по возможности в фарватер, где наблюдается наибольшая скорость течения.

Рисунок

Однако принято считать, что еще лучшие смешанные сточных вод с водой водоема достигается рассеивающим выпуском, создающим возможность сброса в водоем сточных вод не водной, а в нескольких типах водоема.

Рассеивающий выпуск состоит из подводного трубопровода, часть которого снабжена патрубками с конической насадкой, через которые изливается сточная вода.

Рисунок

Число рассеивающих насадок  $n$  определяется по формуле: Л.Х. Максимова

$$n = \frac{2 \sin Q}{H_{cc}} + 1 \quad (1)$$

где:  $Q$  – угол наклона насадки к горизонту,  $=30^0$

$H_{cp}$  – глубина реки вместе выпуска, м;

$S$  – длина рассеивающей части выпуска, м.

$$S = \frac{(np.v - 1)q}{H_{cc}pVc} \quad (2)$$

где:  $np.v$  – разбавление сточных, обеспечиваемое рассеивающим выпуском;

$q$  – расход разбавляемой сточной жидкости;

$V_{cp}$  – скорость течения вместе выпуска.

Для определении коэффициента смешения  $\gamma$  необходимо определить:

- 1) коэффициент  $D$  по данным предварительного гидрологического обследования реки на расстоянии  $L$ .
- 2) коэффициент  $\varphi$  на основе картографических данных
- 3) коэффициент. Учитывающий гидравлические факторы смешения  $a$ , подставив в формулу (6) найденные значения  $D$ , и заданное значение  $q$
- 4) коэффициент  $\beta$  подставив в формулу (5) полученное значение  $a$  и  $L$  (по фарватеру)
- 5) коэффициент смешения  $\gamma$  подставив значение  $\beta$  в формулу (3)

Коэффициент смешивания:

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + Q/q\beta} \quad (3)$$

где:  $Q$  - объем водоема  $\text{м}^3$

$q$  - количество сточных вод сбрасываемых в водоем  $\text{м}^3$

величина  $\beta$  определяется по формуле:

$$\beta = e^{-a\sqrt[3]{L}} = \frac{1}{2.72^a}$$

где  $e$  – основание натурального логарифма,  $= 2,72$

$a$  - коэффициент учитывающий гидравлические факторы смешивания

$L$  - расстояние до рассматриваемого створа по течению (фарватеру) реки, м.

## 1.16 Лекция № 16

Тема: Особенности применения методов очистки воды в системах водоподготовки природных вод для технического и хозяйствственно – бытового назначения

1. Вопросы лекции:

1. Ионообменные фильтры.
2. Биологические фильтры.

### 3. Примерный расчет задач.

#### 2. Краткое содержание вопросов:

1. Ионообменные фильтры используют для глубокой очистки сточных вод от минеральных и органических ионизированных загрязнений и обессоливании с последующим повторным использованием очищенной воды в производстве и утилизацией выделенных ценных и загрязнений.

Сточные воды, подаваемые в ионообменные фильтры, должны отвечать следующим требованиям:

Концентрация солей не более 30000мг /л концентрация взвешенных веществ –не более 8мг/л ХПК –не более 8мг/л.

Расчет катионовых фильтров:

1. Находят объем катионита

$$V_k = \frac{24Q(\sum C_o - \sum C_k)}{nE} \quad (1)$$

где: Q – расход очищаемой сточной воды м<sup>3</sup>/л

$\sum C_o$  - суммарная концентрация всех катионов в исходной сточной воде г-экв/м<sup>3</sup>;

$\sum C_k$  - допустимая суммарная концентрация всех катионов в очищенной сточной воде г-экв/м<sup>3</sup>;

n - количество регенерации фильтра в сутки, сут<sup>-1</sup> (обычно не более двух)

E – рабочая обменная емкость катионита по наименее сорбируемому катиону, г-экв/м<sup>3</sup>

определяют по формуле:

$$E = a_k E_n - K_i q_k \sum C_o \quad (2)$$

$a_k = 0,8 \dots 0,9$  - коэффициент эффективности регенерации катионита;

$E_n$  – полная обменная емкость катионита, г-экв/м<sup>3</sup> опред. По паспортным данным катионита.

$K_i = 0,5$  - коэффициент, учитывающий тип ионита;

$q_k = 3 \dots 4 \text{м}^3/\text{м}^3$  удельный расход технической воды на отмывку катионита после его регенерации:

$\sum C_o$  – суммарная концентрация катионитов в отмываемой воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

2. определяют площадь катионовых фильтров исходя из двух условий: требуемой эффективности очистки ( $S_1$ ) и справедливости уравнения неразрывности ( $S_2$ )<sup>4</sup>

$$S_1 = V_k / H_k \quad (3)$$

$$S_2 = Q / W \quad (4)$$

где  $H_k = 2 \dots 3$  м – высота слоя в катионитовом фильтре, выбираемая по техническим характеристикам катионитовых фильтров;

$W$  – скорость фильтрования сточной воды, м/ч; выбираемая по следующим данным:

$\sum C_0$ ; г-экв	$\leq 0,005$	0,005-0,015	0,015-0,020	$\geq 0,02$
$W$ , м/ч	20	15	10	8

Если значения отклонения площадей, вычисленных по формулам (3), (4), сильно различаются, в формуле (1) изменяют количество регенераций фильтра  $n$ .

Фрагмент таблицы паспортных данных катионита

Марка катионита	Размер гранул, мм	Насыпная плотность, т/м <sup>3</sup>	Средняя рабочая объемная емкость, г-экв/м <sup>3</sup>		Полная объемная емкость в динамических условиях г-экв/м <sup>3</sup>
			при $H^+$ катионировании	при $Na^+$ катионировании	
СМ -1	0,3-0,8	0,65	250	400	-
КУ-2-8	0,315-1,25	0,72-0,8	800	800	1850

Расчет анионитовых фильтров:

1. Находят объем анионита:

$$V = \frac{24Q(\sum C_o - \sum C_k)}{nE} \quad (5)$$

где:  $\sum C_o$  - суммарная концентрация всех анионов в исходной сточной воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

$\sum C_k$  - допустимая суммарная концентрация всех анионов в очищенной сточной воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

Е – рабочая емкость анионита по наименее сорбируемому аниону. г-экв/м<sup>3</sup>;

$$E = a_a E_n - K_i q_a \sum C_o \quad (6)$$

где:  $a_a = 0,9$  коэффициент эффективности регенерации анионита;

$E_n$  – полная обменная емкость анионита, г-экв/м<sup>3</sup>;

определяется по паспортным данным анионита.

$K_i = 0,8$  – коэффициент, учитывающий тип анионита;

$q_a = 3 \dots 4 \text{ м}^3/\text{м}^3$  – удельный расход технической воды на отмывку анионита после его регенерации;

$\sum C_o$  - суммарная концентрация анионитов в отмывочной воде, г-экв/м<sup>3</sup>;

Фрагмент таблицы паспортные данные анионитов

Марка анионита	Размер гранул набухающего анионита, мм	Насыпная плотность тм <sup>3</sup>	Полная обменная емкость, г-экв/м <sup>3</sup>		

2. Рассчитывают площадь анионитовых фильтров:

$$S = 24Q / (nWt) \quad (7)$$

где:  $W = \text{м}/\text{ч}$  – скорость фильтрования сточной воды;

$t$  - продолжительность работы фильтра между регенерациями, определяют по формуле:

2 При выборе типа биофильтра и его расчета необходимо учитывать, что применение биофильтра в качестве биологического окислителя наиболее оптимально при расходах вод 12....50000 м<sup>2</sup>сут.

При этом очищаемые бытовые и производственные сточные воды должны иметь следующие характеристики

$$6,5 \leq pH \leq 8,5$$

$$6^0 C \leq T \leq 30^0 C$$

Общая концентрация растворенных солей не более 10000мг/л.

Биофильтры проектируют в виде круглых, многогранных или прямоугольных в плане резервуаров со сплошными стенками и двойным дном:

Верхнее дно – опорная решетка;

Нижнее – сплошное.

Высоту междудонного пространства выбирают не менее 0,6 м.

Расчет котельных биофильтров:

1. Определяют постоянную скорость окисления органических загрязнений:

$$K = L_1 / L_2 \quad (9)$$

где:  $L_1$ ,  $L_2$  - БПК го исходных и очищенных сточных вод соответственно, мг/л;

2. По табл. определяют К

Н- высоту биофильтра;

Т- среднед температуру;

q- гидравлическую нагрузку.

3. рассчитывают общую площадь биофильтра:

$$S=Q/q$$

Расчет высоконагруженых биофильтров

1. К
2. По К и Т определяем Н, q и Вуд. – удельный расход подаваемого воздуха
3. Находят БПК го смеси сточных вод ( $L_{cm}$ ) и коэффициент рециркуляции пр.  
 $L_{cm} = KL_2$  ;

$$np = (L_1 - L_{cm}) / (L_{cm} - L_2) \quad (12)$$

4. Рассчитывают площадь биофильтров:  
при очистке без рециркуляции см. формулу (10)

при очистке с рециркуляцией по формуле:

$$S = Q(n_p + 1)/q \quad (13)$$

## 1.17 Лекция № 17

Тема: Методы, системы и установки очистки промышленных стоков основных отраслей экономики и технологических процессов

1. Вопросы лекции:

1. Механические методы очистки сточных вод.
2. Гидромеханические методы очистки сточных вод.

### 3. Замкнутые водооборотные циклы.

#### 2. Краткое содержание вопросов:

Сточные воды любого промышленного предприятия содержат специфические загрязнения, которые должны удаляться (нейтрализоваться) до смешения со стоками другого производства или населенного пункта. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о возможной реализации бессточных систем путем повторного использования очищенных сточных вод. Повторное использование очищенных сточных вод в системах промышленного водоснабжения в полной мере зависит от конкретных местных условий, применяемых технологий и определяется главным образом его возможностью и целесообразностью.

В связи с этим на основе «Правил охраны поверхностных вод» (1991) для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах с учетом требований к качеству очищенных вод в конкретных местных условиях разработаны «Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных мест» (1991), направленные на предотвращение нарушений в работе очистных сооружений и безопасности их эксплуатации за счет правильной организации приема промышленных сточных вод в канализационную сеть населенных пунктов.

Существуют основных вида очистных сооружений для сточных вод:

- локальные,
- заводские,
- районные,
- городские.

Локальные или цеховые очистные сооружения предназначены, прежде всего, для обезвреживания сточных вод или извлечения ценных компонентов непосредственно после технологических установок или цехов. На локальных установках механической очистки, коагуляции, электроосаждения, фильтрования, ультрафильтрации и др. очищают сточные воды, которые нельзя направлять без предварительной очистки в систему повторного и оборотного водоснабжения на общие заводские либо районные очистные сооружения.

Многие крупные предприятия располагают общезаводскими очистными сооружениями, которые имеют установки для механической, физико-химической и биологической очистки.

Районные или городские очистные сооружения предназначены для очистки хозяйствственно-бытовых и промышленных сточных вод района или города. При совместной очистке сточных вод в последних регламентируются содержания растворимых, взвешенных и всплывающих веществ, продуктов, способных разрушать или засорять коммуникации, взрывоопасных и горючих веществ, а также температура.

Выбор метода очистки зависит от концентрации загрязнений в сточных водах и количества твердых отходов, образующихся в основном производстве и на стадии очистки, а также от эколого-экономических показателей процесса.

По этим причинам сточные воды промышленных предприятий должны подвергаться обязательной локальной очистке в целях: максимального снижения потерь сырья со сточными водами; сокращения потребления чистой воды; уменьшения сброса сточных вод по объему и количеству загрязняющих веществ в водоемы; снижения объема внезаводских очистных сооружений и капитальных вложений в их строительство.



Рис. 8.28. Схема комбинированного метода очистки промышленных стоков:

1 — усреднитель; 2 — анаэробный восстановитель; 3 — метатенк; 4, 7, 11 — насосы; 5, 8 — флотаторы; 6 — аэротенк; 9, 10 — фильтры; 12 — водоем

## Методы очистки сточных вод по типу процесса

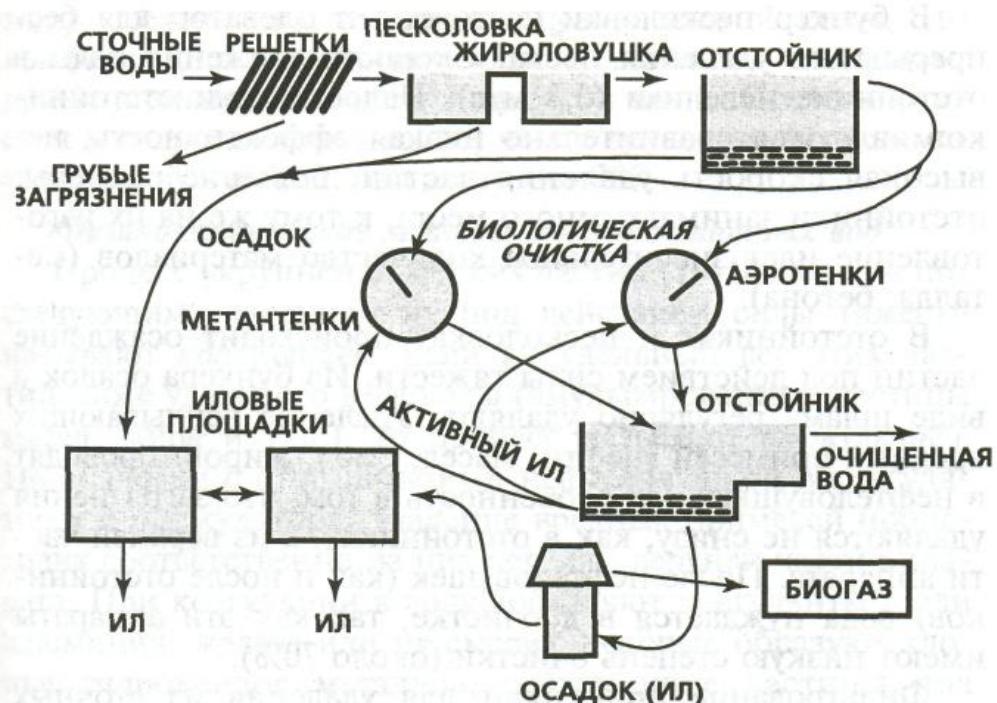


Рис. 1.11. Схема гидромеханической очистки воды

### 9.6.2. Краткая характеристика замкнутых водооборотных циклов как наиболее эффективного метода охраны гидросферы

Замкнутые водооборотные циклы предполагают такое использование природных вод, при котором вода закачивается в систему один раз, а потом отработанные воды возвращаются в производственный цикл либо после очистки, либо без нее. Использованная вода может дополняться природной водой из-за потерь в процессе

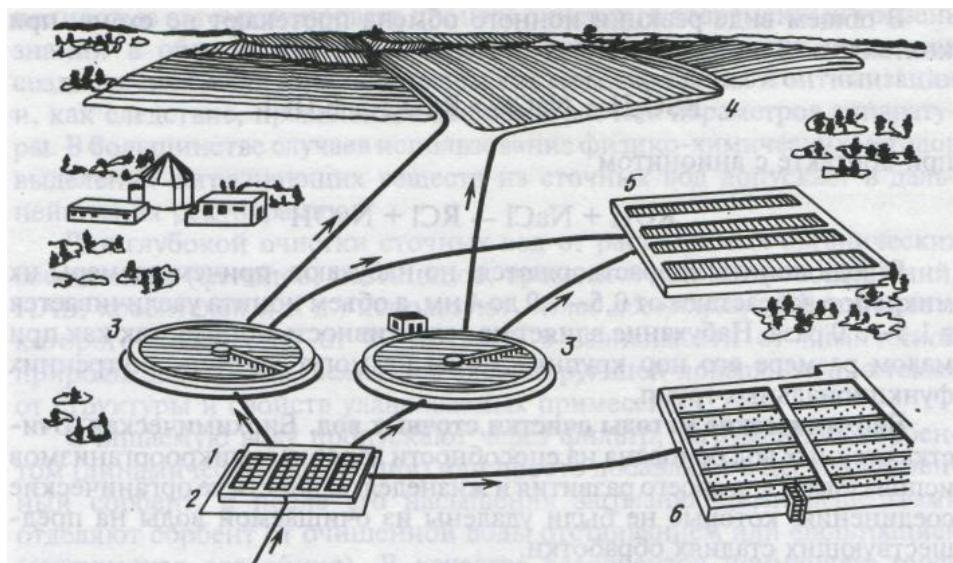


Рис. 22. Схема станции с биохимической очисткой сточных вод в естественных условиях (по Бородавченко):

1 — решетка; 2 — песколовка; 3 — двухъярусные отстойники; 4 — земледельческие поля орошения; 5 — иловые площадки; 6 — песковые площадки

производства. Положительной стороной такого водопотребления является практически полное прекращение образования сточных вод и их попадания в гидросферу.

Применение водооборотного водоснабжения позволяет в 10 — 50 раз уменьшить потребление природной воды. Оборотную воду можно использовать и как теплоноситель, и как охлаждающий агент, что повышает эффективность производства.

В процессе водооборотного водоснабжения возможно загрязнение ее биологическими примесями, что приводит к процессам обрастания. С этой целью воды подвергаются биоочистке и частично заменяются природными водами из внешней среды.

Для снижения водопотребления на различных предприятиях используют следующие мероприятия:

- внедрение процессов, не требующих воды;
- совершенствование процессов и оборудования, способствующих снижению расхода воды;
- внедрение энергетических агрегатов, использующих тепло-химических процессов и не требующих использования воды в качестве теплоносителя;
- замена воды воздухом в качестве теплоносителя.

Перечисленные методы способствуют охране природных вод от их загрязнения промышленными и бытовыми сточными водами. Как указывалось выше, очистка газов способствует предотвращению загрязнения гидросферы загрязнителями из атмосферы. Однако существуют и другие источники загрязнения — в частности сельское хозяйство (животноводство и земледелие), а также водный транспорт. Большую опасность в загрязнении вод Мирового океана представляют кораблекрушения и аварии при транспортировке различных материалов (нефти, угля, продовольствия, различного сырья). Природоохранные мероприятия в этих сферах деятельности человека состоят в строгом соблюдении правил перевозок, в выработке у персонала правильного с позиций природо-сообразности экологического сознания, в участии каждого человека в деятельности, способствующей минимальному загрязнению природной среды, в том числе и гидросферы.

### Замкнутые водооборотные циклы

Создание замкнутых водооборотных систем — важнейшее направление охраны гидросфера от загрязнения. Для рационального использования воды на предприятиях наиболее перспективными являются следующие мероприятия:

- внедрение безводных (или маловодных) технологических процессов. Например, применение аппаратов воздушного захолаживания позволяет снизить расход охлаждающей воды;
- устранение протечек и потерь воды вследствие брызг в системе водоснабжения за счет совершенствования технологических процессов и оборудования, а также за счет правильной организации производства;
- использование тепла химических реакций;
- использование вторичных материальных и энергетических ресурсов
- регенерация кислот, щелочей, солей и т. п.;
- использование воды для очистки уходящих газов в тех случаях, когда из газов извлекают ценные вещества;
- внедрение местных систем обезвреживания стоков.

Так, кроме общезаводского в каждом цехе имеется собственный водооборотный цикл с местной системой очистки воды, что позволяет утилизировать ценные компоненты отходов и создает вторую степень защиты наружной водной системы от вредных стоков;

- создание замкнутых водооборотных циклов предполагает сбор и использование не только очищенных стоков, но и ливневых вод.

Что же такое водооборотный цикл? Это многократное использование одной и той же воды при минимальном восполнении потерь (подпитке). На *рис. 1.* приведена простейшая схема оборотного водоснабжения. Из схемы видно, что насосная станция подает техническую воду на производство, затем она очищается и через насосную станцию вновь возвращается на производство. Перед насосной станцией происходит восполнение потерь воды, которые, к сожалению, неизбежны, а из очистных сооружений ил (твёрдый осадок) удаляется либо на очистку, либо на захоронение. Расход свежей воды из источника на подпитку составляет  $1,4 \text{ м}^3/\text{т нефти}$ ; расход оборотной воды —  $51 \text{ м}^3/\text{т нефти}$ .

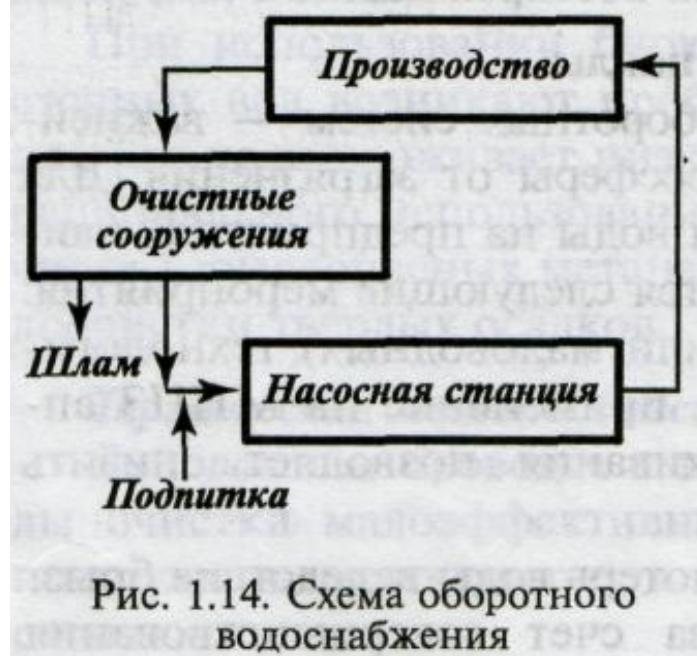


Рис. 1.14. Схема оборотного водоснабжения

Эффективность использования воды в производстве оценивается следующими коэффициентами:

процент оборота воды:

$$P_{об} = \frac{Q_{об}}{Q_{об} + Q_{и}};$$

$$K_{и} = \frac{Q_{и} - Q_{сб}}{Q_{и}} < 1;$$

коэффициент использования воды:

коэффициент кратности использования воды:

$$n = \frac{Q_{сб} + Q_{и} + Q_{с}}{Q_{и} + Q_{с}} > 1;$$

коэффициент воды и ее потерь в

$$K_{п} = \frac{Q_{и} - Q_{сб}}{Q_{об} + Q_{и}} \cdot 100,$$

безвозвратного потребления производстве (в %):

где  $Q_{об}$  - количество оборотной воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{и}$  - количество воды, забираемое из источника водоснабжения,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_{сб}$  - количество воды, сбрасываемое предприятием,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$Q_c$  - поступление воды из сырья,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Таким образом, оборотное водоснабжение позволяет снижать расход воды в десятки раз и создает возможность организации бессточного производства. Например, МНПЗ практически не сбрасывает вредные стоки в Москву-реку: величина  $K_{п}$  равна примерно 0,98. Особенно это важно для мегаполисов при близком расположении предприятий к жилым массивам.

Преимущество замкнутых водооборотных циклов перед разомкнутыми очевидно, так как очистка большого количества воды до необходимой кондиции перед сбросом в водоем — дорогостоящее мероприятие.

Создание водооборотных систем связано с большими трудностями: для каждого типа воды необходима своя система очистки; требования к качеству технической воды, включенной в водооборот, не такие жесткие, как к питьевой, но тоже достаточно высокие. Кроме того, внутри труб образуются отложения карбоната кальция, которые необходимо удалять; трубы корродируют, для снижения темпа коррозии в воду добавляют ингибиторы коррозии; часто воду из цикла приходится охлаждать в градирнях, что ведет к потерям воды с брызгами; в трубах и резервуарах системы часто происходит так называемое биологическое обрастание (образование водорослей), для борьбы с этим явлением приходится выводить часть воды из цикла и взамен добавлять свежую или очищенную воду.

Однако расходы на преодоление всех этих трудностей несоизмеримы с тем вредом, который принесло бы использование воды по разомкнутому циклу с обязательным загрязнением гидросферы.

## 1.18 Лекция № 18

Тема: Малоотходные технологии

1. Вопросы лекции:

1. Радикальное решение проблемы защиты земель от отходов.
2. Принцип системности.
3. Принцип комплексности использования сырьевых ресурсов.
4. Принцип цикличности материальных потоков.
5. Эколого-экономический эффект использования вторичного сырья.

## 2. Краткое содержание вопросов:

**Природопользование** — непосредственное и косвенное воздействие человека на окружающую среду в результате всей его деятельности. Рациональное природопользование — планомерное, научно обоснованное преобразование окружающей среды по мере совершенствования материального производства на основе комплексного использования невозобновляемых ресурсов в цикле: производство — потребление — вторичные ресурсы при условии сохранения и воспроизводства возобновляемых природных ресурсов.

Изучение процессов, протекающих в биосфере, и влияния на них хозяйственной деятельности человека показывает, что только создание экологически безотходных и малоотходных производств может предотвратить оскудение природных ресурсов и деградацию природной среды. Хозяйственная деятельность людей должна строиться по принципу природных экосистем, которые экономно расходуют вещества и энергию и в которых отходы одних организмов служат средой обитания для других, т. е. осуществляется замкнутый кругооборот.

В XX в. человечество в результате научно-технической революции пришло к следующему техногенному кругообороту веществ (рис. 1.1).

Казалось бы, сегодня всем ясно, что время «покорения природы» безвозвратно прошло и начался период глубокого, заинтересованного познания ее законов. Однако на практике объемы " отходов в стране растут в два-три раза быстрее, чем объемы производства и численность населения. Лавина отходов загрязняет природу, их вредные токсичные компоненты засоряют землю, воздух, реки, моря и озера. Причина кроется в сиюминутной выгоде для производства. Но разумный человек не должен считать выгодой уничтожение всего живого, «безумное прожигание» ресурсов, не только своих, но и принадлежащих будущим поколениям. Следовательно, пришло время коренным образом изменить сам подход к понятию выгодности, когда речь идет о природопользовании.

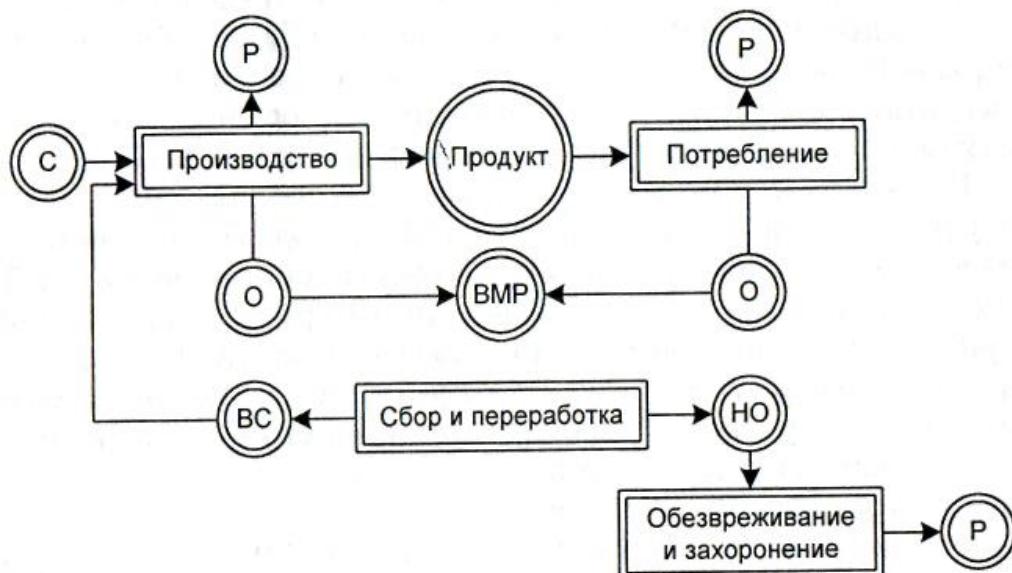


Рис. 1.1. Техногенный кругооборот веществ:

С — первичное сырье; Р — рассеивание в окружающей среде; О — отходы;  
ВМР — вторичные материальные ресурсы; ВС — вторичное сырье;  
НО — неутилизируемые ресурсы

Исходя из сказанного можно сформулировать наиболее общее определение рационального природопользования — это система взаимодействия общества и природы, построенная на основе научных законов природы и в наибольшей степени отвечающая задачам как развития производства, так и сохранения биосферы.

Из схемы техногенного кругооборота веществ (рис. 1.1) видно, что в отличие от природных кругооборотов он незамкнут во многих частях.

## 1.2. Безотходные и малоотходные производства

Термин «безотходная технология» впервые предложен российскими учеными Н.Н. Семеновым и И.В. Петряновым-Соколовым в 1972 г. В ряде стран Западной Европы вместо «мало- и безотходная технология» применяется термин «чистая или более чистая технология» («pure or more pure technology»).

В соответствии с решением ЕЭК ООН и с Декларацией о малоотходной и безотходной технологиях и использовании отходов принята такая формулировка безотходной технологии (БОТ): «Безотходная технология есть практическое применение знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду».

В литературе встречаются и другие термины, например, «безотходная технологическая система» (БТС). Под БТС понимается такое отдельное производство или совокупность производств, в результате практической деятельности которых не происходит отрицательного воздействия на окружающую среду. В определении безотходной технологии подразумевается не только производственный процесс. Это понятие затрагивает и конечную продукцию, которая должна характеризоваться:

- долгим сроком службы изделий,
- возможностью многократного использования,
- простотой ремонта,
- легкостью возвращения в производственный цикл или перевода в экологически безвредную форму после выхода из строя.

Теория безотходных технологических процессов в рамках основных законов природопользования базируется на двух предпосылках:

- исходные природные ресурсы должны добываться один раз для всех возможных продуктов, а не каждый раз для отдельных;
- создаваемые продукты после использования по прямому назначению должны относительно легко превращаться в исходные элементы нового производства.

Схема такого процесса — «спрос - готовый продукт - сырье». Но каждый этап этой схемы требует затрат энергии, производство которой связано с потреблением природных ресурсов вне замкнутой системы. Вторым препятствием полной замкнутости процесса является износ материалов, их рассеивание в окружающей среде. Например, долгое, на протяжении многих столетий, использование таких металлов, как серебро, свинец, цинк, медь и др., и их рассеивание в процессе этого использования в ОС привели к тому, что сроки их исчерпания из земных недр составляют, согласно своду международных прогнозов «Мир в 2000 году», всего один-два десятка лет.

Понятие безотходной технологии условно. Под ним понимается теоретический предел или предельная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично (отсюда — малоотходная технология — МОТ). Но с развитием современных наукоемких технологий БОТ должна быть реализована все с большим приближением к идеальной модели.

Критики концепции безотходного производства утверждают, ссылаясь на второй закон термодинамики, что как энергию нельзя полностью перевести в работу, так и сырье невозможно полностью переработать в продукты производства и потребления. С этим нельзя согласиться, поскольку речь идет прежде всего о материи и о Земле как открытой системе, а материю — продукцию в соответствии с законом сохранения вещества и энергии всегда можно преобразовать снова в соответствующую продукцию. Примерами служат безотходно функционирующие природные экосистемы.

Имеется и другая крайность, когда все работы, связанные с охраной ОС от промышленных загрязнений, относят к БОТ и МОТ. Необходимо помнить, что оценка степени безотходности производства — очень сложная задача и единых критериев для всех отраслей промышленности нет.

В целом комплексный подход к оценке степени безотходности производства должен базироваться на:

- учете не столько безотходности, сколько степени использования природных ресурсов;
- оценке производства на основе самого обычного материального баланса, т. е. на отношении выхода конечной продукции к массе поступившего сырья и полуфабрикатов;
- определении степени безотходности по количеству отходов, образующихся на единицу продукции.

### 1.3 Основные принципы малоотходных технологий

Радикальное решение проблемы защиты земель от отходов возможно при разработке новых технологий и малоотходных производств. Для обобщения особенностей малоотходного производства можно выделить ряд взаимосвязанных принципов, лежащих в его основе.

Ключевым в этом ряду является **принцип системности** (рис. 10.26, а). В соответствии с этим принципом каждый отдельный процесс или производство рассматриваются как элемент более сложной индустриальной системы.

Так, например, отходы нефтехимии — шламы, теплоэнергетики — золошлаковая смесь, химической промышленности — отсев извести используются для получения цемента, при этом возникающие отходы используются в промышленности строительных материалов, а отходы последней в сельскохозяйственной отрасли и т. д.

Другой важнейший принцип — **принцип комплексности** использования сырьевых ресурсов (см. рис. 10.26, б). Практически все используемое сырье многокомпонентно, и в среднем на 1/3 его стоимости составляют сопутствующие элементы. Так, уже в настоящее время практически все серебро, висмут, платину, более 20 % золота и около 30 % серы получают «попутно» при переработке комплексных РУД. Повышение комплексности использования ресурсов, например,

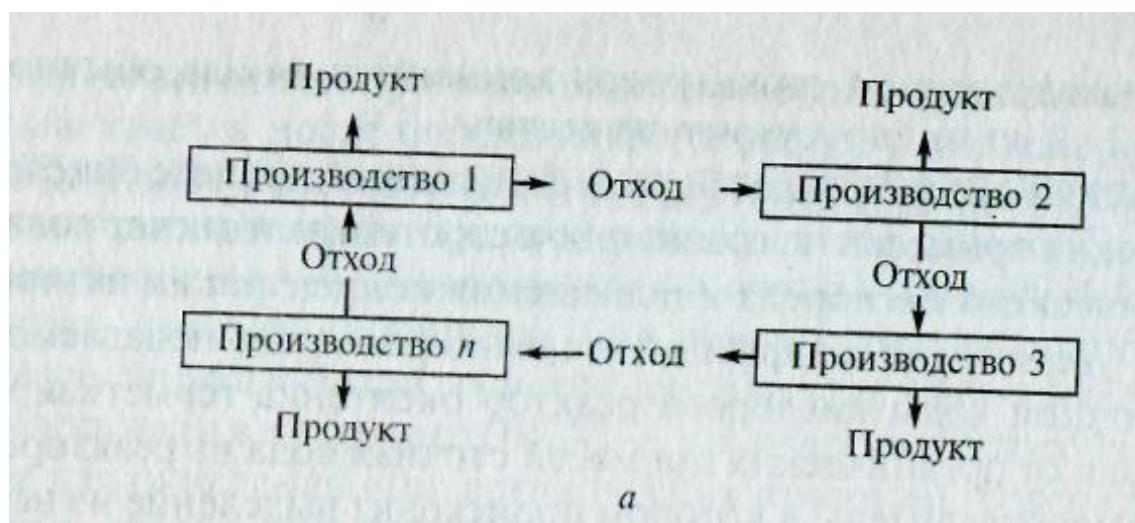




Рис. 10.26. Принципы малоотходных технологий:

а — системности; б — комплексности; в — цикличности. Увеличение числа «n» ведет к существенному снижению отходов

в лесопромышленном производстве, имеет не только экологическое, но и важное экономическое значение.

Третьим принципом создания малоотходного производства является **принцип цикличности** материальных потоков (рециклинг) (см. рис. 10.26, в), где важную роль играют замкнутые водооборотные циклы, рециркуляция газовых потоков, утилизация твердых отходов. Во всем мире это направление приобретает весьма важное значение. Уже сейчас технически возможно использовать 2/3 образующихся отходов, причем капитальные вложения при переработке вторичного сырья примерно в 4 раза меньше, чем первичного.

В нашей стране за счет использования вторичного сырья производится 30 % стали, 25 % бумаги, 20 % цветных металлов. Однако существуют пределы в утилизации отходов.

По мере увеличения доли вторичного сырья, в материальных циклах идет накопление примесного вещества. Например в стали, выплавленной из металломолома, накапливается медь, цинк, кобальт.

## 2 ВИДЫ ОТХОДОВ

Основными веществами, загрязняющими почву, являются:

- соли тяжелых металлов (в том числе тетраэтилсвинец);
- нефть и нефтепродукты;
- пестициды и гербициды;
- радиоактивные вещества;
- загрязнители атмосферы (за счет выпадения);
- загрязнители водоемов (за счет осаждения).

В соответствии с принятой в РФ классификацией (ГОСТ 25916—83) твёрдые отходы делят на отходы производства и отходы потребления.

**Основные отходы производства:**

- отходы черных и цветных металлов;
- отходы добычи и обогащения полезных ископаемых;
- зола, шлаки и углесодержащие отходы;
- отходы, содержащие пластмассы и полимеры;
- отходы, содержащие хлопчатобумажные, шерстяные, шелковые и синтетические волокна;
- резиносодержащие отходы;
- отходы, содержащие асбест;
- отходы стекла и строительных материалов;
- отходы переработки древесины;
- отходы кожевенного и мехового производств;
- отходы пищевых производств;
- отходы сельскохозяйственного производства.

**Основные отходы потребления:**

- изношенные текстильные материалы;
- макулатура (отходы бумаги и картона, включая тару);
- бой стекла;
- изношенные резино- и асбестсодержащие изделия;
- изношенные изделия из пластмасс (включая тару);
- изношенные изделия из кожи;
- вышедшие из употребления изделия из древесины;
- металлические амортизационные изделия (в том числе тара);

- жилищно-коммунальные отходы (в том числе пищевые отходы);
- твердые продукты, улавливаемые на очистных сооружениях.

Как видно из приведенного перечня, **отходами производства** являются остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства продукции, утратившие исходные потребительские свойства, а также вещества, улавливаемые при очистке отходящих технологических газов и сточных вод. **Отходы потребления** составляют изделия и материалы, утратившие потребительские свойства в результате физического или морального износа. **Вторичное сырье** составляют вторичные материальные ресурсы, которые могут быть использованы в промышленности.

В зависимости от объема отходы делят на крупнотоннажные и малотоннажные. Например, ил после биологической очистки воды на нефтеперерабатывающем заводе является крупнотоннажным отходом.

Отходы могут быть дорогостоящими и дешевыми; в частности, отходы, образующиеся после регенерации катализатора, являются дорогостоящими, а шлак металлургической печи — дешевым.

По влиянию на окружающую среду отходы делят на вредные и безвредные. Например, после того как 30 лет назад у Борисовских прудов в Москве засыпали свалку металлических отходов московского АЗЛК, в воде родников около пруда обнаружилось высокое содержание кадмия, меди и цинка. Эту воду употреблять для пищевых целей нельзя, однако жители близлежащих кварталов все-таки используют эту воду для питьевых целей.

Помимо промышленных отходов в жилых массивах образуется много твердых бытовых отходов (ТБО), на одного человека их приходится до 300 кг в год. Проблема ТБО особенно актуальна в мегаполисах. Так, в состав ТБО в Москве входят: бумага, картон — 28,8%; металлы — 5,7%; пищевые отходы — 28,5%; пластмасса — 5,1%; текстиль — 3,01%; стекло — 4,4%; горючие материалы — 1,8%; инертные материалы — 3,4%; отсев (мелкие частицы менее 15 мм) — 16,1%.

Среди основных источников твердых отходов (кроме ТБО) — энергетика (зола и шлаки, образующиеся при сжигании твердого топлива); черная и цветная металлургия (шлаки, формовочная земля, коксовые остатки); угледобывающая промышленность (отвалы); деревообрабатывающая отрасль хозяйства (опилки, стружка); химическая промышленность (химические вещества в широком ассортименте, в том числе фосфогипс, «хвосты» флотации апатита и др.).

Физико-химические свойства твердых отходов разнообразны: от очень **активных токсичных** (соединения мышьяка, фтора, фосфора, ртути) до **инертных** (мел, гипс, глинозем).

Отрицательное влияние твердых отходов на окружающую среду весьма значительно. В населенных пунктах твердые отходы накапливаются на санкционированных (убираемых) свалках, которые состоят на учете в Сан-эпиднадзоре и закреплены за конкретными предприятиями, организациями и службами. Гораздо более опасными являются несанкционированные (бесконтрольные) свалки, которые, несмотря на штрафные санкции, возникают постоянно и повсеместно. Именно поэтому специалисты-экологи должны уделять им особое внимание.

В качестве примера можно привести деятельность научного общества учащихся ПЭЛ № 330, которые обнаружили в Капотне и «привязали» к карте несанкционированную свалку вышедшего из строя торгового оборудования. Свалка занимала площадь около 90 м<sup>3</sup>. После обращения к администрации района мусор был удален. В химической лаборатории лицея был проведен качественный анализ почвы, показавший наличие в ней повышенной кислотности и высокое содержание солей железа и хрома. Растительность на месте свалки отсутствует до настоящего времени.

Правовые основы обращения с отходами определяет Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» 1998 г., который преследует две цели:

- предотвращение вредного воздействия отходов на человека и окружающую природовъедную среду;
- вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Отходы производства и потребления — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, изделий или продуктов, образовавшиеся в процессе производства или потребления, а также товары, утратившие свои потребительские свойства (закон не распространяется на отходы в виде выбросов в атмосферу, сбросов в водные объекты, радиоактивные отходы).

**Опасные отходы** — отходы, содержащие вредные вещества и обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрыво-пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней.

Источниками отходов являются:

- примеси в сырье, т. е. компоненты, которые не используются в данном процессе для получения готового продукта;
- неполнота протекания процесса, остаток полезного продукта в сырье;
- побочные химические реакции, приводящие к образованию неиспользуемых веществ.

Рациональное комплексное использование сырья позволяет уменьшить количество недоиспользованных веществ, увеличить ассортимент готовых продуктов, выпускать новые продукты из той части сырья, которая раньше уходила в отходы.

Характерен пример цветной металлургии, где постоянно растет количество элементов, извлекаемых из минерального сырья. Из 90 элементов, обнаруженных в биосфере Земли, предприятиями цветной металлургии извлекались:

Год	Число элементов
1913	15
1930	20
1940	24
1960	63
1970	74
1980	82
1990	88

Из медьсодержащих руд, в состав которых входят 25 элементов, извлекается 21 элемент. Из полиметаллического сырья извлекают 18 элементов и получают более 40 видов товарной продукции. Доля полезных элементов, извлекаемых из природного сырья в цветной металлургии, — одна из самых высоких и достигает 80%. Повышение выхода продукта на каждой стадии процесса приводит к уменьшению количества отходов и увеличению комплексного использования сырья. Радикальное средство против протекания побочных реакций — изменение технологии.

### 3. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАЛООТХОДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ.

Использование вторичного сырья (или изделий из него) в качестве сырья для нового производства называют рециклингом. Например, регенерировать различные смазочные масла можно путем устранения из них нежелательных веществ. Вторичное использование в производстве макулатуры или бывших в употреблении пластмасс также дает представление о рециклинге — возвращении отходов в сферу производства. На рис. 1.2 справа показана схема рециклинга производственных отходов.

Применение вторичного сырья имеет большое значение для экономии невозобновляемых природных источников, например руд, углей, нефти, и возобновляемых, например леса. Производство, основанное на использовании вторичного сырья, бывает, как правило, менее энергоемким и малоотходным.

Использование вторичного сырья чрезвычайно выгодно: увеличивается сырьевая база, снижаются расходы на добычу и импорт сырья, экономится энергия, окружающая среда не подвергается воздействию загрязняющих веществ, содержащихся в отходах.

В левой части схемы (рис. 1.2) представлено производство без использования вторичного сырья — большая потребность в природном сырье, большое количество отходов, значительное загрязнение среды. Справа на схеме представлено производство с использованием вторичного сырья — меньшая потребность в природном сырье для тех же объемов производства, меньшее количество отходов, меньшее загрязнение окружающей среды.

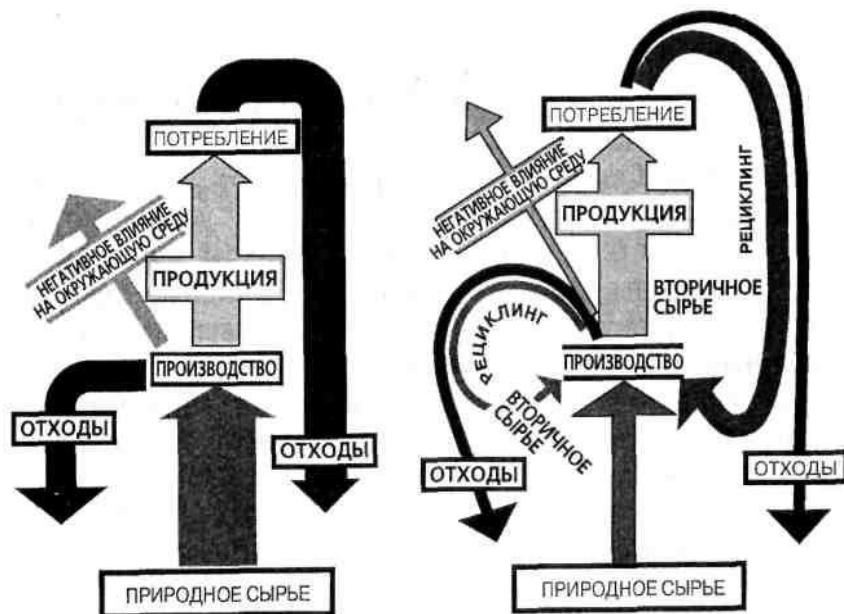


Рис. 1.2 Схема рециклинга производственных отходов

Разработка и реализация безотходных или чистых технологических процессов требуют больших затрат и во многих случаях неосуществимы. Для этого целесообразно создание безотходных или чистых предприятий, комбинатов или комплекса производств. Самые благоприятные возможности по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов создаются при кооперировании специально подобранных комплексов производств в границах промышленных центров и ТПК. Они играют важную роль в производстве товаров и услуг.

В рамках ТПК складываются наиболее благоприятные условия для решения сложнейших экологических проблем благодаря кооперированию различных производств таким образом, чтобы отходы одних предприятий использовались другими, оптимально решались транспортные проблемы и продуманно размещались жилые массивы и зоны отдыха.

Территориально-производственным комплексом называют такое экономически взаимосвязанное объединение предприятий в одной промышленной точке или в целом районе, при котором экономический эффект достигается за счет целесообразного, научно обоснованного сочетания производств в соответствии с природными и экономическими условиями района, его транспортным и экономико-географическим положением.

Экономическое развитие ТПК предусматривает создание эффективной структуры производства основных видов продукции, общей структуры для обеспечения выпуска этой продукции, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

При размещении производства в рамках ТПК необходимо:

- максимально сохранять природные условия на заповедных территориях;
- внедрять малоотходные, безотходные или чистые процессы и производства, потребляющие минимальное количество сырья и материалов;
- экономно использовать имеющиеся земли, и в первую очередь плодородные почвы;
- перераспределять природные ресурсы и промышленное сырье с целью создания условий для сохранения благоприятной природной среды;
- ограничивать или даже прекращать работу отдельных производств в отдельных районах (курортных или туристских зонах, заповедниках, зонах интенсивной жилой застройки и др.), а в ряде случаев, наоборот, создавать новые (например, предприятия по производству стройматериалов, на которых можно использовать большинство отходов).

Особое значение для экономики страны имеет интенсификация развития таких территориально-производственных комплексов РФ, как Курская магнитная аномалия, Оренбургский и Ангаро-Енисейский ТПК, Саянский, Братский, Усть-Илимский и Канско-Ачинский (КАТЭК) топливно-энергетические комплексы и др.

Основой для создания КАТЭК послужили огромные запасы каменного угля, залегающего вблизи поверхности земли и добываемого открытым способом. Благодаря высокой производительности труда и низким удельным капитальным затратам развитие КАТЭК может оказать значительное влияние на топливно-энергетический баланс нашей страны. В настоящее время приходится возить уголь на значительные расстояния, что ведет к высоким транспортным расходам. Кроме того, транспортировка в открытых вагонах обуславливает значительные потери угля за счет пыления и загрязнение окружающей среды. Поэтому новые энергоемкие производства необходимо размещать вблизи мест добычи угля, где вводятся в действие мощные тепловые электростанции. Часть энергии этих станций будет передаваться также на европейскую территорию страны.

Сосредоточение ГЭС в районе КАТЭК осложняет экологическую обстановку, так как производство электроэнергии сопровождается выбросами в воздушный бассейн больших количеств пыли, диоксида серы и оксидов азота. Поэтому должны быть внедрены эффективные системы предотвращения образования перечисленных вредных веществ или их очистки.

Предприятия ТПК являются отдельными ячейками общей системы промышленного узла. При этом данная промышленная система имеет несколько изолированных, т. е. не связанных между собой, выходов в биосферу.

Экологическое воздействие в целом на природу можно уменьшить, устранив вредные выбросы не только с помощью очистных сооружений, но и создавая системы

замкнутых материальных потоков. Для получения хлора, например, может быть использован метод электрохимической переработки отходов содового производства. В производственный цикл завода можно будет возвращать гидроксид кальция в виде отработанного электролита, а выделяющийся хлор использовать при проведении химических процессов.

Для регионов с напряженной экологической обстановкой следует в первую очередь проектировать такие промышленные предприятия, при эксплуатации которых существенно уменьшается количество образующихся отходов.

Расчет экономического эффекта от внедрения малоотходных и ресурсосберегающих производств основывается на сопоставлении затрат на их осуществление с экономическим результатом, достигнутым при их реализации, выражаемым величиной ликвидированного (предотвращенного) экологического ущерба, наносимого загрязнением окружающей среды, который рассчитывается следующим образом.

При малоотходном (ресурсосберегающем) производстве рационально используются сырье и энергия, а вредное влияние на биосферу сведено к минимуму. Поэтому экономическая эффективности технических природоохранных мероприятий (экобиозащитная техника, малоотходные технологии и др.) оценивается, прежде всего, по повышению эффективности того или иного производства.

Общая (абсолютная) экономическая эффективность — эффективность затрат  $\mathcal{E}_3$ , руб., определяется как отношение годового полного экономического эффекта  $\mathcal{E}$  к приведенным затратам на осуществление мероприятия

$$\mathcal{E}_3 = \frac{\mathcal{E}}{C + E_n K},$$

где  $C$  — текущие затраты в течение года;

$E_n$  — норматив эффективности для приведения капитальных вложений к годовой раз мерности;

$K$  — капитальные вложения, определившие эффект.

Если эффект  $\mathcal{E}$  — результат проведения долговременного мероприятия, растянувшегося на несколько лет, то можно рассчитать интегральный эффект  $\sum (C + K)$  за период, превышающий срок окупаемости  $t = 1/E_n$ . Тогда эффективность затрат определится по формуле

$$\Theta_3 = \frac{\sum \Theta}{\sum (C + K)}.$$

## 1.19 Лекция № 19

Тема: Количественные и качественные характеристики отходов

1. Вопросы лекции:

1. Классификация ТБО.
2. Комплексное управление отходами.
3. Сбор и временное хранение отходов.
4. Вторсырье. Сбор и использование.

2. Краткое содержание вопросов:

. Радикальное решение проблемы защиты земель от отходов возможно при разработке новых технологий и малоотходных производств. Для обобщения особенностей малоотходного производства можно выделить ряд взаимосвязанных принципов, лежащих в его основе.

Ключевым в этом ряду является принцип системности (рис. 10.26, а). В соответствии с этим принципом каждый отдельный процесс или производство рассматриваются как элемент более сложной индустриальной системы.

Так, например, отходы нефтехимии — шламы, теплоэнергетики — золошлаковая смесь, химической промышленности — отсев извести используются для получения цемента, при этом возникающие отходы используются в промышленности строительных материалов, а отходы последней в сельскохозяйственной отрасли и т. д.

Другой важнейший принцип — принцип комплексности использования сырьевых ресурсов (см. рис. 10.26, б). Практически все используемое сырье многокомпонентно, и в среднем на 1/3 его стоимости составляют сопутствующие элементы. Так, уже в настоящее время практически все серебро, висмут, платину, более 20 % золота и около 30 % серы получают «попутно» при переработке комплексных РУД. Повышение комплексности использования ресурсов, например,

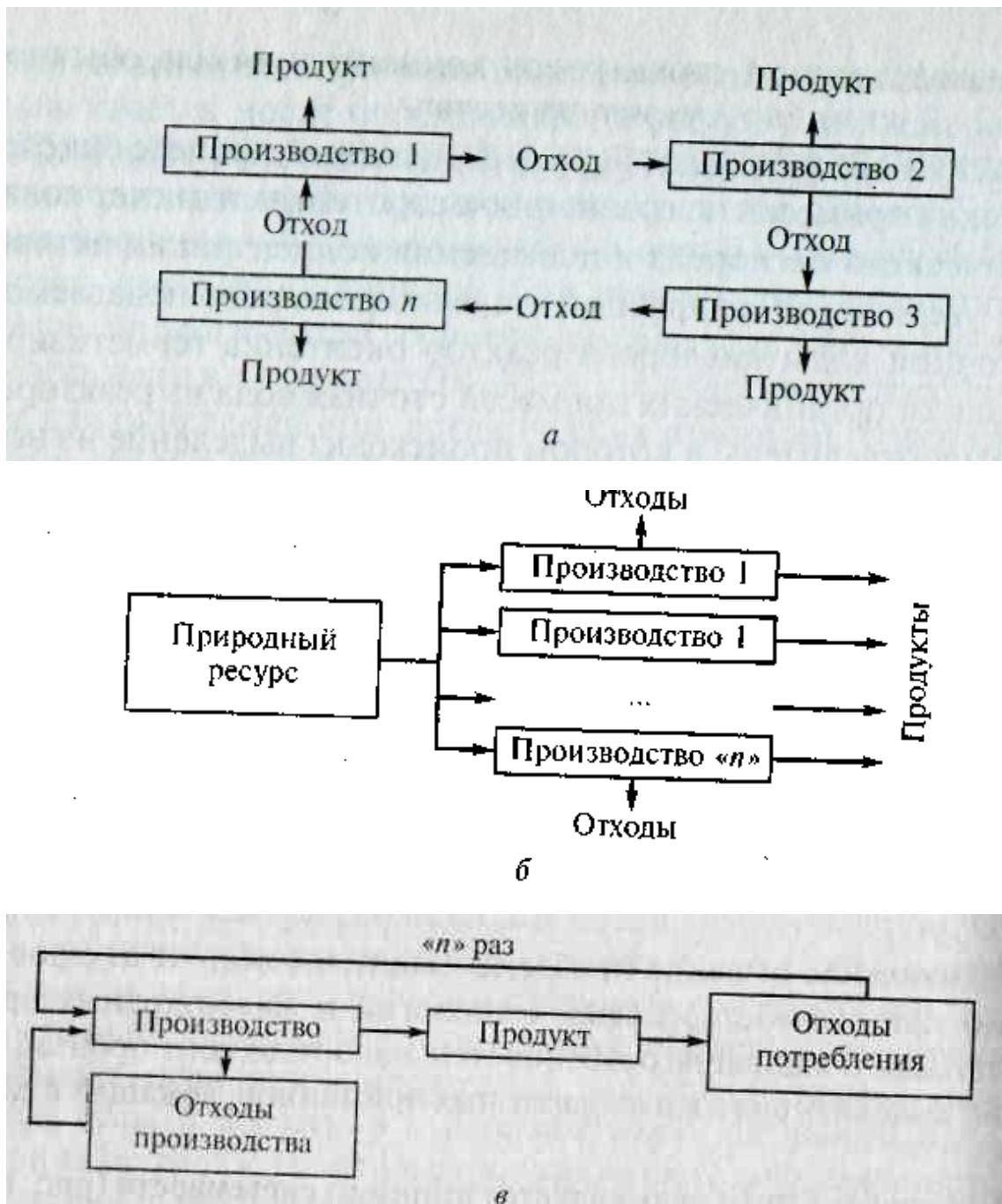


Рис. 10.26. Принципы малоотходных технологий:

а — системности; б — комплексности; в — цикличности. Увеличение числа «n» ведет к существенному снижению отходов

в лесопромышленном производстве, имеет не только экологическое, но и важное экономическое значение.

Третьим принципом создания малоотходного производства является принцип цикличности материальных потоков (рециклинг) (см. рис. 10.26, в), где важную роль играют замкнутые водооборотные циклы, рециркуляция газовых потоков, утилизация твердых отходов. Во всем мире это направление приобретает весьма важное значение. Уже сейчас технически возможно использовать 2/3 образующихся отходов, причем капитальные вложения при переработке вторичного сырья примерно в 4 раза меньше, чем первичного.

Эколого-экономический эффект использования вторичного сырья на примере трех распространенных видов отходов представлен в табл. 10.6.

Таблица 10.6. Эффект, %, по отношению к производству из первичного сырья

В нашей стране за счет использования вторичного сырья производится 30 % стали, 25 % бумаги, 20 % цветных металлов. Однако существуют пределы в утилизации отходов. По мере увеличения доли вторичного сырья, в материальных циклах идет накопление примесного вещества. Например в стали, выплавленной из металлома, накапливается медь, цинк, кобальт. При увеличении степени утилизации отходов требуются большие затраты энергии на очистку и сепарацию данного вида отходов. Влияние степени утилизации на расход энергии показано на рис. 10.27.

Вид производства	Постигаемый эффект		
	Сталь из железного лома	Стекло из стеклобоя	Бумага из макулатуры
Сокращение:			
загрязнения воздуха	86	14	73
загрязнения воды	76	--	35
твердых отходов	57	79	39

Экономия:			
энергии	74	6	70
воды	40	50	61
первичных ресурсов	90	54	100

Из этой закономерности следует вывод о принципиальной недостижимости 100 % утилизации отходов, т. е. невозможности создания абсолютно безотходного производства.

Правовые основы обращения с отходами определяет Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» 1998 г., который преследует две цели:

- предотвращение вредного воздействия отходов на человека и окружающую природоведческую среду;
- вовлечение отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

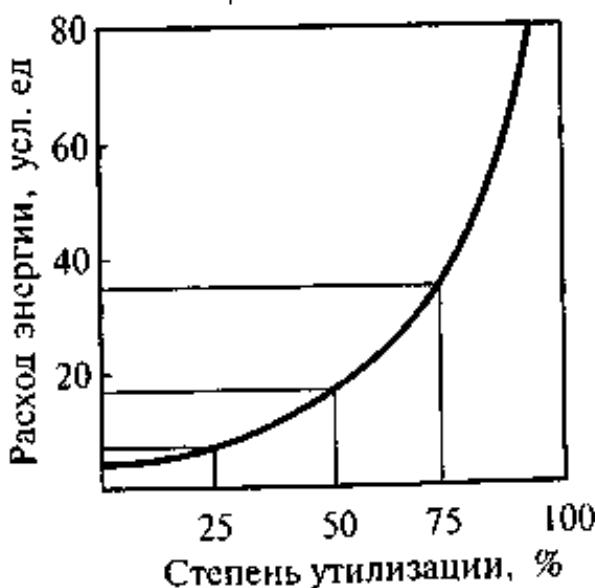


Рис 10.27. Влияние степени утилизации отходов на расход энергии

Закон формулирует основные Понятия

Отходы производства и потребления — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, изделий или продуктов, образовавшиеся в процессе производства или потребления, а также товары, утратившие свои потребительские свойства (закон не распространяется на отходы в виде выбросов в атмосферу, сбросов в водные объекты, радиоактивные отходы).

**Опасные отходы** — отходы, содержащие вредные вещества и обладающие опасными свойствами (токсичностью, взрыво-пожароопасностью, высокой реакционной способностью) или содержащие возбудителей инфекционных болезней.

**Обращение с отходами** — деятельность, в процессе которой отходы образуются, собираются, используются, обезвреживаются, транспортируются, размещаются (хранятся или захораниваются).

**Объект размещения отходов** — специально оборудованное сооружение, предназначенное для временного или постоянного размещения отходов (полигон, шламохранилище, отвал горных пород и др.). I

**Лимит на размещение отходов** — предельно допустимое количество отходов конкретного вида, которое разрешается размещать определенным способом на установленный срок с учетом экологической обстановки на данной территории (аналог ПДВ и ПДС).

**Норматив образования отходов** — установленное количество отходов конкретного вида при производстве единицы продукции (расчитывается с учетом типа технологии и коэффициента использования материалов).

**Паспорт опасных отходов** — документ, удостоверяющий принадлежность отходов к отходам соответствующего вида и класса опасности, содержащий сведения об их составе.

**Промышленные отходы (ПО)** классифицируются по агрегатному состоянию: твердые (строительный мусор, пустая горная порода, шлак, зола, металлы, пластмассы, резина и т. п.); пастообразные (шламы очистных сооружений сточных вод, краски, смолы, загущенные нефтепродукты) и жидкые (смазочно-охлаждающие жидкости, растворители, отходы гальванопроизводства и т. п.). Их разделяют на два вида: нетоксичные (неопасные, нейтральные для окружающей среды и человека) и токсичные.

В соответствии с Санитарными правилами «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов» (1985) токсичные промышленные отходы подразделяют на четыре класса: **I класс** — чрезвычайно опасные (наличие в отходах ртути, хромовокислого калия, оксида мышьяка и других токсичных веществ);

**II класс** — высоко опасные (наличие хлористой меди и никеля, азотокислого свинца, сурьмы и др.);

**III класс** — умеренно опасные (наличие, например, сернокислой меди, оксида свинца, четыреххлористого углерода);

**IV класс** — малоопасные.

Класс опасности промышленных отходов определяется природо-пользователем расчетным путем по нормативному документу «Методические рекомендации и порядок определения класса опасности отходов» (1996).

Природопользователь, кроме того, обязан организовать сбор, временное хранение токсичных отходов на территории предприятия, рассчитать норматив образования отходов, согласовать лимит на размещение отходов с территориальными органами Госсанэпидемнадзора и составить паспорт опасных отходов.

**Нетоксичные ПО** используются для засыпки оврагов, в качестве изолирующего материала на свалках бытовых отходов, при строительстве дорог и дамб. Часть токсичных отходов, слаборастворимых в воде, III и IV классов опасности допускается для совместного складирования и сжигания с твердыми бытовыми отходами при условии соблюдения санитарно-гигиенических требований.

Основная номенклатура токсичных ПО в соответствии со СНиП 2.01.28—85 должна подвергаться обработке на специальном региональном полигоне. Полигон является природоохранным объектом,

включающим:

- завод по обезвреживанию и утилизации токсичных ПО;
- гараж специализированного автотранспорта;
- участок захоронения неутилизируемых токсичных отходов;
- сооружения очистки поверхностных вод, хозяйствственно-бытовой канализации и дренажа.

На полигоне осуществляют сбор токсичных ПО на предприятиях, их транспортировку, прием, учет, обезвреживание и захоронение.

Статистика промышленных стран Европы показала, что подавляющее количество токсичных ПО (до 80 %) органического происхождения. По физическому состоянию и теплотворной способности отходы бывают:

Твердые, органического происхождения 50 -- 60 % (15-20 МДж/кг)

Пасты и шламы органического происхождения . . 10-15% (12 - 25 МДж/кг)

Жидкие органические отходы..... 10+ 15 % (5 + 28 МДж/кг)

Шламы, содержащие органические и минеральные за  
грязнения ..... 6 + 8%

Отходы неорганические..... 8 + 10 %

Наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных промышленных отходов в настоящее время являются:

- для отходов органического происхождения — сжигание при высоких температурах —900 - 1100°C (при наличии галогенсодержа-

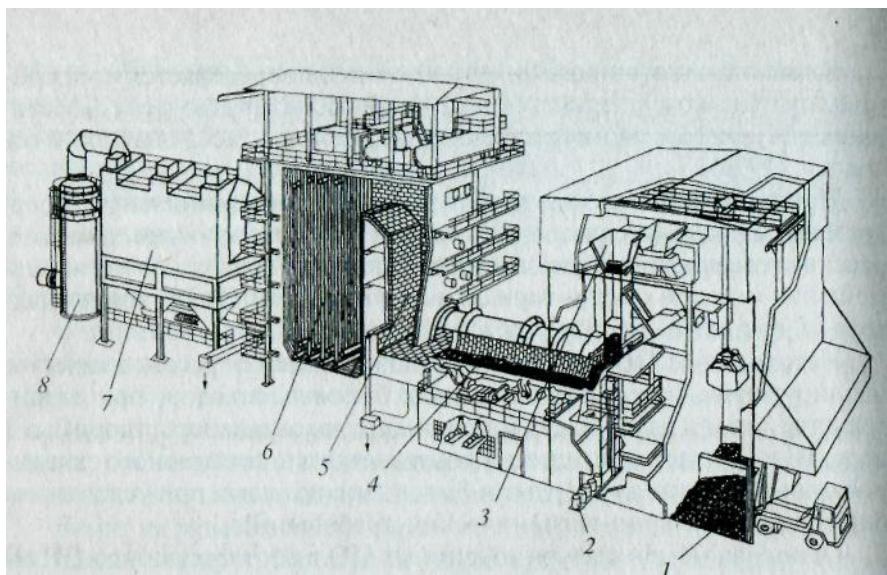


Рис. 10.28. Установка термического обезвреживания токсичных промышленных отходов (фирма «МАН» — ФРГ):

1 — разгрузка отходов; 2 — загрузка бочек; 3 — загрузка сыпучих отходов; 4 — печь с вращающимся барабаном; 5 — камера дожигания; 6 — котел-утилизатор; 7 — электрофильтр; 8 — скруббер

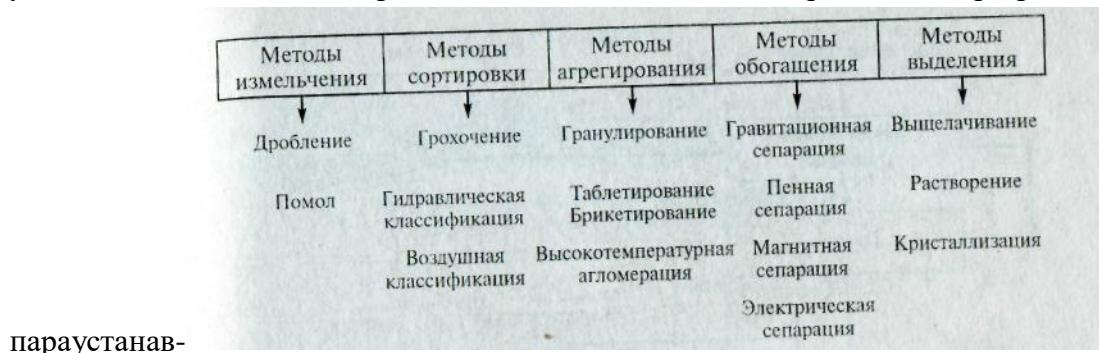
щих соединений до 1200 - 1400°C). При этом методе большая часть всех токсичных отходов обезвреживается, а объем несгоревших остатков может быть доведен до 10 % первоначального объема;

— для неорганических веществ — физико-химическая обработка в несколько стадий, которая приводит к образованию безвредных, нерастворимых в воде соединений.

Типичная установка для сжигания неутилизируемых токсичных органических отходов представлена на рис. 10.28. Вращающийся барабан печи является основным элементом установки для сжигания отходов. Загрузка печи твердыми отходами осуществляется мостовым краном с грейфером, пастообразные отходы в бочках подаются при помощи роликовых транспортеров, жидкие отходы — насосами по трубопроводам к форсункам-горелкам. Скорость дымовых газов в барабане 2 - 3 м/с, коэффициент избытка воздуха  $\alpha = 2,2 - 2,5$ , время нахождения отходов в печи 0,5 - 2 ч.

В камере дожигания достигается полное окисление всех органических загрязнений дымовых газов. В нижней части печи располагается система мокрого золо-шлакоудаления. Для охлаждения выходящих из камеры дожигания дымовых газов и

утилизации теплоты сгорания отходов с целью выработки перегретого водяного



параустанов-

Рис. 10.29. Наиболее распространенные методы подготовки твердых отходов к переработке

ливаются котел-утилизатор. Система очистки дымовых газов, как правило, состоит из очистки газов от пыли (циклон, электрофильтр) и адсорбции токсичных газов (скруббер, орошающий водным раствором солей с добавлением щелочных компонентов).

Технологии переработки неорганических отходов основываются на механических, гидродинамических, тепловых, диффузионных, химических, биохимических процессах. В реальной технологии обезвреживания и утилизации токсичных отходов сочетаются различные методы воздействия.

Наиболее распространенные методы подготовки твердых отходов к переработке, лежащие в основе большинства технологических схем, представлены на рис. 10.29. Пример технологической схемы переработки аккумуляторного лома изображен на рис. 10.30.

Твердые бытовые отходы (ТБО). В мировой практике известно более 20 методов переработки ТБО, которые по конечной цели делятся на ликвидационные (в основе санитарно-экологические задачи) и утилизационные (использование вторичных ресурсов). Большинство этих методов не нашли значительного распространения в связи с их технологической сложностью и высокой себестоимостью переработки

ТБО.

Наибольшее практическое распространение получили следующие методы:

- складирование на полигоне (свалке);
- сжигание;
- аэробное биотермическое компостирование;
- комплекс компостирования и сжигания (или пиролиза).

Полигон ТБО — наиболее простое и дешевое сооружение, устраиваемое в местах, где основанием могут служить глины и тяжелые

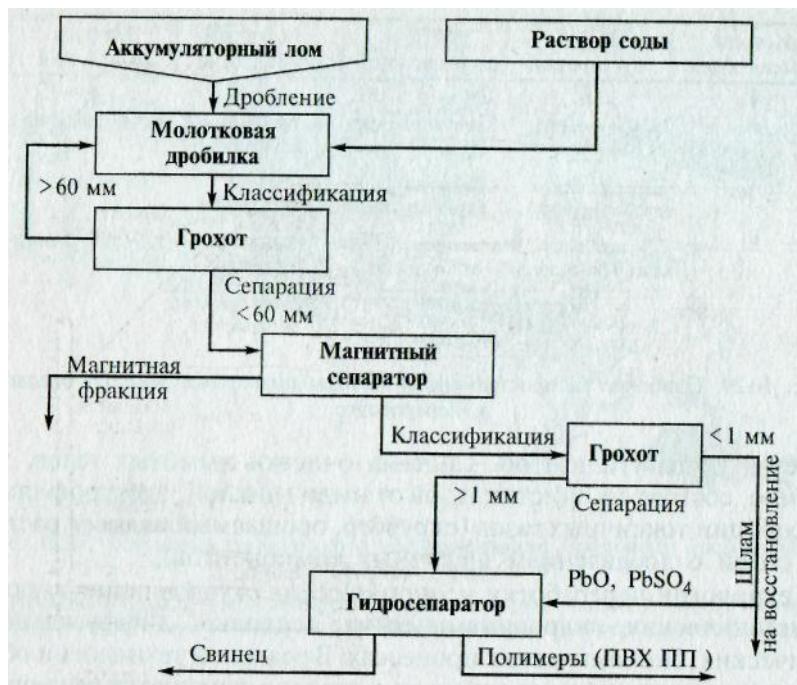


Рис. 10.30. Технологическая схема переработки аккумуляторного лома

суглинки. Основная масса ТБО вывозится на такие полигоны (свалки), которые являются источниками загрязнения почвы, грунтовых вод и атмосферы, служат рассадником мух и крыс.

В государствах с жестким законодательством по охране окружающей среды ТБО либо сжигают, либо перерабатывают. К 2010 г. страны ЕЭС предполагают запретить 100 %-е захоронение ТБО на полигонах.

Самая серьезная проблема — это загрязнение грунтовых вод. Вода с растворенными в ней загрязнителями называется фильтратом, в котором, наряду с остатками разлагающейся органики, красителей и другими химикатами, присутствует железо, ртуть, свинец, цинк и другие металлы из ржавеющих консервных банок, разряженных батареек и других электроприборов.

Вторая проблема — образование метана. У захороненного мусора нет доступа к кислороду. Поэтому его разложение идет анаэробно, с образованием биогаза, на 2/3 состоящего из легковоспламеняющегося метана. Образуясь в толще захоронения отходов, он может распространяться в земле горизонтально, проникая в подвалы зданий, тон-

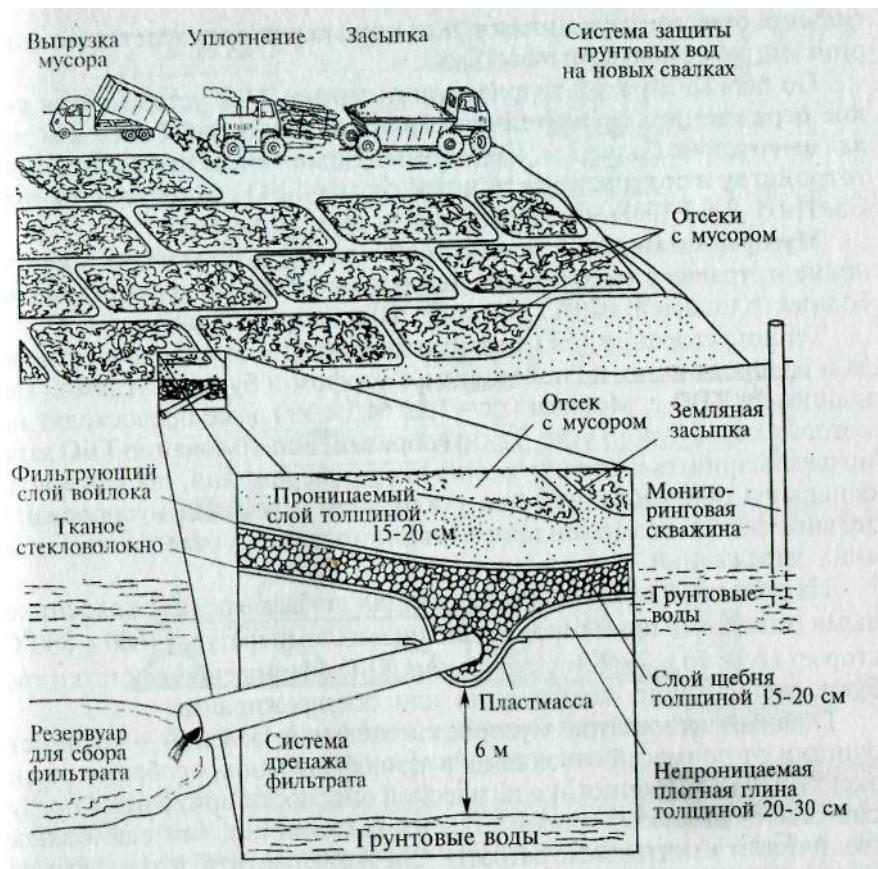


Рис. 10.31. Организация работ на современном полигоне ТБО

нели коммуникаций, накапливаться там и взрываться. Метан, распространяющийся вверх, отравляет корни, губит растительность в местах захоронения отходов.

Реальная плата населения за захоронение ТБО на полигонах составляет от 30 до 50 руб. на человека в год и около 60 % этих средств расходуется на транспортировку.

На рис. 10.31 представлена схема современного захоронения отходов с системой защиты окружающей среды. Могильник расположен на возвышенности, значительно выше уровня грунтовых вод. Дно его изолировано уплотненным слоем глины, на котором находится слой щебня для отвода фильтрата и метана. Один слой мусора укладывается на другой, уплотняется, засыпается грунтом так, что получается пирамидаобразная насыпь, с которой стекает вода. Могильник окружен скважинами, с помощью которых ведется мониторинг загрязнения грунтовых вод.

По периметру всей территории полигона ТБО устраивается легкое ограждение, осушительная траншея глубиной более 2 м или вал высотой не более 2 м. Подробные гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для ТБО сформулированы в СанПиН 2.1.7.1038—01. Появился новый документ.

Мусоросжигательные заводы получили значительное распространение в странах с высокой плотностью населения и дефицитом свободных площадей (ФРГ, Япония, Швейцария и др.).

Теплота сгорания ТБО линейно зависит от массовой доли углерода и водорода в них и сопоставима с торфом и бурыми углями. Так, например, ТБО г. Москвы ( $Q = 7,23$  МДж/кг) даже превосходят некоторые сорта бурого угля. Таким образом, использование ТБО можно рассматривать и с точки зрения энергосбережения, так как заводы оснащены оборудованием для утилизации тепла. На мусоросжигательные заводы возможен прием инфицированных отходов медицинских учреждений.

На существующих мусоросжигающих заводах в печах с колосниковыми решетками при относительно низких температурах ( $600 - 800^{\circ}\text{C}$ ) сгорает всего 70 - 75 % составляющих ТБО. Несгоревшие остатки требуют специального захоронения или обезвреживания.

Главный недостаток мусоросжигательных заводов — трудность очистки от примесей отходящих в атмосферу газов, особенно от диоксинов. Для снижения экологической опасности приходится предусматривать вторую и третью ступени газоочистки, что еще больше увеличивает капитальные затраты. Следует отметить, что на всех заводах производится извлечение в качестве вторичного сырья черного металлома.

В московском регионе с середины 70-х годов функционируют три мусоросжигательных завода, в настоящее время они реконструируются и строятся еще четыре. Строительство заводов позволяет сберечь сотни гектаров дорогих пригородных земель, занимаемых полигонами, и сократить потребность в парке мусоровозов.

Высокая степень очистки дымовых газов полностью удовлетворяет требованиям российских нормативов по содержанию вредных веществ. Это достигается за счет установки реактора, в котором активированный уголь улавливает диоксины, фураны и соединения тяжелых металлов; известковое молоко нейтрализует  $\text{SO}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HC1}$ ; концентрация  $\text{NO}_x$  существенно снижается за счет системы впрыска карбамида; рукавный фильтр улавливает летучую золу.

Образующийся при сжигании ТБО шлак, зола и нерастворимые соли кальция из реактора перерабатываются в строительные материалы

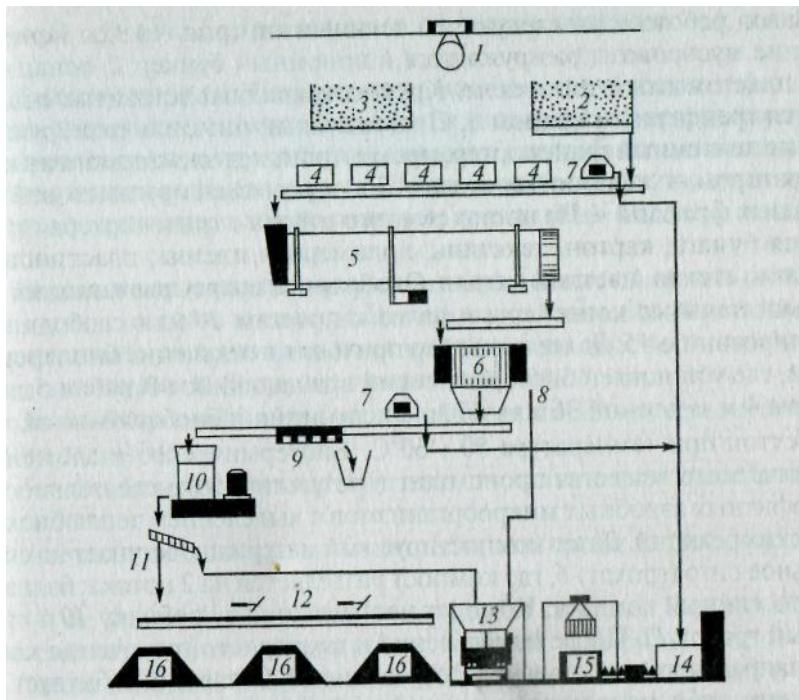


Рис. 10.32. Принципиальная технологическая схема мусороперерабатывающего завода:

1 — грейферный кран; 2 — приемный бункер, оснащенный пластинчатым питателем; 3 — резервный бункер; 4 — пункт отбора утильных фракций; 5 — биотермический барабан; 6 — цилиндрический грохот для компоста; 7 — подвесной конвейерный железоотделитель; 8 — крупный отсев; 9 — сепаратор цветного металлолома; 10 — дробилка для доизмельчения компоста; 11 — контрольный грохот для компоста; 12 — плужковый сбрасыватель; 13 — бункер балласта; 14 — наке-тировочный пресс для металлолома; 15 — склад черного металлолома; 16 — штабеля компоста

лы. Утилизация вырабатываемого тепла (30 т пара в час) позволяет полностью обеспечить потребности завода в тепловой и электрической энергии, а их излишки передавать в городские электрические

сети.

Мусороперерабатывающие заводы, работающие по технологии аэробного биотермического компостирования, эксплуатируются во многих европейских странах, а также в крупных городах СНГ (Санкт-Петербурге, Москве, Нижнем Новгороде, Тольятти, Минске, Ташкенте и др.). При этой технологии ТБО обезвреживаются и превращаются в компост — органическое удобрение, используемое, например, для городского озеленения или в качестве биотоплива для теплиц.

Завод работает по следующей технологии: (рис. 10.32). Прибывающие мусоровозы разгружаются в приемный бункер 2, оснащенный пластинчатым питателем. Крупногабаритные предметы извлекаются грейферным краном 1. Пластинчатый питатель перегружает ТБО на ленточный транспортер, проходящий под электромагнитным сепаратором — железоотделителем 7 и через посты ручного отбора утильных фракций 4. На постах ручного отбора с транспортера отбираются бумага, картон, текстиль, полимерная пленка, пластиковые бутылки, стекло, цветной металл. Отобранное вторсырье попадает на вспомогательные конвейеры и далее к прессам 14 или свободному складированию 15. Далее конвейер проходит в отделение биопереработки, где установлен биотермический врачающийся барабан 5 диаметром 4 м и длиной 36 или 60 м. Экспозиция в биобарабане около двух суток при температуре 50 - 60°C. Биотермическое разложение органического вещества происходит в результате жизнедеятельности сапрофитных аэробных микроорганизмов с выделением тепла биохимических реакций. Далее компостируемый материал поступает на специальное сито (грохот) 6, где компост разделяется на 2 потока: балласт 8 и просеянный компост. Компост направляется в дробилку 10 и вторичный грохот 11. После измельчения и повторного грохочения компост направляется на площадку дозревания 16. Оставшийся балласт 13 подлежит либо использованию, либо захоронению на полигоне.

Комплексные заводы включают в себя технологические линии по компостированию около 50 % влагосодержащих органических фракций, сжиганию 20 % сухих фракций и вторичному использованию около 30 % ТБО. Такая технология может быть осуществлена только при активном участии всего населения, когда первичная сортировка ТБО ведется раздельно в специальные контейнеры для пищевых отходов, стекла, полимеров, макулатуры и т. п.

Сравнительные экономические показатели различных технологий обезвреживания и утилизации ТБО в средней климатической зоне при производительности 150 -- 300 тыс. т/год представлены в табл. 10.7.

Таблица 10.7. Удельные затраты различных технологий обезвреживания ТБО, дол./т

Показатель				
	С кладиро	С жигание	К омпости	К омпости
Удельные капитальные вложения	1 0 - 50 32-40	4 00 + 500	1 50 + 200	2 80 + 350 30 + 32

### 10.3.2. Требования к пищевым продуктам

В соответствии с Федеральным законом «О качестве и безопасности пищевых продуктов» от 2000 г. к пищевым относятся продукты в натуральном или переработанном виде, употребляемые в пищу, бутилированная питьевая вода и напитки, алкогольная продукция, жевательная резинка, а также пищевые и активные биологические добавки.

Безопасность пищевых продуктов — состояние обоснованной уверенности в том, что продукты при обычных условиях их использования не являются вредными и не представляют опасности для здоровья нынешнего и будущих поколений.

Закон запрещает находиться в обороте пищевым продуктам, которые не имеют:

- документов изготовителя или поставщика о качестве и безопасности;
- установленных сроков годности, или сроки годности которых истекли;
- не имеют маркировки, содержащей сведения, предусмотренные законом (пищевая ценность, условия хранения и др.).

Такие пищевые продукты признаются некачественными и опасными, подлежат утилизации или уничтожаются. Утилизация продуктов — это использование их в целях, отличных от тех, для которых продукты предназначены и в которых обычно используются. Возможность использования некачественных пищевых продуктов в качестве корма животным согласовывается с ветеринарной службой

РФ.

Новые пищевые продукты, изготовленные в России, подлежат государственной регистрации, а импортные — регистрации до их ввоза на территорию РФ. Предназначенные для регистрации продукты должны удовлетворять требованиям органолептических и физико-химических показателей, соответствовать нормативным требованиям к допустимому содержанию химических (в том числе радиоактивных), биологических веществ, микроорганизмов и других биологических организмов, представляющих опасность для здоровья.

Государственный надзор и контроль в области обеспечения безопасности пищевых продуктов осуществляется также над материалами и изделиями, контактирующими с продуктами: упаковка, тара, посуда, технологическое оборудование, приборы. Работники, связанные с изготовлением и оборотом пищевых продуктов, занятые в сфере общественного питания, проходят обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры.

## 1.6. Твердые отходы производства

В России, как и во всем мире, образуется огромное количество твердых отходов — десятки миллиардов тонн. Отвалы, свалки и полигоны для твердых отходов занимают площадь около 1 млн га. В них содержится много ценных веществ, которые зачастую

легче добыть из отходов, чем из первичного сырья; они засоряют атмосферу (при сжигании мусора), поверхностную и подземную воду и почву.

Почва — наименее подвижная среда. Она аккумулирует вредные вещества, находящиеся в атмосфере и водоемах, и практически не обладает свойствами самоочищения.

Основными веществами, загрязняющими почву, являются:

- соли тяжелых металлов (в том числе тетраэтилсвинец);
- нефть и нефтепродукты;
- пестициды и гербициды;
- радиоактивные вещества;
- загрязнители атмосферы (за счет выпадения);
- загрязнители водоемов (за счет осаждения). Предельно допустимые нормы загрязнения почвы

приведены в Приложении 1. В соответствии с принятой в РФ классификацией (ГОСТ 25916—83) твердые отходы делят на отходы производства и отходы потребления. Основные отходы производства:

- отходы черных и цветных металлов;
- отходы добычи и обогащения полезных ископаемых;
- зола, шлаки и углесодержащие отходы;
- отходы, содержащие пластмассы и полимеры;
- отходы, содержащие хлопчатобумажные, шерстяные, шелковые и синтетические волокна;
- резиносодержащие отходы;
- отходы, содержащие асбест;
- отходы стекла и строительных материалов;
- отходы переработки древесины;
- отходы кожевенного и мехового производств;
- отходы пищевых производств;
- отходы сельскохозяйственного производства. Основные отходы потребления:
- изношенные текстильные материалы;
- макулатура (отходы бумаги и картона, включая тару);
- бой стекла;
- изношенные резино- и асбестсодержащие изделия;
- изношенные изделия из пластмасс (включая тару);
- изношенные изделия из кожи;
- вышедшие из употребления изделия из древесины;
- металлические амортизационные изделия (в том числе тара);
- жилищно-коммунальные отходы (в том числе пищевые отходы);
- твердые продукты, улавливаемые на очистных сооружениях.

Как видно из приведенного перечня, отходами производства являются остатки сырья, материалов и полуфабрикатов, образовавшиеся в процессе производства продукции, утратившие исходные потребительские свойства, а также вещества, улавливаемые

при очистке отходящих технологических газов и сточных вод. Отходы потребления составляют изделия и материалы, утратившие потребительские свойства в результате физического или морального износа. Вторичное сырье составляют вторичные материальные ресурсы, которые могут быть использованы в промышленности.

В зависимости от объема отходы делят на крупнотоннажные и малотоннажные. Например, ил после биологической очистки воды на нефтеперерабатывающем заводе является крупнотоннажным отходом.

Отходы могут быть дорогостоящими и дешевыми; в частности, отходы, образующиеся после регенерации катализатора, являются дорогостоящими, а шлак металлургической печи — дешевым.

По влиянию на окружающую среду отходы делят на вредные и безвредные. Например, после того как 30 лет назад у Борисовских прудов в Москве засыпали свалку металлических отходов московского АЗЛК, в воде родников около пруда обнаружилось высокое содержание кадмия, меди и цинка. Эту воду употреблять для пищевых целей нельзя, однако жители близлежащих кварталов все-таки используют эту воду для питьевых целей.

Помимо промышленных отходов в жилых массивах образуется много твердых бытовых отходов (ТБО), на одного человека их приходится до 300 кг в год. Проблема ТБО особенно актуальна в мегаполисах. Так, в состав ТБО в Москве входят: бумага, картон — 28,8%; металлы — 5,7%; пищевые отходы — 28,5%; пластмасса — 5,1%; текстиль — 3,01%; стекло — 4,4%; горючие материалы — 1,8%; инертные материалы — 3,4%; отсев (мелкие частицы менее 15 мм) — 16,1%.

Среди основных источников твердых отходов (кроме ТБО) — энергетика (зола и шлаки, образующиеся при

сжигании твердого топлива); черная и цветная металлургия (шлаки, формовочная земля, коксовые остатки); угледобывающая промышленность (отвалы); деревообрабатывающая отрасль хозяйства (опилки, стружка); химическая промышленность (химические вещества в широком ассортименте, в том числе фосфогипс, «хвосты» флотации апатита и др.).

Физико-химические свойства твердых отходов разнообразны: от очень активных токсичных (соединения мышьяка, фтора, фосфора, ртути) до инертных (мел, гипс, глинозем).

Отрицательное влияние твердых отходов на окружающую среду весьма значительно. В населенных пунктах твердые отходы накапливаются на санкционированных (убираемых) свалках, которые состоят на учете в Сан-эпиднадзоре и закреплены за конкретными предприятиями, организациями и службами. Гораздо более опасными являются несанкционированные (бесконтрольные) свалки, которые, несмотря на штрафные санкции, возникают постоянно и повсеместно. Именно поэтому специалисты-экологи должны уделять им особое внимание.

В качестве примера можно привести деятельность научного общества учащихся ПЭЛ № 330, которые обнаружили в Капотне и «привязали» к карте несанкционированную свалку вышедшего из строя торгового оборудования. Свалка занимала площадь около 90 м<sup>3</sup>. После обращения к администрации района мусор был удален. В химической лаборатории лицея был проведен качественный анализ почвы, показавший наличие в ней повышенной кислотности и высокое содержание солей железа и хрома. Растительность на месте свалки отсутствует до настоящего времени.

#### Использование и переработка крупнотоннажных промышленных отходов

Количество накопленных и ежегодно образующихся крупнотоннажных промышленных отходов, как уже отмечалось, исчисляется миллиардами тонн. Поэтому проблема их использования и переработки является чрезвычайно важной.

Крупнотоннажные промышленные отходы используют в настоящее время для рекультивации нарушенных земель, планировки территорий, отсыпки дорог и дамб, в промышленности строительных материалов и в сельском хозяйстве, а также в качестве технологического и бытового топлива (в виде биогаза). Кроме того, почти для всех видов отходов разрабатываются новые технологии переработки с целью получения того или иного вида продукции.

Ежегодно в нашей стране образуется около 3 млрд т вскрышных (пустых) пород отходов угледобывающей промышленности и добычи руд для черной и цветной металлургии. В настоящее время использование этих отходов незначительно. Оно составляет лишь около 10% всего их объема. Однако в дальнейшем этот показатель значительно увеличится, так как использование вскрышных пород очень выгодно: эксплуатационные затраты на получение 1 м<sup>3</sup> щебня из отходов в 2—2,5 раза ниже, чем на добычу его из карьеров.

Рекультивация нарушенных земель — обязанность горно-добывающих предприятий. Она закреплена за ними законодательно.

#### Применение отходов в промышленности строительных материалов

Как показывает отечественный и зарубежный опыт, промышленность строительных материалов — единственная отрасль, которая уже сейчас способна использовать целый ряд многотоннажных отходов и побочных продуктов других отраслей (химической, производства минеральных удобрений, черной и цветной металлургии, отходы гальванического производства и др.). Это определяется тем, что многие виды промышленных отходов по своим свойствам и химическому составу близки к природному сырью, используемому в данной отрасли, и могут служить его полноценной и экономной заменой. В качестве примера можно привести использование отходов энергетики — золы и шлаков ТЭЦ.

Зола и шлаки ТЭЦ — источник сырьевых ресурсов для промышленности строительных материалов. Зола представляет собой тонкодисперсный материал, который без предварительного помола можно применять в качестве добавки к цементу, газобетону, керамзитобетону, силикатному кирпичу, при производстве глиняного кирпича. Кусковой

шлак используется как заполнитель бетона в дорожном строительстве. Золошлаковые смеси применяют в качестве вяжущих веществ.

На некоторых предприятиях отходы энергетики применяют довольно широко. При использовании отходов энергетики для производства строительных материалов возникает ряд технических, экономических и организационных проблем (транспорт, погрузка, отбор).

В первую очередь целесообразно применять отходы углеобогащения, золу и шлаки ТЭЦ, доменные шлаки черной металлургии, бой керамического кирпича.

Отходы угледобывающей, лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также сельского хозяйства находят применение в качестве топлива в промышленности и быту. Например, представляют интерес горячие отходы деревообрабатывающей промышленности, а также биогаз, получаемый при захоронении мусора.

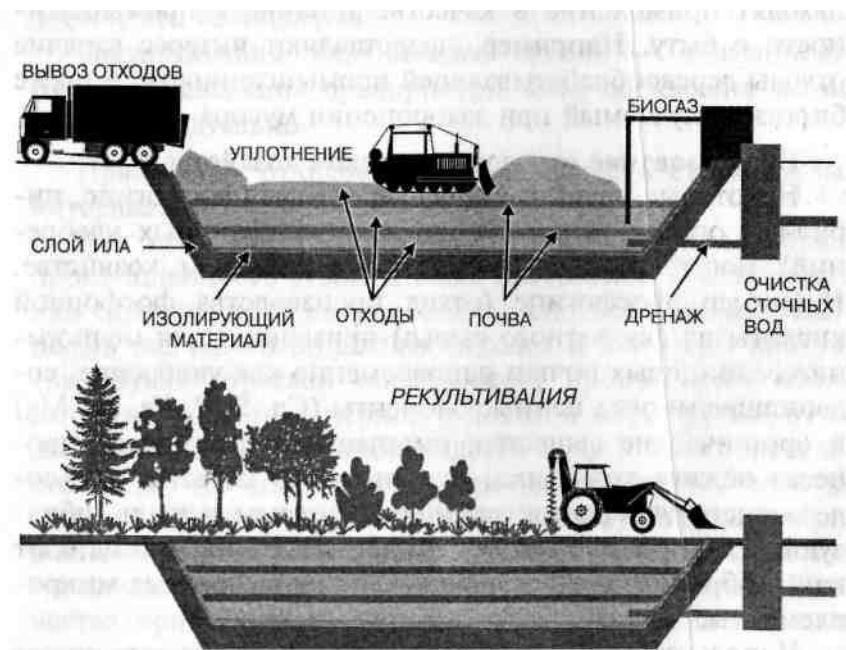
#### Использование отходов в сельском хозяйстве

Некоторые крупнотоннажные отходы (фосфогипс, пи-ритные огарки, отходы производства калийных удобрений) могут быть использованы в сельском хозяйстве. Например, фосфогипс (отход производства фосфорной кислоты из фосфатного сырья) применяют для мелиорации солонцовых почв и одновременно как удобрение, содержащее многие ценные элементы (Ca, S, P, Fe, Al, Mg) и органические вещества; пириитный огарок (отход процесса обжига колчедана) используют в качестве медьсодержащего удобрения; глинистые шламы и пыль, образующиеся при производстве хлорида калия, применяют как удобрение, содержащее кадмий и различные микроэлементы.

Использование отходов в сельском хозяйстве имеет свои сложности, поскольку наряду с полезными они содержат и вредные элементы. Так, в фосфогипс переходит

некоторое количество фтора из исходного апатита. В пи-ритных огарках в зависимости от состава исходного сырья могут присутствовать тяжелые металлы, мышьяк, селен.

#### Обезвреживание и захоронение токсичных отходов



Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов является экологической необходимостью. Это сложное дело, требующее больших капитальных и эксплуатационных затрат. В развитых странах количество токсичных отходов на одного человека в год составляет 70 кг, а стоимость обезвреживания 1т — 500 долларов. Обезвреживание и захоронение токсичных отходов производят на специальных полигонах, наличие которых предусматривается при разработке планов и проектов территорий, расположенных вблизи крупных городов. На рис. 1.15 показана схема захоронения твердых отходов и рекультивации земли.

Строительство полигонов следует осуществлять на основе долевого участия предприятий и организаций, имеющих отходы. Размеры долевого участия определяются пропорционально затратам на уничтожение и захоронение отходов.

Заказчиком полигона является предприятие, отходы которого требуют наибольших затрат на обезвреживание и захоронение. Построенные полигоны передают для эксплуатации соответствующим коммунальным хозяйствам. К сожалению, процент использования отходов и особенно процент их полного обезвреживания в настоящее время крайне низки (в 1996 г. они составили соответственно 61 и 2%).

Строительство и эксплуатацию полигонов осуществляют в соответствии с «Санитарными правилами проектирования, строительства и эксплуатации полигонов захоронения неутилизируемых отходов» и СНиП 1.02.28-85 «Основные положения по составу проекта полигона по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов».

Полигоны для обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов Рис. 1.15. Схема захоронения твердых отходов и рекультивации земли

являются природоохранными сооружениями. Они предназначены для регулярного централизованного сбора, удаления, обезвреживания и захоронения неиспользуемых токсичных отходов и некондиционных продуктов (веществ) промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций и учреждений, расположенных в одной или нескольких промышленных зонах.

Полигон должен включать в себя три основные группы объектов:

1. Завод (или ряд установок по обезвреживанию токсичных промышленных отходов), предназначенный для сжигания или физико-химической переработки отходов с целью их полного обезвреживания или снижения токсичности (класса опасности), перевода в нерастворимые формы, обезвоживания и сокращения объема отходов, подлежащих захоронению.

Участок для захоронения отходов, представляющий собой специально выбранную и подготовленную территорию, на которой располагают оборудованные котлованы, где складируют группы токсичных твердых отходов.

2. Гараж специализированного парка автомашин, предназначенных для транспортировки токсичных отходов.

Полигон размещают в обособленных, свободных от застройки, хорошо проветриваемых местах так, чтобы можно было легко осуществить мероприятия, исключающие загрязнение окружающей среды населенных пунктов, зон массового отдыха людей и источников питьевого водоснабжения (открытых водоемов, водохранилищ и подземных вод).

При сооружении полигона особое внимание уделяют проектированию дождевой и хозяйственно-бытовой канализации, а также дренажа. Общая система канализации полигона должна быть бессточной. На полигон не принимают вещества, которые можно обезвредить средствами предприятия, радиоактивные отходы (для них существуют специальные хранилища) и нефтепродукты, которые можно регенерировать.

Способ обезвреживания и захоронения отходов зависит от агрегатного состояния, водорастворимости и класса опасности веществ и их соединений. Токсичность (класс опасности) отходов, подлежащих захоронению, определяется в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными Минздравом РФ. По общепринятой классификации существует четыре класса опасности загрязняющих веществ: первый класс — чрезвычайно опасные, второй — высокоопасные, третий — умеренно опасные, четвертый — малоопасные.

К первому классу отнесены такие вещества, как сулфема, бенз-а-пирен, хром, оксид мышьяка, цианистый калий, треххлористая сурьма. Ко второму — хлористая медь, азотнокислый свинец, трехокись сурьмы. Третий класс составляют оксид свинца, никель, сульфат меди, четыреххлористый углерод. Четвертый класс — сульфат марганца, фосфаты, хлориды.

На все отходы, ввозимые на полигон, должен быть представлен паспорт с указанием состава отходов и кратким описанием требований безопасности при обращении с ними на полигоне (захоронении или сжигании). На полигоне взвешивают отходы и отбирают пробы для определения их состава. На контрольном талоне паспорта ставят штамп «Отходы приняты». Контрольный талон возвращается на предприятие, а паспорт остается на полигоне как документ для финансовых расчетов и статистический материал для определения количества и состава принятых отходов.

Схема работы полигона должна предусматривать следующие основные мероприятия, позволяющие регулярно и организованно, с соблюдением мер безопасности удалять неутилизируемые токсичные отходы, обезвреживать их и надежно захоранивать, обеспечивая защиту окружающей среды:

- организацию сбора неутилизируемых токсичных отходов на предприятиях-поставщиках;
- организацию транспортировки токсичных отходов на полигон;

— организацию приема токсичных отходов на полигоне, их обезвреживание и захоронение.

Наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных отходов в настоящее время являются:

— для отходов органического происхождения — сжигание при высоких температурах (при снижении температуры процесса возможно выделение суперэкотоксикатов);

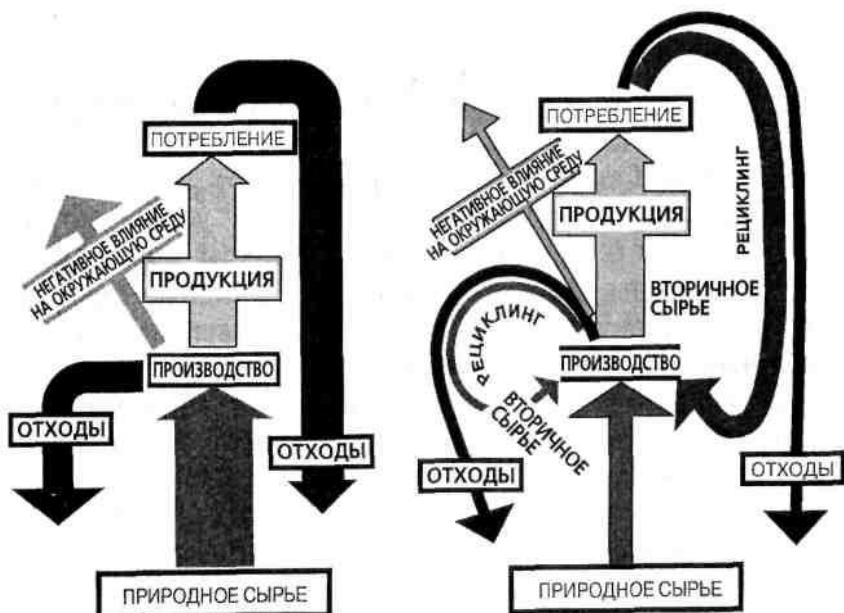
— для неорганических отходов — физико-химическая обработка в несколько стадий, которая приводит к образованию безвредных, в большинстве случаев нейтральных и нерастворимых в воде соединений.

Захоронение является наиболее распространенным и дешевым способом ликвидации твердых отходов. В местах их захоронения происходят различные процессы распада вредных веществ под воздействием микроорганизмов.

Неорганизованные свалки наносят вред окружающей среде не только тем, что уродуют пейзаж, — они служат источником загрязнения вод, воздуха и почвы. Свалки — это благоприятная среда для возникновения инфекций.

Место захоронения ТБО выбирают так, чтобы не загрязнять источники воды и сельскохозяйственные угодья. Дно и стенки котлована должны быть водонепроницаемыми и хорошо изолированными от подземных вод (обычно применяют водонепроницаемый слой ила или глины, который покрывают слоем фольги). С помощью экскаваторов, грейдеров отходы укладывают слоями мощностью до 1,8 м, перемежая слоями грунта толщиной около 15 см, чтобы предотвратить возгорание или распыление. После того как котлован заполнится, его сверху засыпают двухметровым слоем грунта и высаживают на нем зеленые насаждения — это рекультивация территории (рис. 1.15). Недостатком этого способа является то, что отходы в последующем не используют, в то время как образующийся при этом биогаз (чаще всего метан) можно улавливать и применять, например, для отопления жилых и производственных помещений.

Для складирования токсичных (ядовитых) отходов разработаны особые правила



захоронения. Эти отходы нельзя складировать вместе с бытовыми отходами, дно и стеки хранилища должны быть забетонированы, а отходы помещены в специальные изолированные контейнеры. Отдельно разработаны специальные правила захоронения радиоактивных отходов.

Все сырье, применяемое в производстве, имеет природное происхождение, природные источники, однако непосредственно на изготовление продукции идет лишь часть, причем меньшая, добываемых природных материалов — 4% добываемого сырья, остальное составляют производственные отходы. Например, при производстве 1 т стали образуется около 800 кг отходов.

Произведенная продукция кратковременного использования (продукты питания, одежда) или долговременного пользования (дома, машины, мосты, транспорт) превращается в отходы, утилизируется, потребляется (исключение составляют памятники культуры и природы, которые необходимо сохранять).

Содержащиеся во вторичном сырье вещества могут быть использованы после их регенерации, т. е. восстановления первоначальных качеств.

Использование вторичного сырья (или изделий из него) в качестве сырья для нового производства называют рециклингом. Например, регенерировать различные смазочные масла можно путем устранения из них нежелательных веществ. Вторичное использование в производстве макулатуры или бывших в употреблении пластмасс также дает представление о рециклинге — возвращении отходов в сферу производства. На рис. 1.16 справа показана схема рециклинга производственных отходов.

Применение вторичного сырья имеет большое значение для экономии невозобновляемых природных источников, например руд, углей, нефти, и возобновляемых, например леса. Производство, основанное на использовании вторичного сырья, бывает, как правило, менее энергоемким и малоотходным.

Использование вторичного сырья чрезвычайно выгодно: увеличивается сырьевая база, снижаются расходы на добычу и импорт сырья, экономится энергия, окружающая среда не подвергается воздействию загрязняющих веществ, содержащихся в отходах.

В левой части схемы (рис. 1.16) представлено производство без использования вторичного сырья — большая потребность в природном сырье, большее количество отходов, значительное загрязнение среды. Справа на схеме представлено производство с использованием вторичного сырья — меньшая потребность в природном сырье для тех же объемов производства, меньшее количество отходов, меньшее загрязнение окружающей среды.

#### Экологическая пригодность сырья и выпускаемой продукции

Рис. 1.16. Схема рециклинга производственных отходов

Требования к сырью и продукции предприятия определены законами РФ, в том числе законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (№ 52-ФЗ от

30.03.99). Санитарные правила, нормы и гигиенические нормативы — это нормативные акты, устанавливающие критерии безопасности и безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности. Санитарные правила обязательны для соблюдения всеми государственными органами и общественными предприятиями, организациями и учреждениями, должностными лицами и гражданами.

В соответствии с законом предприятия обязаны: — обеспечивать соблюдение действующего санитарного законодательства РФ и установленных санитарных правил, осуществлять производственный контроль за их выполнением;

— разрабатывать и проводить гигиенические противоэпидемические мероприятия, направленные на предупреждение и ликвидацию загрязнения окружающей среды, оздоровление условий труда, быта и отдыха населения, предупреждение возникновения и распространения

заболеваний;

— своевременно информировать органы и учреждения Государственной санитарно-эпидемиологической службы РФ об аварийных ситуациях, остановках производства, нарушениях технологических процессов, создающих угрозу санитарно-эпидемиологическому благополучию населения;

— выполнять заключения, постановления, распоряжения и предписания должностных лиц органов и учреждений Государственной санитарно-эпидемиологической службы РФ, в том числе их представления о приостановлении или прекращении финансирования деятельности организаций и предприятий, допускающих нарушения санитарного законодательства РФ;

— применять меры материального стимулирования, направленные на повышение заинтересованности трудовых коллективов и отдельных работников в соблюдении требований санитарного законодательства РФ и санитарных правил;

— создавать условия для поддержания здоровья работников и населения, для предупреждения заболеваний и формирования здорового образа жизни людей.

Предприятия должны выполнять следующие требования:

— сырье и продукция, производство, транспортировка, хранение и применение которых требуют непосредственного участия человека и могут оказать неблагоприятное влияние на его здоровье, по своим показателям и свойствам должны отвечать действующим санитарным правилам;

— новые технологии, материалы, вещества и изделия, предназначенные для использования в хозяйстве и быту, допускаются к постановке на производство, к внедрению и применению только на основании заключений органов

1.8. Территориально-производственные комплексы

Разработка и реализация безотходных или чистых технологических процессов требуют больших затрат и во многих случаях неосуществимы. Для этого целесообразно создание безотходных или чистых предприятий, комбинатов или комплекса производств. Самые благоприятные возможности по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов создаются при кооперировании специально подобранных комплексов производств в границах промышленных центров и ТПК. Они играют важную роль в производстве товаров и услуг.

В рамках ТПК складываются наиболее благоприятные условия для решения сложнейших экологических проблем благодаря кооперированию различных производств таким образом, чтобы отходы одних предприятий использовались другими, оптимально решались транспортные проблемы и продуманно размещались жилые массивы и зоны отдыха.

Территориально-производственным комплексом называют такое экономически взаимосвязанное объединение предприятий в одной промышленной точке или в целом районе, при котором экономический эффект достигается за счет целесообразного, научно обоснованного сочетания производств в соответствии с природными и экономическими условиями района, его транспортным и экономико-географическим положением.

Экономическое развитие ТПК предусматривает создание эффективной структуры производства основных видов продукции, общей структуры для обеспечения выпуска этой продукции, охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов.

При размещении производства в рамках ТПК необходимо:

- максимально сохранять природные условия на заповедных территориях;
- внедрять малоотходные, безотходные или чистые процессы и производства, потребляющие минимальное количество сырья и материалов;
- экономно использовать имеющиеся земли, и в первую очередь плодородные почвы;
- перераспределять природные ресурсы и промышленное сырье с целью создания условий для сохранения благоприятной природной среды;
- ограничивать или даже прекращать работу отдельных производств в отдельных районах (курортных или туристских зонах, заповедниках, зонах интенсивной жилой застройки и др.), а в ряде случаев, наоборот, создавать новые (например, предприятия по производству стройматериалов, на которых можно использовать большинство отходов).

Большое значение в деле охраны окружающей среды имеют разработка и строительство в населенных пунктах и на предприятиях очистных сооружений, переработка промышленных и коммунальных отходов, озеленение и создание санитарно-защитных зон.

Предприятия, производящие строительные материалы, могут использовать большое количество отходов, что дает возможность не только улучшить собственные экономические показатели и региона в целом, но и уменьшить вредное воздействие промышленности на окружающую среду. Переработка многотоннажных отходов химических, металлургических, энергетических и других производств в ценные строительные материалы и изделия позволяет высвободить плодородные земельные угодья, отводимые

под отвалы, существенно уменьшить загрязнение окружающей среды и повысить степень обеспеченности народного хозяйства строительными материалами при минимальных издержках производства. Использование отходов способствует росту рентабельности как предприятий, их производящих, так и предприятий, перерабатывающих отходы, снижению затрат на геолого-разведочные работы и экономии природного сырья в целом, т. е. повышению эффективности капитальных вложений в народное хозяйство.

Особое значение для экономики страны имеет интенсификация развития таких территориально-производственных комплексов РФ, как Курская магнитная аномалия, Оренбургский и Ангаро-Енисейский ТПК, Саянский, Братский, Усть-Илимский и Канско-Ачинский (КАТЭК) топливно-энергетические комплексы и др.

Основой для создания КАТЭК послужили огромные запасы каменного угля, залегающего вблизи поверхности земли и добываемого открытым способом. Благодаря высокой производительности труда и низким удельным капитальным затратам развитие КАТЭК может оказать значительное влияние на топливно-энергетический баланс нашей страны. В настоящее время приходится возить

уголь на значительные расстояния, что ведет к высоким транспортным расходам. Кроме того, транспортировка в открытых вагонах обуславливает значительные потери угля за счет пыления и загрязнение окружающей среды. Поэтому новые энергоемкие производства необходимо размещать вблизи мест добычи угля, где вводятся в действие мощные тепловые электростанции. Часть энергии этих станций будет передаваться также на европейскую территорию страны.

Сосредоточение ГЭС в районе КАТЭК осложняет экологическую обстановку, так как производство электроэнергии сопровождается выбросами в воздушный бассейн больших количеств пыли, диоксида серы и оксидов азота. Поэтому должны быть внедрены эффективные системы предотвращения образования перечисленных вредных веществ или их очистки.

Предприятия ТПК являются отдельными ячейками общей системы промышленного узла. При этом данная промышленная система имеет несколько изолированных, т. е. не связанных между собой, выходов в биосферу.

Экологическое воздействие в целом на природу можно уменьшить, устранив вредные выбросы не только с помощью очистных сооружений, но и создавая системы замкнутых материальных потоков. Для получения хлора, например, может быть использован метод электрохимической переработки отходов содового производства. В производственный цикл завода можно будет возвращать гидроксид кальция в виде отработанного электролита, а выделяющийся хлор использовать при проведении химических процессов.

Для регионов с напряженной экологической обстановкой следует в первую очередь проектировать такие промышленные предприятия, при эксплуатации которых существенно уменьшается количество образующихся отходов.

### 5.3. Экономическая эффективность малоотходных ] и ресурсосберегающих производств

Расчет экономического эффекта от внедрения малоотходных и ресурсосберегающих производств основывается на сопоставлении затрат на их осуществление с экономическим результатом, достигнутым при их реализации, выражаящимся величиной ликвидированного (предотвращенного) экологического ущерба, нанесенного загрязнением окружающей среды, который рассчитывается согласно [1 — 15].

При малоотходном (ресурсосберегающем) производстве рационально используются сырье и энергия, а вредное влияние на биосферу сведено к минимуму. Поэтому экономическая эффективности технических природоохранных мероприятий (экобиозащитная техника, малоотходные технологии и др.) оценивается, прежде всего, по повышению эффективности того или иного производства.

Общая (абсолютная) экономическая эффективность — эффективность затрат  $\Theta_3$ , руб., определяется как отношение годового полного экономического эффекта  $\Theta$  к приведенным затратам на осуществление мероприятия [10]

$$\Theta_3 = \frac{\Theta}{C + E_h K},$$

где  $C$  — текущие затраты в течение года;  $E_h$  — норматив эффективности для приведения капитальных вложений к годовой размерности;  $K$  — капитальные вложения, определившие эффект. Если эффект  $\Theta$  — результат проведения долговременного мероприятия, растянувшегося на несколько лет, то можно рассчитать интегральный эффект  $\Theta_3$  за период, превышающий срок окупаемости  $t = 1/E_h$ . Тогда эффективность затрат определяется по формуле

(5.51)

$$\Theta_3 = \frac{\sum \Theta}{\sum (C + K)}.$$

Первичный эффект от снижения отрицательного воздействия на среду (например, загрязнения), рассчитывается по формуле

$$\Theta_{\text{п.3}} = \frac{\Delta B}{C + E_h K}, \quad (5.52)$$

где  $\Delta B$  — снижение показателя отрицательного воздействия на среду (например, снижение концентрации вредных веществ в атмосфере или воде).

Этот же первичный эффект может быть выражен формулой

$$\Theta_{\text{п.3}} = \frac{P}{C + E_h K}, \quad (5.53)$$

где Р — показатель, характеризующий улучшение состояния окружающей среды в данной местности.

Экономический эффект от природоохранных мероприятий может быть определен как общий — по приросту чистой продукции при стоимости природного ресурса (согласно его экономической оценке), а также как хозрасчетный — по приросту прибыли предприятия или снижению себестоимости продукции [10].

Экономический эффект, получаемый от сокращения ущерба АУ и увеличения прибыли предприятия ДП,

$$\Theta = \Delta Y + \Delta \Pi - (C + E_h K). \quad (5.54)$$

Ущерб, наносимый окружающей среде промышленным предприятием, равен сумме ущербов, наносимых атмосферному воздуху  $Y_a$ , водному бассейну  $Y_b$ , земельным ресурсам  $Y_3$ , недрам  $Y_h$ , Флоре и фауне  $Y_\Phi$ , т.е.

$$Y = Y_a + Y_b + Y_3 + Y_h + Y_\Phi. \quad (5.55)$$

Например, ущерб от сокращения сельскохозяйственных угодий при строительстве предприятия рассчитывается по формуле

(5.55)

$$Y_3 = \sum_{k=1}^n \Pi_{kj} \sum_{j=1}^m S_{kj},$$

где  $\Pi_{kj}$  — ценность, тыс. руб.;  $S_{kj}$  — площадь земли  $j$ -го участка  $k$ -го качества, га;  $n$  — число значений качества;  $m$  — число рассматриваемых участков.

Абсолютная эффективность дополнительных капитальных вложений на природоохранные мероприятия:

$$\Theta_\Phi = \Delta \Pi / K. \quad (5.57)1$$

Абсолютная экономическая эффективность природоохранных мероприятий (фактическая)

$$\Theta_\Phi^n = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Theta_{ij}}{C + E_h K}, \quad (5.58)1$$

где  $\Theta_{ij}$  — экономический эффект  $i$ -го вида на  $j$ -м объекте;  $E_h$  — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений ( $E_h = 0,12-0,16$ ).

Общий эффект от повышения производительности труда в отраслях материального производства рассчитывается по приросту чистой продукции, а в

непроизводственной сфере — по сокращению затрат; хозрасчетный эффект — по приросту прибыли или экономии затрат.

Общий эффект от сокращения сырья, топлива и материалов, в частности в отходах, сточных водах, газах и пыли, исчисляется по приросту чистой продукции, а хозрасчетный — по приросту прибыли или суммы экономии по стоимости сэкономленного за вычетом текущих затрат.

Общий эффект от лучшего использования оборудования вследствие улучшения среды определяется приростом чистой продукции в связи с сокращением простоев оборудования в ремонте и увеличением фонда машинного времени, уменьшением затрат на все виды ремонтов и обслуживания, ростом производительности труда работников. Хозрасчетный эффект рассчитывается по приросту прибыли от сокращения затрат на ремонты и от увеличения срока службы оборудования

$$\mathcal{E}_x = L_1 - L_2 + \Phi K_p (T_2 - T_1), \quad (5.59)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  — затраты на ремонт до и после природоохранных мероприятий;  $\Phi$  — среднегодовая стоимость оборудования;  $K_p$  — коэффициент годовой рентабельности основных фондов;  $T_1$  и  $T_2$  — продолжительность службы оборудования до и после проведения мероприятий.

Аналогично рассчитывают общий и хозрасчетный эффекты от повышения (понижения) качества продукции промышленности и сельского хозяйства, сокращения (увеличения) затрат на очистку воздуха и воды, на предотвращение гибели, повышение продуктивности и восстановление лесных насаждений и т.д.

При необходимости выбора самого выгодного варианта проведения природоохранных мероприятий используют методы экономического сравнения вариантов, рекомендуемые Типовой методикой определения экономической эффективности капитальных вложений [12]. Преимущество имеет вариант с наименьшими приведенными затратами, т.е. суммой эксплуатационных расходов и дисконтированных (приведенных) по нормативу эффективности капитальных вложений:

$C + E_h K \rightarrow \min.$  (5.60) Если проводятся мероприятия, требующие длительного срока и нескольких последовательных капитальных вложений, а также изменения эксплуатационных расходов, то расчет ведется по выражению

$$\sum_{t=1}^T (K_{\pi} + K_{d_t} + C_{e_t}) / (1 + E_h), \quad (5.61)$$

где  $T$  — общий срок осуществления всех мероприятий;  $K_{\pi}$  — первоначальные капитальные вложения;  $K_{d_t}$  — дополнительные капитальные вложения, необходимые для обеспечения нормальной работы природоохранных объектов в  $i$ -й год эксплуатации ( $t = 1, 2, 3, \dots, T$ );  $C_{e_t}$  — эксплуатационные расходы в  $t$ -й год;  $E_h$  — коэффициент дисконта затрат в соответствии с Инструкцией эффективности по строительству промышленных объектов ( $E_h = 0,08$ ). Ниже представлен показатель экономической эффективности природоохранных затрат [3]:

$$\mathcal{E}_3 = \left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{ij} - C_h \right) / (C_h + E_h K_h), \quad (5.62)$$

где  $\mathcal{E}_3$  — экономическая эффективность средозащитных затрат;  $\mathcal{E}_{ij}$  — экономический эффект  $i$ -го вида ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) от предотвращения потерь на  $j$ -м объекте ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ );  $C_h$  — годовые эксплуатационные расходы на основные фонды, обеспечившие полный экономический эффект;  $E_h$  — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений средозащитного назначения;  $K_h$  — капитальные вложения в строительство средозащитных сооружений;  $n$  — подстрочный индекс ( $C_h, K_h, E_h$ ) означает соответствие нормативам эффективности.

Методикой предусматривается и оценка экономической эффективности капитальных вложений в природоохранные мероприятия:

$$\mathcal{E}_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (\mathcal{E}_{ij} - C_h) / K_h. \quad (5.63)$$

Полный экономический эффект оценивается приростом национального дохода, который является конечной целью реализации средств на защиту окружающей среды.

Он может быть выражен как разность между полными затратами на функционирование хозяйственного комплекса (с учетом природоохранных мероприятий) и существующими затратами. Полные затраты (для сравниваемых вариантов) можно выразить суммой затрат на природоохранные мероприятия ( $Z_m$ ) и затрат в подразделениях, на которые распространяется эффект от внедрения мероприятия ( $Z_n$ ):

$$\begin{aligned} Z' &= Z'_m + Z'_n, \\ (5.64) \quad Z'' &= Z''_m + Z''_n, \end{aligned} \quad (5.65)$$

Разность последних слагаемых каждого варианта — снижение экономического ущерба ( $\Delta Y$ ), наносимого хозяйственной деятельности и населению страны:

$$\Delta Y = Z'_n - Z''_n. \quad (5.66)$$

Таким образом, прирост национального дохода

$$\blacksquare 1 \quad \Delta D = Z'_m - Z''_m + \Delta Y \quad (5.67) I$$

или

$$\Delta D = \Delta Y - \Delta Z_m, \quad (5.68)$$

где  $\Delta Z_m$  — дополнительные затраты на природоохранные мероприятия, приведшие к  $\Delta Y$ .

В конечном счете полный экономический эффект от затрат на охрану природы ( $\mathcal{E}_{ij}$ ) можно выразить через снижение экономического ущерба:

$$\Theta_{ij} = \Delta Y_{ij}, \quad (5.69)$$

Показателем экономической эффективности сравниваемых вариантов является минимум совокупных годовых эксплуатационных расходов и капитальных вложений:

$$C_H + E_H K_H \rightarrow \min. \quad (5.70)$$

Для капитальных вложений при отсутствии отраслевых инструкций принимают  $E_H = 0,15$ .

При мероприятиях с долгосрочным эффектом (восстановление лесных насаждений, рекультивации земель, воспроизводстве рыбных запасов и др.) и изменением во времени эксплуатационных расходов и капитальных вложений полные затраты (приведенные к началу расчетного периода) определяются по формуле

(5.71)

$$\sum_{t=1}^T = K_H + K_{\Delta t} + C_{\Delta t} / (1 + E_{nn}) \rightarrow \min,$$

где  $K_H$  — первоначальные капитальные вложения в мероприятия;  $K_{\Delta t}$  — дополнительные капиталовложения для обеспечения работы средозащитных сооружений в  $t$ -й год эксплуатации ( $t = 1, 2, 3, \dots, T$ );  $C_{\Delta t}$  — эксплуатационные расходы на основные фонды в  $t$ -й год;  $E_{nn}$  — нормативный коэффициент приведения разновременных затрат (0,08 — для обычных затрат; 0,10 — для затрат на новую технику; 0,03 — затраты на восстановление лесных насаждений и др.), принимаемый в соответствии с отраслевыми инструкциями.

В другой методике за суммарный (ранее общий, полный) критерий эффективности природоохранных мероприятий принят показатель эффективности, определяемый как отношение объема полного экологического ( $P_{\text{Экол}}$ ), экономического ( $P_{\text{Экон}}$ ) и социального  $(P_{\text{Соц}})$  эффектов ( $P_{\text{Соц}}$ ) к объему затрат (3), связанных с их проведением [7]:

$$\Theta = \sum P_{\text{Экол}} + P_{\text{Экон}} + P_{\text{Соц}} / 3. \quad (5.72)$$

При этом необходимо помнить:

экологическая эффективность природоохранных затрат определяется отнесением величины экологических результатов к вызвавшим их затратам. Экологические результаты рассчитываются по разности показателей состояния окружающей среды до и после мероприятий. Их характеристика в стоимостном выражении связана с решением проблем экономической оценки природных

ресурсов;

экономическая эффективность природоохранных затрат определяется отношением достигнутого экономического эффекта к объему природоохранных затрат;

социальная эффективность природоохранных затрат измеряется отношением обобщенного показателя, выражающего социальный эффект, к затратам, обеспечившим его достижение. Социальный результат определяется по разности показателей, характеризующих изменения в социальной сфере в результате осуществления средозащитных мероприятий.

В приводимой ниже расчетной методике оценки экономической эффективности малоотходных производств эффект образуется за счет непосредственного возвращения сырья (отходов) в производство  $\mathcal{E}_{\text{нв}}$ , предотвращения социально-экономического ущерба от загрязнения окружающей среды  $\mathcal{E}_y$  и снижения затрат на добычу сырья  $\mathcal{E}_d$  [9]:

(5.73)

$$\begin{aligned}\mathcal{E} &= \mathcal{E}_{\text{нв}} + \mathcal{E}_y + \mathcal{E}_d, \\ \mathcal{E}_{\text{нв}} &= z n f \mathcal{Z}_n,\end{aligned}\quad (5.74)$$

где  $z$  — замыкающие затраты на данный вид продукции;  $n$  — количество используемых отходов;  $f$  — коэффициент, учитывающий

количественное соотношение отходов и исходного сырья;  $\mathcal{Z}_n$  — приведенные затраты на вовлечение отходов в производственный цикл.

$$\mathcal{E}_y = Y_b - Y_\phi, \quad (5.75)$$

где  $Y_b$  — возможный ущерб при отсутствии природоохранных мероприятий, выраженный в стоимостной форме;  $Y_\phi$  — фактический ущерб, выраженный в стоимостной форме и существующий в данное время.

Региональный эффект  $\mathcal{E}_d$  может быть представлен в виде снижения приведенных затрат на единицу продукции за счет использования отходов производства.

Социально-экономический эффект малоотходных производств определяют по комплексному критерию

$$\eta = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i - Y/3_n \rightarrow \max, \quad (5.76)$$

где  $\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i$  — сумма всех эффектов, достигаемых при внедрении

малоотходного производства:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3 + \mathcal{E}_4 + \mathcal{E}_5, \quad (5.77)$$

где  $\mathcal{E}_1$  — эффект от производства конечной продукции, полученной при внедрении малоотходного производства и более полного использования исходного сырья;  $\mathcal{E}_2$  — эффект от потребления конечной продукции, полученной при внедрении малоотходного производства и более полного использования исходного сырья;  $\mathcal{E}_3$  — экономия затрат на разведку, добычу и транспортировку отдельного ресурса;  $\mathcal{E}_4$  — эффект от комплексного развития региона и совершенствования производственных сил;  $\mathcal{E}_5$  — внешнеторговый эффект (сокращение импорта или рост экспорта сырья, продуктов переработки, конечного продукта);  $U$  — ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления;  $Z_p$  — полные затраты на осуществление малоотходного и ресурсосберегающего производства.

При наличии ряда вариантов таких производств должен быть выбран вариант с наибольшим коэффициентом абсолютной социально-экономической эффективности при равных или близких по величине народнохозяйственных затратах (независимо от агрегатного состояния отходов: газообразного, жидкого, твердого или комбинированного).

## 5.1. Основные понятия

Природопользование — непосредственное и косвенное воздействие человека на окружающую среду в результате всей его деятельности. Рациональное природопользование — планомерное, научно обоснованное преобразование окружающей среды по мере совершенствования материального производства на основе комплексного использования невозобновляемых ресурсов в цикле: производство — потребление — вторичные ресурсы при условии сохранения и воспроизводства возобновляемых природных ресурсов [31, 32].

Изучение процессов, протекающих в биосфере, и влияния на них хозяйственной деятельности человека показывает, что только создание экологически безотходных и малоотходных производств может предотвратить оскудение природных ресурсов и деградацию природной среды. Хозяйственная деятельность людей должна строиться по принципу природных экосистем, которые экономно расходуют вещество и энергию и в которых отходы одних организмов служат средой обитания для других, т. е. осуществляется замкнутый кругооборот.

В XX в. человечество в результате научно-технической революции пришло к следующему техногенному кругообороту веществ (рис. 5.1).

Казалось бы, сегодня всем ясно, что время «покорения природы» безвозвратно прошло и начался период глубокого, заинтересованного познания ее законов. Однако на

практике объемы " отходов в стране растут в два-три раза быстрее, чем объемы производства и численность населения. Лавина отходов загрязняет природу, их вредные токсичные компоненты засоряют землю, воздух, реки, моря и озера. Причина кроется в сиюминутной выгоде для производства. Но разумный человек не должен считать выгодой уничтожение всего живого, «безумное прожигание» ресурсов, не только своих, но и принадлежащих будущим поколениям. Следовательно, пришло время коренным образом изменить сам подход к понятию выгодности, когда речь идет о природопользовании.

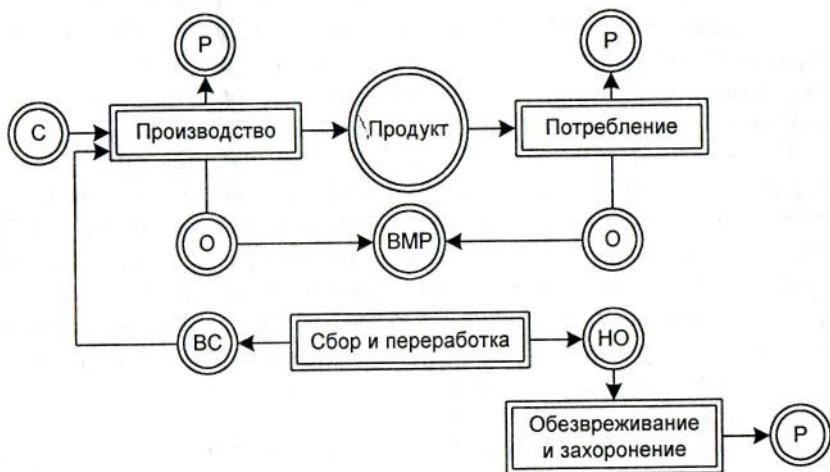


Рис. 5.1. Техногенный кругооборот веществ:

С — первичное сырье; Р — рассеивание в окружающей среде; О — отходы;

ВМР — вторичные материальные ресурсы; ВС — вторичное сырье;

НО — неутилизируемые ресурсы

Исходя из сказанного можно сформулировать наиболее общее определение рационального природопользования — это система взаимодействия общества и природы, построенная на основе научных законов природы и в наибольшей степени отвечающая задачам как развития производства, так и сохранения биосферы.

Из схемы техногенного кругооборота веществ (рис. 5.1) видно, что в отличие от природных кругооборотов он незамкнут во многих частях.

## 5.2. Безотходные и малоотходные

производства

Термин «безотходная технология» впервые предложен российскими учеными Н.Н. Семеновым и И.В. Петряновым-Соколовым в 1972 г. В ряде стран Западной Европы вместо «мало- и безотходная технология» применяется термин «чистая или более чистая технология» («pure or more pure technology»).

В соответствии с решением ЕЭК ООН и с Декларацией о малоотходной и безотходной технологиях и использовании отходов принята такая формулировка безотходной технологии (БОТ): «Безотходная технология есть практическое применение

знаний, методов и средств с тем, чтобы в рамках потребностей человека обеспечить наиболее рациональное использование природных ресурсов и энергии и защитить окружающую среду» [21].

В литературе встречаются и другие термины, например, «безотходная технологическая система» (БТС). Под БТС понимается такое отдельное производство или совокупность производств, в результате практической деятельности которых не происходит отрицательного воздействия на окружающую среду. В определении безотходной технологии подразумевается не только производственный процесс. Это понятие затрагивает и конечную продукцию, которая должна характеризоваться:

- долгим сроком службы изделий,
- возможностью многократного использования,
- простотой ремонта,
- легкостью возвращения в производственный цикл или перевода в экологически безвредную форму после выхода из строя.

Теория безотходных технологических процессов в рамках основных законов природопользования базируется на двух предпосылках:

- исходные природные ресурсы должны добываться один раз для всех возможных продуктов, а не каждый раз для отдельных;
- создаваемые продукты после использования по прямому назначению должны относительно легко превращаться в исходные элементы нового производства.

Схема такого процесса — «спрос — готовый продукт — сырье». Но каждый этап этой схемы требует затрат энергии, производство которой связано с потреблением природных ресурсов вне замкнутой системы. Вторым препятствием полной замкнутости процесса является износ материалов, их рассеивание в окружающей среде. Например, долгое, на протяжении многих столетий, использование таких металлов, как серебро, свинец, цинк, медь и др., и их рассеивание в процессе этого использования в ОС привели к тому, что сроки их исчерпания из земных недр составляют, согласно своду международных прогнозов «Мир в 2000 году», всего один-два десятка лет.

Понятие безотходной технологии условно. Под ним понимается теоретический предел или предельная модель производства, которая в большинстве случаев может быть реализована не в полной мере, а лишь частично (отсюда — малоотходная технология — МОТ). Но с развитием современных наукоемких технологий БОТ должна быть реализована все с большим приближением к идеальной модели.

Критики концепции безотходного производства утверждают, ссылаясь на второй закон термодинамики, что как энергию нельзя полностью перевести в работу, так и сырье невозможно полностью переработать в продукты производства и потребления. С этим нельзя согласиться, поскольку речь идет прежде всего о материи и о Земле как открытой системе, а материю — продукцию в соответствии с законом сохранения вещества и энергии всегда можно преобразовать снова в соответствующую продукцию. Примерами служат безотходно функционирующие природные экосистемы.

Имеется и другая крайность, когда все работы, связанные с охраной ОС от промышленных загрязнений, относят к БОТ и МОТ. Необходимо помнить, что оценка

степени безотходности производства — очень сложная задача и единых критериев для всех отраслей промышленности нет.

В целом комплексный подход к оценке степени безотходности производства должен базироваться на:

- учете не столько безотходности, сколько степени использования природных ресурсов;
- оценке производства на основе самого обычного материального баланса, т. е. на отношении выхода конечной продукции к массе поступившего сырья и полуфабрикатов;
- определении степени безотходности по количеству отходов, образующихся на единицу продукции.

Для точного определения степени безотходности необходимо введение поправки на токсичность отходов. Невозможно сопоставлять только по массе, например, отходы содового производства и отработанные растворы гальванических цехов. Для сравнительного анализа различных технологических схем однотипных производств, выпускающих продукцию одного и того же вида, на стадии их проектирования вполне может быть использован поправочный коэффициент на токсичность отходов.

Для расчета энергетических затрат следует рассматривать энергоемкость продукции с учетом коэффициентов безотходности. Только в этом случае можно получить объективный показатель безотходности рассматриваемого производства. Масштабы загрязнения ОС при производстве электроэнергии на ТЭС часто таковы, что могут свести к минимуму те экологические преимущества, которые удается достичь при совершенствовании основного производства. Например, в цветной металлургии о степени безотходности судят по коэффициенту комплексности использования сырья (во многих случаях он превышает 80%). В угледобывающей промышленности предприятие считается безотходным (малоотходным), если этот коэффициент не превышает 75%.

### 5.3. Основные принципы создания безотходных производств

Основные принципы создания безотходных производств заключаются в комплексном использовании сырья, создании принципиально новых и совершенствовании действующих технологий, создании замкнутых водо- и газооборотных циклов, кооперировании предприятий и создании территориально-производственных комплексов.

1. Комплексное использование сырья. Отходы производства — это неиспользованная или недоиспользованная по тем или иным причинам часть сырья. Поэтому проблема комплексного использования сырья имеет большое значение как с точки зрения экологии, так и с точки зрения экономики.

Необходимость комплексного использования природных ресурсов диктуется, с одной стороны, все увеличивающимися темпами роста объемов промышленных производств, загрязняющих окружающую среду, а с другой — необходимостью экономного их расходования, поскольку запасы основного минерального сырья ограничены, а цены на него непрерывно возрастают. С 1992 по 1996 гг. цены почти на все сырьевые материалы выросли более чем в 2 раза. В свою очередь рост цен ускоряет внедрение и разработку малоотходных и безотходных производств, поскольку расширяются пределы их экономической рентабельности.

Источниками отходов являются:

- примеси в сырье, т. е. компоненты, которые не используются в данном процессе для получения готового продукта;
- неполнота протекания процесса, остаток полезного продукта в сырье;
- побочные химические реакции, приводящие к образованию неиспользуемых веществ.

Рациональное комплексное использование сырья позволяет уменьшить количество недоиспользованных веществ, увеличить ассортимент готовых продуктов, выпускать новые продукты из той части сырья, которая раньше уходила в отходы.

Характерен пример цветной металлургии, где постоянно растет количество элементов, извлекаемых из минерального сырья. Из 90 элементов, обнаруженных в биосфере Земли, предприятиями цветной металлургии извлекались:

Год	Число элементов
1913	15
1930	20
1940	24
1960	63
1970	74
1980	82
1990	88

Из медьсодержащих руд, в состав которых входят 25 элементов, извлекается 21 элемент. Из полиметаллического сырья извлекают 18 элементов и получают более 40 видов товарной продукции. Доля полезных элементов, извлекаемых из природного сырья в цветной металлургии, — одна из самых высоких и достигает 80%. Повышение выхода продукта на каждой стадии процесса приводит к уменьшению количества отходов и увеличению комплексного использования сырья. Радикальное средство против протекания побочных реакций — изменение технологии.

2. Создание принципиально новых и совершенствование действующих технологий (схем). Это очень важный этап в технологии. Например, в основу создания атомной промышленности положены принципы, исключающие загрязнение окружающей среды или значительно снижающие его. На предприятии Атоммаша «Родон» высока надежность всех технологических схем и новых методов захоронения отходов. В черной металлургии создана новая технологическая схема, позволяющая сократить загрязнение среды — прямое восстановление железа.

3. Создание замкнутых водо- и газооборотных циклов. С позиций экологической безопасности и надежности не менее важной представляется задача по созданию замкнутых водо- и газооборотных циклов. Например, на ПО «Тулачермет» организован

замкнутый газооборотный цикл, разработанный для производств суперфосфатных и других фосфорных удобрений, что позволяет избежать загрязнения окружающей среды фторидами.

4. Кооперирование предприятий, создание территориально-производственных комплексов. В большинстве случаев отходы одного производства являются сырьем для других производств. В связи с этим предлагается сам термин «отходы» заменить на «продукты незавершенного производства». При этом основная задача состоит в изыскании возможностей для применения производств незавершенного производства в других производствах или отраслях народного хозяйства, которые могли бы строить свою деятельность на них как на вторичных материальных ресурсах. Например, в Бразилии из отходов производства сахара из тростника получают спирт, используемый в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Большая работа проводится в различных странах по созданию так называемых «банков отходов», т. е. по систематизации отходов различных отраслей промышленности, например, химической, нефтехимической отраслей, металлургии.

Наиболее благоприятные возможности для межотраслевого кооперирования складываются в условиях территориально-производственных комплексов (ТПК). Самый эффективный тип организации производства — сочетание межрайонной специализации с внутрирайонной кооперацией.

#### 5.4. Безотходное потребление

Обычно проблемы экологии и ресурсосбережения связывают с деятельностью предприятий, упуская из виду, что различные ресурсы потребляются в быту. Объемы потребляемых населением материальных благ и ресурсов весьма значительны. Например, соотношение между потреблением и накоплением в национальном доходе составляет примерно 3/4 : 1/4. Следует также отметить тенденцию опережающего роста объемов отходов потребления по сравнению с отходами промышленности.

Пути перехода к «безотходному типу потребления» имеют свои особенности. Одна из них заключается в том, что отрасли, обслуживающие население, наименее «технологичны» в отношении безотходности. Помимо того, что материальные ценности в этих отраслях рассредоточены в соответствии со сложившейся системой расселения по территории всей страны, объемы образующихся отходов у конкретных потребителей весьма незначительны, а сами отходы очень разнородны и многокомпонентны. Положение осложняется тем, что сфера потребления в гораздо меньшей степени, чем сфера производства, поддается экономическому регулированию. Сфера потребления всегда ориентирована на конкретных людей, живущих в соответствии с многочисленными национальными традициями, особенностями регионов, уровнем культуры и т.д.

Таким образом, достижение рационального использования ресурсов в сфере потребления — сложная проблема и ее решение может быть достигнуто с помощью мер,

условно разделяемых на две основные группы. Первая объединяет меры, предпринимаемые в отраслях общественного обслуживания (экономическое регулирование), вторая — меры воспитательного характера, направленные на выработку у каждого гражданина сознательного отношения к потребляемым ресурсам (регулирование воспитанием). На практике эти меры носят комплексный характер, взаимно дополняя друг друга. Внедрение новых технических решений, с помощью которых достигается экономия ресурсов, должно сопровождаться их пропагандой и созданием условий для широкого использования.

Например, одним из наиболее используемых ресурсов для бытовых нужд является питьевая вода. Жилищно-коммунальное хозяйство наряду с промышленностью и сельским хозяйством — крупнейший потребитель воды. Специалисты подсчитали, что водопотребление в расчете на одного жителя, пользующегося водопроводом, составляет 200—240 л/с, а пользующегося, образно говоря, «ведром» — только 20—40 л. Чаще всего потери воды вызваны техническими неполадками, нарушениями эксплуатации водопроводов и т.д. Речь идет, в частности, о неисправностях оборудования, утечках воды из труб. Кроме того, много питьевой воды расходуется не по назначению, например, на полив зеленых насаждений, и т.д.

Для решения вопроса рационального водопользования необходимо наладить тщательный учет всей расходуемой воды и оперативно устранять технические неполадки в системах водо-обеспечения. О том, что возможности для этого есть, свидетельствуют значительные различия в уровне потребления воды между различными городами и регионами страны, а также достигнутым уровнем потребления воды в ряде развитых государств. Например, в Москве начиная с 1997 г. ведется работа по установлению водосчетчиков в многоквартирных домах наряду с введением в строй в 1994 г. станции «Роса», осуществляющей контроль водопроводной воды по 70 показателям 30 раз в сутки. Таким образом, для обеспечения рационального потребления воды необходим комплекс мер, объединяющий прогресс в области экономики, организации и техники, дополненный продуманной эффективной воспитательной работой.

Все это в полной мере относится и к потреблению других видов ресурсов, в частности, топливно-энергетических. Например, потребление электроэнергии на бытовые нужды в последнее время ежегодно увеличивается на 10%, в то же время опыт показывает, что такое увеличение не всегда оправдано. Одним из направлений экономии электрической энергии является массовый выпуск бытовой техники, обеспечивающей рациональное потребление электроэнергии. Например, замена парка бытовых холодильников на более экономичные модели (с усовершенствованной теплоизоляцией, автоматическим оттаиванием) позволила снизить потребление электроэнергии. Переход на «зимнее» и «летнее» время, позволяющий лучше использовать «светлые» часы суток, в целом по народному хозяйству дает экономию около 3 млрд кВт·ч электроэнергии в год, на 3—4 млн кВт·ч снижает пиковые нагрузки энергосистем.

В принятой ООН «Всемирной стратегии охраны природы», в частности, записано: «Мы не унаследовали Землю наших отцов. Мы взяли ее в долг у наших детей». Поэтому именно принцип не брать «взаймы у потомков» должен стать определяющим при принятии всех без исключения решений по вопросам использования природных ресурсов.

## 1.20 Лекция № 20

Тема: Практика обращения с отходами

### 1. Вопросы лекции:

1. Анализ существующего положения в области управления отходами.
2. Морфологический и физико-химический состав ТБО для разных климатических зон.
3. Основные особенности переработки вторичного сырья и рынок продукции на его основе.

### 2. Краткое содержание вопросов:

В процессе производства образуется большое количество отходов, которые при соответствующей обработке могут быть вновь использованы как сырье для производства промышленной продукции. В будущем большая доля потребностей в сырье будет восполняться продуктами переработки отходов промышленного производства.

Все виды промышленных отходов делятся на твердые и жидкые. К твердым отходам относятся отходы металлов, дерева, пластмасс и других материалов, пыли минерального и органического происхождения от очистных сооружений в системах очистки газовых выбросов промышленных предприятий, а также промышленный мусор, состоящий из различных органических и минеральных веществ: резины, бумаги, тканей, песка, шлака и т. п. К жидким отходам относятся осадки сточных вод после их обработки, а также шламы пылей минерального, и органического происхождения в системах мокрой очистки газов.

Для полного использования отходов в качестве вторичного сырья разработана их промышленная классификация, которая подразделяет, например, лом и отходы металлов по физическим признакам на классы, по химическому составу - на группы и марки, по показателям качества - на сорта (ГОСТ 1639-71).

Разработка мероприятий по обезвреживанию и переработке неутилизируемых промышленных отходов привела к необходимости дополнительной классификации их по гигиеническому и технологическому принципам. Классификация по гигиеническому принципу подразделяет промышленные отходы на 6 категорий (табл. 30).

Таблица  
30

Категория	Характеристика промышленных отходов по виду загрязнения	Годовое накопление в стране ко всем массе отходов, %	Рекомендуемые методы утилизации или ликвидации
Первая	Инертные	57,0	Использование для планировочных работ
Вторая	Легкоразлагающиеся органические вещества	3,0	Складирование или переработка совместно с твердыми бытовыми отходами
Третья	Слаботоксичные малорастворимые в воде	30,0	Складирование совместно г. твердыми бытовыми отходами
Четвертая	Нефтемаслоподобные	1,5	Сжигание, в том числе с твердыми бытовыми отходами
Пятая	Токсичные со слабым загрязнением воздуха	3,0	Складирование на полигоне промышленных отходов
Шестая	Токсичные, в том числе: минеральные органические	3,5 2,0	Групповое или индивидуальное обезвреживание на специальных сооружениях

Критерием определения целесообразности переработки отходов в местах их образования является количество и степень использования отходов в производстве.

Большая доля в общем объеме твердых отходов принадлежит металлическим отходам. Вторичные ресурсы металлов складываются из лома (43%) и отходов (57%). Ломом металлов называют изношенные и вышедшие из употребления детали и изделия из металлов и сплавов. Отходами металлов называются промышленные отходы всех стадий передела, содержащие металлы или состоящие из них, получаемые при плавке и механической обработке, а также неподдающийся исправлению брак деталей и изделий, возникающий в процессе производства. Так, в черной металлургии образование лома и отходов металлов на 1 т выплавляемой стали достигает 650 кг, поэтому вопрос о рациональном использовании металлических отходов приобретает важное значение.

В СССР разработана специальная отчетность (форма № 1) «Промотходы», по которой все промышленные предприятия должны отчитываться перед горисполкомами и вышестоящими организациями. Однако переработка отходов на промышленную основу пока еще не поставлена. На многие отходы нет технических

условий, ГОСТов, не разработана технология их переработки, отсутствуют прейскуранты.

Основными направлениями ликвидации и переработки твердых промышленных отходов (кроме металлоотходов) являются вывоз и захоронение на полигонах, сжигание, складирование и хранение на территории промышленного предприятия до появления новой технологии переработки их в полезные продукты (сырье).

## 1.21 Лекция № 21

Тема: Полигон по обезвреживанию и захоронению отходов

### 1. Вопросы лекции:

1. Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов.
2. Строительство полигонов.
3. Схема работы полигона.
4. Порядок выбора участка и строительство полигона.

### 2. Краткое содержание вопросов:

Обезвреживание и захоронение токсичных отходов

Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов является экологической необходимостью. Это сложное дело, требующее больших капитальных и эксплуатационных затрат. В развитых странах количество токсичных отходов на одного человека в год составляет 70 кг, а стоимость обезвреживания 1т — 500 долларов. Обезвреживание и захоронение токсичных отходов производят на специальных полигонах, наличие которых предусматривается при разработке планов и проектов территорий, расположенных вблизи крупных городов. На рис. 1.15 показана схема захоронения твердых отходов и рекультивации земли.

Строительство полигонов следует осуществлять на основе долевого участия предприятий и организаций, имеющих отходы. Размеры долевого участия определяются пропорционально затратам на уничтожение и захоронение отходов.

Заказчиком полигона является предприятие, отходы которого требуют наибольших затрат на обезвреживание и захоронение. Построенные полигоны передают для эксплуатации соответствующим коммунальным хозяйствам. К сожалению, процент использования отходов и особенно процент их полного обезвреживания в настоящее время крайне низки (в 1996 г. они составили соответственно 61 и 2%).

Строительство и эксплуатацию полигонов осуществляют в соответствии с «Санитарными правилами проектирования, строительства и эксплуатации полигонов захоронения неутилизируемых отходов» и СНиП 1.02.28-85 «Основные положения по

составу проекта полигона по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов».

Полигоны для обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов являются природоохранными сооружениями. Они предназначены для регулярного централизованного сбора, удаления, обезвреживания и захоронения неиспользуемых токсичных отходов и некондиционных продуктов (веществ) промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций и учреждений, расположенных в одной или нескольких промышленных зонах.

Полигон должен включать в себя три основные группы объектов:

1. Завод (или ряд установок по обезвреживанию токсичных промышленных отходов), предназначенный для сжигания или физико-химической переработки отходов с целью их полного обезвреживания или снижения токсичности (класса опасности), перевода в нерастворимые формы, обезвоживания и сокращения объема отходов, подлежащих захоронению.

2. Участок для захоронения отходов, представляющий собой специально выбранную и подготовленную территорию, на которой располагают оборудованные котлованы, где складируют группы токсичных твердых отходов.

3. Гараж специализированного парка автомашин, предназначенных для транспортировки токсичных отходов.

Полигон размещают в обособленных, свободных от застройки, хорошо проветриваемых местах так, чтобы можно было легко осуществить мероприятия, исключающие загрязнение окружающей среды населенных пунктов, зон массового отдыха людей и источников питьевого водоснабжения (открытых водоемов, водохранилищ и подземных вод).

При сооружении полигона особое внимание уделяют проектированию дождевой и хозяйственно-бытовой канализации, а также дренажа. Общая система канализации полигона должна быть бессточной. На полигон не принимают вещества, которые можно обезвредить средствами предприятия, радиоактивные отходы (для них существуют специальные хранилища) и нефтепродукты, которые можно регенерировать.

На все отходы, ввозимые на полигон, должен быть представлен паспорт с указанием состава отходов и кратким описанием требований безопасности при обращении с ними на полигоне (захоронении или сжигании). На полигоне взвешивают отходы и отбирают пробы для определения их состава. На контрольном талоне паспорта ставят штамп «Отходы приняты». Контрольный талон возвращается на предприятие, а паспорт

остается на полигоне как документ для финансовых расчетов и статистический материал для определения количества и состава принятых отходов.

Схема работы полигона должна предусматривать следующие основные мероприятия, позволяющие регулярно и организованно, с соблюдением мер безопасности удалять неутилизируемые токсичные отходы, обезвреживать их и надежно захоранивать, обеспечивая защиту окружающей среды:

- организацию сбора неутилизируемых токсичных отходов на предприятиях-поставщиках;
- организацию транспортировки токсичных отходов на полигон;
- организацию приема токсичных отходов на полигоне, их обезвреживание и захоронение.

Наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных отходов в настоящее время являются:

- для отходов органического происхождения — сжигание при высоких температурах (при снижении температуры процесса возможно выделение суперэкотоксикатов);
- для неорганических отходов — физико-химическая обработка в несколько стадий, которая приводит к образованию безвредных, в большинстве случаев нейтральных и нерастворимых в воде соединений.

Захоронение является наиболее распространенным и дешевым способом ликвидации твердых отходов. В местах их захоронения происходят различные процессы распада вредных веществ под воздействием микроорганизмов.

Неорганизованные свалки наносят вред окружающей среде не только тем, что уродуют пейзаж, — они служат источником загрязнения вод, воздуха и почвы. Свалки — это благоприятная среда для возникновения инфекций.

Место захоронения ТБО выбирают так, чтобы не загрязнять источники воды и сельскохозяйственные угодья. Дно и стенки котлована должны быть водонепроницаемыми и хорошо изолированными от подземных вод (обычно применяют водонепроницаемый слой ила или глины, который покрывают слоем фольги). С помощью экскаваторов, грейдеров отходы укладывают слоями мощностью до 1,8 м, перемежая слоями грунта толщиной около 15 см, чтобы предотвратить возгорание или распыление. После того как котлован заполнится, его сверху засыпают двухметровым слоем грунта и высаживают на нем зеленые насаждения — это рекультивация территории (рис. 1). Недостатком этого способа является то, что отходы в последующем не используют, в то время как образующийся при этом биогаз (чаще всего метан) можно улавливать и применять, например, для отопления жилых и производственных помещений.

Для складирования токсичных (ядовитых) отходов разработаны особые правила захоронения. Эти отходы нельзя складировать вместе с бытовыми отходами, дно и стенки

хранилища должны быть забетонированы, а отходы помещены в специальные изолированные контейнеры. Отдельно разработаны специальные правила захоронения радиоактивных отходов.

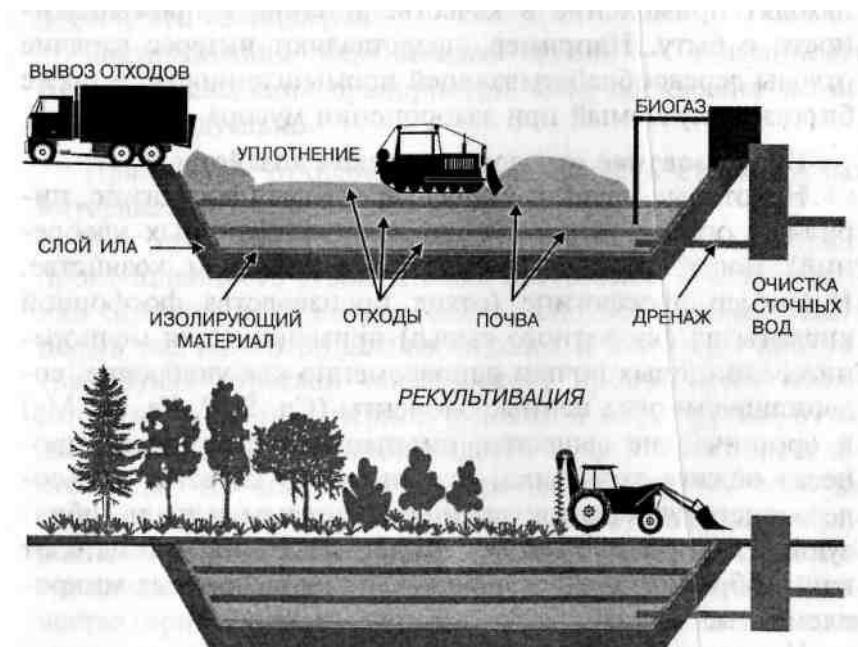


Рис. 1 Схема захоронения твердых отходов и рекультивации земли

**Полигон ТБО** — наиболее простое и дешевое сооружение, устраиваемое в местах, где основанием могут служить глины и тяжелые суглинки. Основная масса ТБО вывозится на такие полигоны (свалки), которые являются источниками загрязнения почвы, грунтовых вод и атмосферы, служат рассадником мух и крыс.

В государствах с жестким законодательством по охране окружающей среды ТБО либо сжигают, либо перерабатывают.

К 2010 г. страны ЕЭС предполагают запретить 100 % захоронение ТБО на полигонах.

Самая серьезная проблема — это загрязнение грунтовых вод. Вода с растворенными в ней загрязнителями называется фильтратом, в котором, наряду с остатками разлагающейся органики, красителей и другими химикатами, присутствует железо, ртуть, свинец, цинк и другие металлы из ржавеющих консервных банок, разряженных батареек и других электроприборов.

Вторая проблема — образование метана. У захороненного мусора нет доступа к кислороду. Поэтому его разложение идет анаэробно, с образованием биогаза, на 2/3

состоящего из легковоспламеняющегося метана. Образуясь в толще захоронения отходов, он может распространяться в земле горизонтально, проникая в подвалы зданий, тоннели коммуникаций, накапливаться там и взрываться. Метан, распространяющийся вверх, отравляет корни, губит растительность в местах захоронения отходов.

Реальная плата населения за захоронение ТБО на полигонах составляет от 30 до 50 руб. на человека в год и около 60 % этих средств расходуется на транспортировку.

На рис. 2 представлена схема современного захоронения отходов с системой защиты окружающей среды. Могильник расположен на возвышенности, значительно выше уровня грунтовых вод. Дно его изолировано уплотненным слоем глины, на котором находится слой щебня для отвода фильтрата и метана. Один слой мусора укладывается на другой, уплотняется, засыпается грунтом так, что получается пирамидаобразная насыпь, с которой стекает вода. Могильник окружен скважинами, с помощью которых ведется мониторинг загрязнения грунтовых вод.

По периметру всей территории полигона ТБО устраивается легкое ограждение, осушительная траншея глубиной более 2 м или вал высотой не более 2 м. Подробные гигиенические требования к устройству и содержанию полигонов для ТБО сформулированы в СанПиН 2.1.7.1038—01. Появился новый документ.

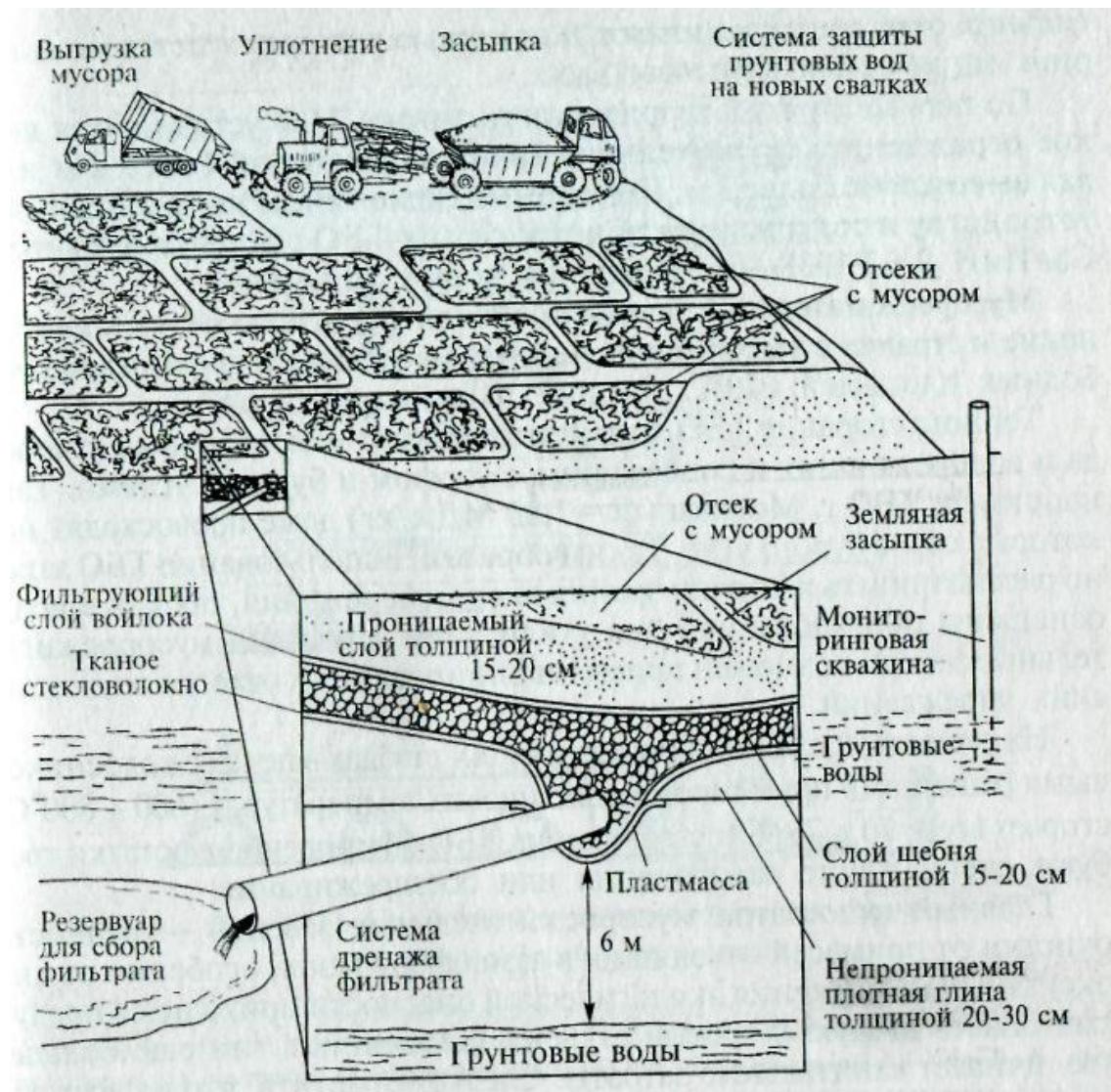


Рис. 2. Организация работ на современном полигоне ТБО

Основными задачами является: обоснованный выбор места для полигонов ТБО, определение приоритетных загрязнителей и путей их проникновения в ОС, а также в пищевую цепь и живой организм, обеспечение всестороннего мониторинга влияния полигона на ОС после ввода его в эксплуатацию. По результатам этих работ можно выдавать краткосрочные и долгосрочные прогнозы изменения ОС региона под действием хранящихся отходов. Если полученная комплексная информация достаточно полна, то успешно могут быть решены вопросы: где и когда загрязняющие вещества окажутся в

любой из природных сред, какие экологически опасные химические и биохимические реакции будут протекать в зоне влияния отходов.

Необходимо отметить, что в последние годы в составе ТБО уменьшается доля пищевых отходов, кожи, резины, стекла и соответственно возрастает содержание упаковочных материалов (бумага, картон, синтетика), т.е. просматривается сброс западных отходов в наших городах и неумение их использовать.

Широко распространенным способом уничтожения нефтеотходов является вывоз на полигоны и свалки, где их сжигают или захоранивают. Места ликвидации нефтеотходов должны отвечать требованиям: наличие мощных глинистых водонепроницаемых фунтов; достаточное удаление от населенных пунктов; исключение возможности попадания поверхностных вод с территории полигона в близко расположенные водоемы.

На полигон сдаются производственные отходы следующих групп: осадки из очистных сооружений;

нефтепродукты, не подлежащие регенерации;

нефтесодержащие стоки; отходы гальванического, химического и кожевенного производства;

особо вредные отходы в контейнерной упаковке.

Не подлежащие регенерации нефтепродукты и нефтесодержащие стоки привозят в емкостях, оборудованных шланговыми устройствами, и сливают в карты. Затем происходит естественное их отстаивание, откачивание или испарение воды, а нефтепродукты направляются для сжигания в специальные звездообразные ямы, выложенные огнеупорным кирпичом. Неорганизованное сжигание нефтепродуктов (без достаточного количества окислителя) приводит к неполному сгоранию и повышенному дымообразованию, т.е. загрязнению атмосферы.

Необходимо отметить, что в России сортировке ТБО для извлечения полезных компонентов и использования их в качестве вторичного сырья внимания практически не уделяется, а только это может обеспечить быструю окупаемость строительства полигона для ТБО. Основными методами переработки ТБО (табл. 1) до сих пор остаются: **захоронение; термические (обычно сжигание) и биохимические методы (как с получением биогаза, так и с получением удобрений и биотоплива).**

**Соотношение технологий переработки ТБО, % [66]**

Технология	США	Англия	Франция	ФРГ	Япония
Полигон-свалка	84	90	55	78	57
Сжигание	15	9	35	20	40
Удобрения	—	1	10	2	2
Прочие методы	1	—	—	—	1

Состояние дел с переработкой отходов в России можно рассмотреть на примере самого крупного города страны — Москвы, где ежегодно образуется 2,5 млн т ТБО. Причем 90% их утилизируется на двух полигонах, а остальные — на двух мусоросжигательных заводах, оснащенных оборудованием из ФРГ и Дании или на свалках (их 90, но 63 из них не функционируют). Полигоны функционируют более 20 лет, и срок их эксплуатации заканчивается.

Полигоны и заводы не обеспечивают необходимый уровень охраны окружающей природной среды. На полигонах отсутствуют минимально необходимые природоохранительные сооружения (водоохранительные экраны, противооползневые устройства, системы отвода и обеззараживания фильтрата и поверхностных вод). Часто не проводится послойная укладка отходов с ежедневной засыпкой песком, допускается складирование до 1,5 млн т в год токсичных промышленных отходов (ТПО). Последнее обстоятельство совершенно недопустимо, так как требования к утилизации ТБО и ТПО совершенно различные и совместное их хранение не допускается по требованиям экологической безопасности.

**Перспективно использовать сочетание термического метода с полигоном (на Западе это называют санитарной свалкой), оборудованном по специальной технологии.** Дно полигона спланировано под небольшим уклоном и выстелено прочной полиэтиленовой пленкой. Внизу полигона выполнен сток и сборник жидкостей, фильтрующихся из отходов и грунта. Их регулярно вывозят на переработку. Дневной рацион отходов уплотняется катками, засыпается слоем глины и песка, а затем застилается новой прочной полиэтиленовой пленкой — и так каждый день. По окончании эксплуатации полигона производится планировка рельефа, посадка растений или использование этих площадок для спорта. При этом чем лучше выполнены ежегодные работы, тем меньше вероятность просадки грунта в последующие годы. Такой полигон обходится в шесть раз дешевле строительства завода по уничтожению отходов.

Порядок выбора участка и строительство полигона (рис. 10.1) можно рассмотреть на примере опытного полигона «Красный бор» (г. Колпино). Для этого была выделена площадь в 50 га, удовлетворяющая требованиям:

**не затапливается паводковыми водами;**

**отсутствуют используемые для водоснабжения водоемы и водные горизонты;**

**вблизи поверхности расположены водоупорные грунты.**

Участок ровный с уклоном на север и северо-запад. Поверхность участка и прилегающей территории заболочена, покрыта лесом и кустарником. Гидрографическая сеть отсутствует. Геологический разрез территории полигона на глубину 100 м от поверхности земли представлен четвертичными (озерно-ледниковые пески и моренные суглинки) и нижнекембрийскими осадками. Общая мощность четвертичных отложений до 4 м.

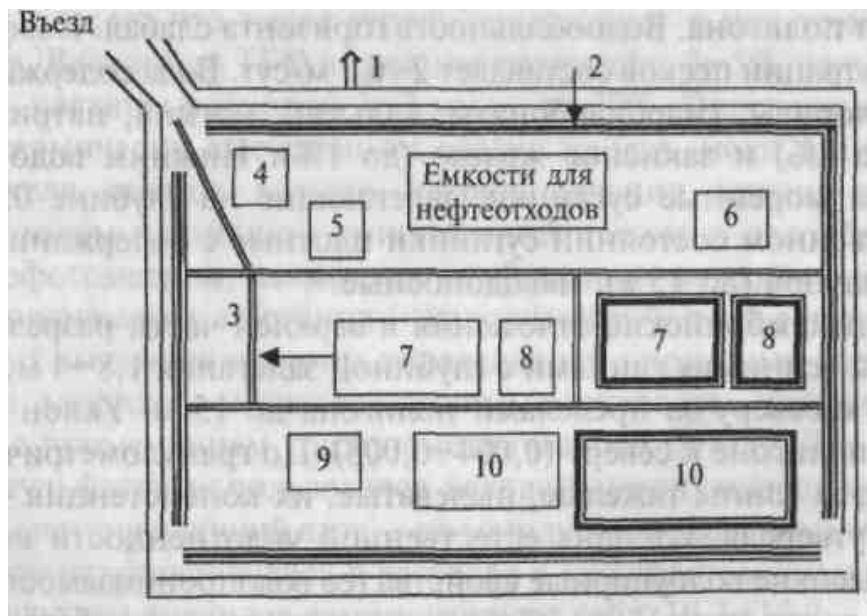


Рис. 10.1. План полигона.

1 — кольцевой канал для перехвата внешних вод; 2 — вал из кембрийской глины; 3 — дорожная сеть внутри полигона; 4 — комплекс зданий: КПП, лаборатория, административное здание; 5 — ремонтные мастерские; 6 — комплекс сооружений участка термического обезвреживания отходов: хозяйственно-бытовые помещения и установка термического обезвреживания; 7 — котлован для приема отходов, содержащих органические соединения: выделенный — закрытый; 8 — котлован для приема отходов, содержащих особо вредные соединения: выделенный — закрытый; 9 — хозяйственно-бытовые помещения цеха приемки; 10 — котлован для приема отходов, содержащих неорганические соединения: выделенный — закрытый.

Мощность озерно-ледниковых песков 0,1—2,3 м, увеличивается в северном и северо-восточном направлении. На расстоянии 400 м от контура полигона подошва водоносных озерно-ледниковых песков залегает на 0,4—1 м ниже верхней границы захоронения промышленных отходов. Пески (мелкие, средние и пылеватые) по химическому составу однородны с главными компонентами в виде оксидов (%): кремния — 84,6; алюминия — 7,65; железа — 3,5; калия — 2,4; натрия — 1,36; магния — 1,33; кальция — 1,12.

В слое озерно-ледниковых песков имеется водоносный грунтовый горизонт. Уровень воды совпадает с поверхностью земли, т.е. мощность водоносного горизонта в пределах полигона равна мощности песков, он питается в основном атмосферными осадками и в незначительной степени подземными водами с юга. Подземный поток направлен на север и северо-запад (в сторону р. Ижоры и ее притоков). Отметки уровня воды снижаются от 16,3 (на площади полигона) до 15,5 м у истока ручья, протекающего в 0,8 км к северу от полигона. Водообильность горизонта слабая. Коеффициент фильтрации песков составляет 2—6,2 м/сут. Вода содержит сульфаты, хлориды, гидрокарбонаты, кальций, магний, натрий, нитраты (до 2%) и закисное железо (до 1%). Нижним водоупором являются моренные суглинки, залегающие на глубине 0,1—3 м. В естественном состоянии суглинки плотные с содержанием гравия и валунов (до 15%), неводоносные.

Нижнекембрийские отложения в верхней части разреза представлены «синими» глинами с глубиной залегания 1,8—4 м, увеличиваясь к северу за пределами полигона до 15 м. Уклон кровли глин на полигоне к северу (0,004-0,008). По гранулометрическому составу эти глины тяжелые, пылеватые, их консистенция твердая или полутвердая. Степень естественной уплотненности высокая. Имеет высокие водоупорные свойства (ее водопроницаемость практически равна нулю), что обеспечивает надежность обезвреживания жидких отходов при захоронении. Кембрийские глины по химическому составу довольно однородны

Таким образом, выбранный участок по геологическому и гидрологическому строению отвечает требованиям захоронения промышленных отходов.

На полигоне была принята упрощенная технология обезвреживания промышленных отходов, сводящаяся к захоронению жидких и твердых отходов и сжиганию нефтеотходов. Извлеченная при отрывке котлованов глина использована для создания вала вокруг полигона. Чтобы предотвратить стоки загрязненных вод, глина в обваловке утрамбована. По внешнему контуру полигона сделан кольцевой канал, вода из которого собирается в ручей, отходящий на север.

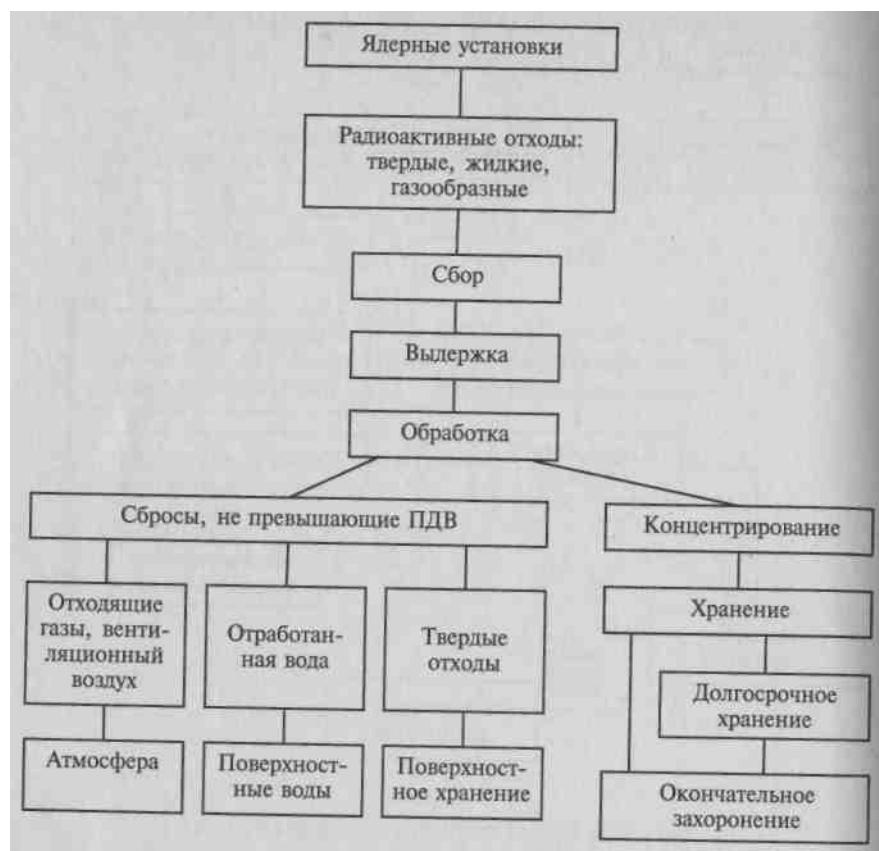
Площадь полигона разделена на участки, между которыми проложены бетонированные дороги с дренажными канавами. Сбор ливневых и паводковых вод производится в общий водоприемник-испаритель, который предусматривает искусственное испарение. По периметру полигон имеет ограждение, при входе — контрольно-пропускной пункт и весовая.

При проведении исследований химического состава термически высушенных осадков на полигоне ТБО (станция аэрации г. Орехово-Зуево) в течение года позволили произвести как сезонную, так и количественную оценку биогенных элементов, наличие токсических веществ (соединений). Поступающие на станцию аэрации сточные воды на 50% состоят из различных видов промышленных стоков, что несет угрозу содержания в них токсических веществ. Влажность ТБО в среднем составляла 3—5%, зольность — до 50%, частицы размером 1-3 мм — до 70%. Определение наличия в термически высушенном осадке железа, меди, цинка, хрома, никеля, свинца, кадмия, натрия, кальция, магния проводилось методом пламенной эмиссионной и атомно-адсорбционной

спектрофотометрии; алюминия — объемным методом с ксилено-ловым оранжевым, марганца — калориметрическим с периодатом. В водных вытяжках катионы определялись с помощью спектрофотометра, хлориды — ионоселективным электродом, кальций и магний — с применением трилонометрического метода. Для определения сульфатов использовался весовой метод, нитратов с сали-цилатом натрия и общий азот — по методу Кельдаля. Концентрация фосфатов устанавливалась в растворе с молибдатом аммония.

На рис. 10.9 показана схема ядерного топливного цикла, а на рис. 10.10 — общая схема образования и обезвреживания радиоактивных отходов (РАО). Радиоактивные отходы бывают твердыми, жидкими и газообразными. По содержанию в них радионуклидов и уровню тепловыделения их подразделяют на низкоактивные (НАО), среднеактивные (САО) и высокоактивные (ВАО).

Большее количество отходов относится к классу НАО, образующихся в основном при добыче и переработке урановых руд. Присутствующие продукты распада урана делают радиоактивными Шахтные воды, рудные отвалы и отвалы горных пород. Пылеобразование устраниют распылением воды или пылевяжущих растворов. Во избежание загрязнения грунтовых вод все стоки собирают и перекачивают на участки обработки отходов.



Для подготовки к долговременному хранению или окончательному удалению ВАО остекловывают (капсулируют): упаренные растворы прокаливают и обрабатывают расплавами фосфатных или бор-силикатных стекол. Такая форма обезвреживания токсикантов обеспечивает полную безопасность, так как большая часть радионуклидов ВАО распадается 300 лет (справка: для растворения 1 мм поверхностного слоя стекломассы в воде требуется не менее 100 лет). Для окончательного удаления НАО и САО предполагают строительство подземных специальных хранилищ, разрабатывают методы хранения в пустотах горных пород или выработанных шахт.

Для окончательного удаления ВАО предложен метод трансмутации радионуклидов, заключающийся в переводе радионуклидов в стабильные нуклиды под действием  $\beta$ -излучения или потока нейтронов. Путь удаления ВАО в космос не является радикальным, так как существует опасность непредвиденного возвращения на Землю ракеты-носителя. Наиболее приемлемым способом является удаление ВАО в глубокие геологические формации. Такое хранилище должно состоять из наземной и подземной частей. Наземная часть имеет центральную зону со вспомогательными постройками. Подземная часть хранилища напоминает большую шахту, расположенную на глубине 600—1200 м. Для предотвращения миграции радионуклидов предполагается создание технических барьеров с целью обеспечения защиты в течение разных временных интервалов: начальный период (до помещения отходов в хранилище); тепловой период (до 300 лет); период геологического контроля — миллионы лет для обезвреживания актинидов (от актиния до лоуренсия). Схема хранилища представлена на рис. 10.11.

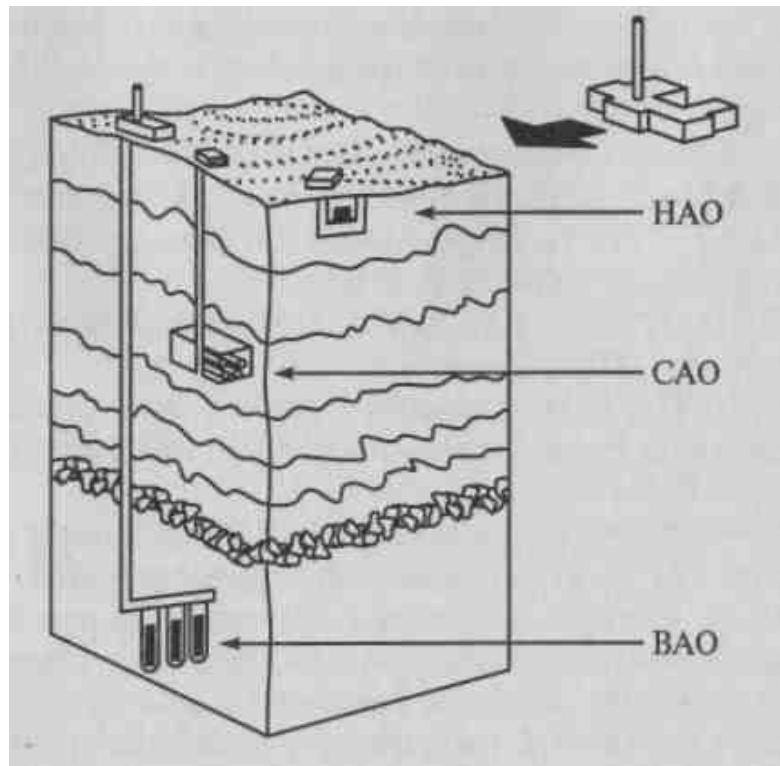


Рис. 3. Окончательное удаление радиоактивных отходов:

низкоактивных (НАО) — в приповерхностные хранилища;  
среднеактивных (САО) — в подземные хранилища;  
высокоактивных (ВАО) — в глубокие геологические формации

Особое внимание должно уделяться сбору, удалению и захоронению твердых и высокоактивных жидких отходов, которые могут вызвать загрязнение окружающей природной среды.

Вокруг АЭС устанавливают три зоны: контролируемую (3 км) — возможно облучение свыше 0,3 дозы, допустимой для персонала;

санитарно-защитную (13 км) — запрещено размещение производственных, жилых и культурно-бытовых объектов, не относящихся к АЭС; наблюдаемую (30 км) — дозы облучения населения, проживающего в ее пределах, могут несколько превышать допустимые нормативы

## 1.22 Лекция № 22

Тема: Обезвреживание отходов

### 1. Вопросы лекции:

1. Сбор и транспортирование промышленных отходов.
2. Складирование и захоронение промышленных отходов на свалках, полигонах.
3. Сжигание промышленных отходов совместно с бытовым мусором.
4. Обработка и утилизация промышленных отходов на специализированных полигонах.
5. Переработка и утилизация промышленных отходов по полной заводской технологии.

### 2. Краткое содержание вопросов

Твердые бытовые отходы (ТБО) образуются при разнообразной деятельности людей в условиях жилья, учреждений и подразделений различного профиля (административно-управленческого, образовательного, медицинского, культурно-просветительного, спортивного и т.п.), пунктов общественного питания, улиц, общественного транспорта, мест отдыха и т.п. Весьма значительные и возрастающие год от года массы образующихся ТБО обостряют санитарно-эпидемиологическую обстановку населенных пунктов и отрицательно сказываются на состоянии их атмосферы, гидросферы и литосферы. Для

минимизации и предотвращения этих негативных явлений осуществляют изоляцию (депонирование, захоронение), обезвреживание и ликвидацию ТБО. С этими целями производят сбор, транспортировку ТБО (сопряженную в некоторых крупных городах с их уплотнением на специальных перегрузочных станциях) к местам захоронения и переработки, сортировку (в ряде случаев), а также захоронение и являющуюся наиболее перспективной заводскую переработку данных материалов различными термическими приемами и путем компостирования. Все эти мероприятия государство финансирует в настоящее время в той или иной степени через органы городского хозяйства и управления.

Наряду с этим положение с использованием, обезвреживанием и размещением ТБО в большинстве регионов России до последнего времени остается неудовлетворительным из-за нерешенности вопросов сооружения полигонов и строительства перерабатывающих заводов. Недостаточен и уровень утилизации отдельных компонентов ТБО (в частности, макулатуры, стеклобоя, металлов, текстиля и т.п.). Основные массы ТБО в мировой практике сегодня вывозят на полигоны (свалки): в Европе захоронению подвергают 60-70 % ТБО, в США — примерно 80 %, в СНГ — около 99 %. В то же время сложность изыскания на приемлемом удалении от населенных пунктов земельных участков, удовлетворяющих требованиям складирования (захоронения) ТБО, прогрессирующее увеличение затрат на транспортировку и изоляцию этих материалов, а также экологический риск захоронения их значительных масс обуславливает повсеместное стремление к увеличению промышленной переработки ТБО, максимально удовлетворяющей критериям экономики, экологии и ресурсосбережения. В наибольшей степени это стремление реализовано в государствах с небольшой территорией, малыми природными ресурсами и высокой плотностью населения (Япония, Швейцария), где изолируют на полигонах лишь 30-35% ТБО.

В этой работе будет рассмотрен возможный для нашей страны способ переработки ТБО, максимально удовлетворяющей критериям экономики, экологии и ресурсосбережения.

### Состав и свойства ТБО

ТБО являются крупнотоннажными отходами, представляющими собой гетерогенную смесь различных по физическому состоянию, крупности и свойствам органических и неорганических компонентов сложного морфологического состава. Их состав меняется во времени (в том числе по сезонам года) и зависит от места расположения населенного пункта, его величины, состояния благоустройства, уровня развития промышленности и ряда других показателей.

В состав ТБО входят полагаемые людьми непригодными к дальнейшему потреблению предметы и материалы: печатная продукция различных видов (старые книги, газеты, журналы и т.п.), битая, деформированная и грязная посуда (стеклянная, керамическая, металлическая), упаковочные изделия, изделия из синтетических полимеров (пластмасс), консервные банки, изношенные одежда и обувь, пищевые отбросы, древесина (щепки, стружки, опилки, палки, тарные дощечки и т.п.), строительный, домовый и уличный мусор и многие другие компоненты. Особую группу в составе ТБО формируют крупногабаритные предметы объемом более 0,283 м<sup>3</sup> и линейными размерами, превосходящими 1,5 м. К таким громоздким отходам относят, например, ряд

**Таблица 1**

*Типовой морфологический состав российских ТБО по данным 1985-1995 гг*

Компоненты	Содержание, % масс.
<b>Бумага, картон и т. а</b>	<b>12,0-38,0</b>
<b>Пищевые и растительные отходы</b>	<b>20,0-45,0</b>
<b>Черные металлы</b>	<b>3,0-5,2</b>
<b>Цветные металлы</b>	<b>0,5-0,8</b>
<b>Текстиль</b>	<b>4,0-7,0</b>
<b>Стекло</b>	<b>4,0-8,0</b>
<b>Пластмассы</b>	<b>2,0-6,5</b>
<b>Кожа, резина</b>	<b>0,3-3,5</b>
<b>Древесина</b>	<b>0,9-3,0</b>
<b>Камни, керамика</b>	<b>0,8-3,0</b>
<b>Кости</b>	<b>0,1-2,0</b>
<b>Отсев -15 мм</b>	<b>• 7,0-13,0</b>
<b>Прочее</b>	<b>1,0-2,0</b>

видов старой мебели и вышедших из эксплуатации электроприборов, а также обрезки деревьев, бревна, столбы и некоторые элементы конструкций зданий. Особенностью ТБО в условиях России и других стран СНГ является то обстоятельство, что при сборе происходит смешивание отходов различных видов. Таким образом, уже на этом уровне ТБО представляют собой несортированные смешанные отходы.

Количественное присутствие отдельных компонентов в ТБО, характеризующихся значительными сезонными колебаниями морфологического состава, характеризуется данными различных источников, представленными в табл. 1 и 2.

Важной характеристикой является фракционный состав ТБО — процентное содержание массы компонентов, проходящих через сите с ячейками различного размера. Этот показатель иллюстрирует информация, приведенная в табл. 3 и 4, а также данные рис. 1. Основную массу ТБО представляет фракция -300 мм: выход отходов этой фракции составляет 85-90% [2].

Данные рис.1 характеризуют ТБО жилого сектора города. Они свидетельствуют, что основная часть этих материалов (более 80 % массы) представлена классом -150 мм,

**Таблица 2**

*Морфологический состав ТБО для разных климатических зон, % по массе*

Компонент	Климатическая зона		
	средняя	южная	северная
<b>Пищевые отходы</b>	<b>35-45</b>	<b>40-49</b>	<b>32-39</b>
<b>Бумага, картон</b>	<b>32-35</b>	<b>22-30</b>	<b>26-35</b>
<b>Дерево</b>	<b>1-2</b>	<b>1-2</b>	<b>2-5</b>
<b>Черный металлом</b>	<b>3-4</b>	<b>2-3</b>	<b>34</b>
<b>Цветной металлом</b>	<b>0,5-1,5</b>	<b>0,5-1,5</b>	<b>0,5-1,5</b>
<b>Текстиль</b>	<b>3-5</b>	<b>3-5</b>	<b>4-6</b>
<b>Кости</b>	<b>1-2</b>	<b>1-2</b>	<b>1-2</b>
<b>Стекло</b>	<b>2-3</b>	<b>2-3</b>	<b>4-6</b>
<b>Кожа, резина</b>	<b>0,5-1</b>	<b>1</b>	<b>2-3</b>
<b>Камни, штукатурка</b>	<b>0,5-1</b>	<b>1</b>	<b>1-3</b>
<b>Пластмасса</b>	<b>3-4</b>	<b>3-6</b>	<b>3-4</b>
<b>Прочее •</b>	<b>1-2</b>	<b>3-4</b>	<b>1-2</b>
<b>Отсев (менее 15 мм)</b>	<b>5-7</b>	<b>6-8</b>	<b>4-6</b>

который включает, в частности, примерно по 80% черных металлов и луженой тары, более 95% алюминиевого лома и свыше 60% бумаги от соответствующих масс этих компонентов в неклассифицированных ТБО.

Не менее важными характеристиками ТБО являются гравиметрическая плотность (насыпная масса), влажность и теплотворная способность. Результаты длительных наблюдений и измерений свидетельствуют, что плотность ТБО непрерывно уменьшается и составляет в настоящее время в крупных городах 0,15-0,20 т/м<sup>3</sup>. В составе

**Таблица 3**

*Ориентировочный морфологический и фракционный состав ТБО, % по массе*

Компонент	Размер фракций, мм				
	более 250	150-250	100-150	50-100	менее 50
Пищевые отходы	-	0-1	2-10	7-12,6	17-21
Картон, бумага	3-8	8-10	9-11	7-8	2-5
Дерево	0,5	0-0,5	0-0,5	0,5	0-0,5
Металл	-	0,1	0,5-1	0,8-1,6	0,3-0,5
Текстиль	0,2-1,3	1-1,5	0,5-1	0,3-0,8	0-0,6
Кости	-	-	-	0,3-0,5	0,5-0,9
Стекло	-	0-0,3	0,3-1	1-2	1-1,6
Кожа, резина	-	0-1	0,5-2	0,5...1,5	-
Камни, штукатурка	-	-	0,2... 1	0,5...1,8	0,5...2
Пластмасса	0-0,2	0,5-1	1-2,2	1-2,5	0,2-0,5
Прочее	0-0,3	0,2-0,6	0-0,5	0-0,4	0-0,5
Отсев (менее 15 мм)	-	-	-	-	4-6
<b>Всего</b>	<b>7,0</b>	<b>13,3</b>	<b>22,1</b>	<b>25,3</b>	<b>32,3</b>

ТБО растет количество бумаги, картона, полимерных материалов, что обусловливает увеличение их теплотворной способности, выражаемой сегодня величинами порядка 1500-2000 ккал/кг. Влажность ТБО в зависимости от климатического пояса и времени года обычно колеблется в пределах от 40 до 58 %.

ТБО, как явствует из изложенного, содержат много полезных и нужных материалов, которые возможно рационально использовать многократно. Их предварительное выделение из общей массы отходов и переработка в полезные материалы значительно экономичнее получения последних из природного сырья. Состав и свойства ТБО имеют определяющее значение при решении вопросов их сбора, удаления, складирования (захоронения, изоляции), обезвреживания и заводской переработки (утилизации). Необходимо подчеркнуть, что выбор оптимальной технологии переработки ТБО представляет собой наиболее ответственный этап в разработке общей концепции их эвакуации и утилизации. Этот выбор требует учета того обстоятельства, что перерабатывающее (утилизирующее) ТБО предприятие само по себе может быть источником серьезного загрязнения биосфера токсичными соединениями серы, галогенов, азота, тяжелых металлов, а также органическими веществами (в том числе такими супертоксикантами, как диоксины и фураны), что может являться, в частности,

следствием различных отклонений от технологического регламента при использовании даже самого совершенного оборудования.

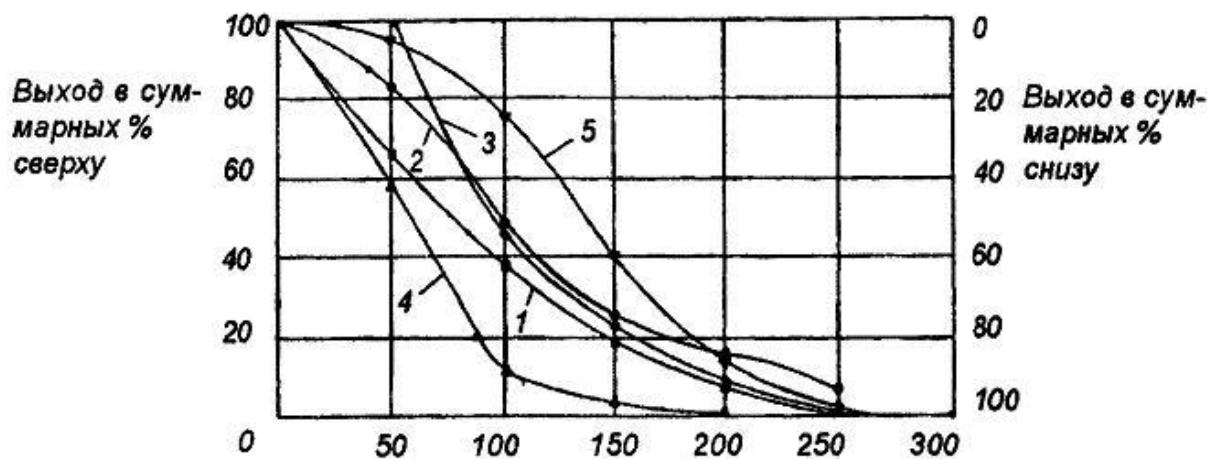


Рис.1. Гранулометрическая характеристика ТБО и некоторых их компонентов:

1 — твердые бытовые отходы (ТБО); 2 — металлолом; 3 — лом олово

*Таблица 4.*

*Усредненный морфологический и фракционный состав ТБО*

Компоненты	Содержание, % масс			
	общее	фракции, мм		
		+200	-200 - +80	-80
Бумага, картон и т.п.	22,0	6,6	11,4	4,0
Пищевые и растительные отходы	35,0	0,0	9,2	25,8
Черные металлы	4,0	1,3	2,5	0,2
Цветные металлы (алюминий)	0,7	0,0	0,7	0,0
Текстиль	5,5	3,3	2,0	0,2
Стекло	7,0	0,0	6,8	0,2
Пластмассы (высокой плотности)	2,0	0,15	1,6	0,25
Полимерная пленка	4,0	1,45	2,5	0,05
Кожа, резина	1,5	0,05	1,45	0,0
Древесина	1,5	1,3	0,2	0,0

<b>Камни, керамика</b>	<b>1,5</b>	<b>0,75</b>	<b>0,55</b>	<b>0,2</b>
<b>Кости</b>	<b>1,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,7</b>
<b>Прочее (включая отсев -15 мм)</b>	<b>114,3</b>	<b>1,0</b>	<b>5,0</b>	<b>8,3</b>
<b>Итого:</b>	<b>100,0</b>	<b>15,9</b>	<b>44,2</b>	<b>39,9</b>

**Примечание:** 1. Стекло в составе исходных ТБО на 97 % представлено цельными бутылками (все в классе -200 - +80 мм); 2. Черный металл на 50 % представлен консервными банками (белая жесть); почти все банки находятся в классе  $-200\pm80$  мм.

## Обоснование и выбор схемы переработки твердых отходов.

Получение газообразного топлива из углей, а также из твердых веществ, включающих как органическую, так и неорганическую составляющую (в том числе из промышленных, радиоактивных и бытовых отходов) – в настоящее время актуальная задача. Получаемые горючие газы (пирогаз) могут быть использованы в энергетических (для газовых турбин и котельных установок) и в технологических (производство целевых продуктов) целях.

Одним из возможных путей газификации твердых органических веществ является использование шахтных реакторов. При этом в некоторых случаях представляет интерес жидкое шлакоудаление, позволяющее использовать получаемый экологически чистый шлак для производства строительных материалов.

Такой процесс требует газообразного окислителя, в качестве которого могут выступать кислород, воздух и водяной пар. Причем для получения высококалорийного газа количество воздуха должно быть минимальным ввиду значительной концентрации в нем азота. Для обеспечения жидкого шлакоудаления и поддержания температурного уровня процесса, целесообразно иметь повышенную температуру в окислительном дутье.

В этой связи возможным вариантом такого процесса является использование *электродугового плазмотрона* для нагрева воздуха. Это позволяет, с одной стороны, обеспечить необходимую энергию для плавления неорганической части сырья, а с другой – поддерживать требуемый температурный уровень процесса при не очень больших расходах воздуха. Наиболее перспективно использовать этот процесс для газификации остекловывания бытовых и промышленных отходов. В этом случае использование плазмотрона позволяет поддерживать жидкое шлакоудаление при наличии практически любых органических включений (и получать экологически чистый шлак, пригодный для изготовления стройматериалов). Кроме того, при наличии в отходах хлора восстановительная среда, образующаяся в процессе газификации, предотвращает образование диоксинов. Преимуществом этого процесса является также существенно меньшее количество подлежащих очистке газов (по сравнению с процессом сжигания отходов). При этом теплотворная способность получаемых горючих газов позволяет во многих случаях получать такое количество энергии, которое не только компенсирует затраты энергии в плазмотроне, но может отпускаться внешним потребителям (особенно при использовании современных газотурбинных установок с высоким КПД).

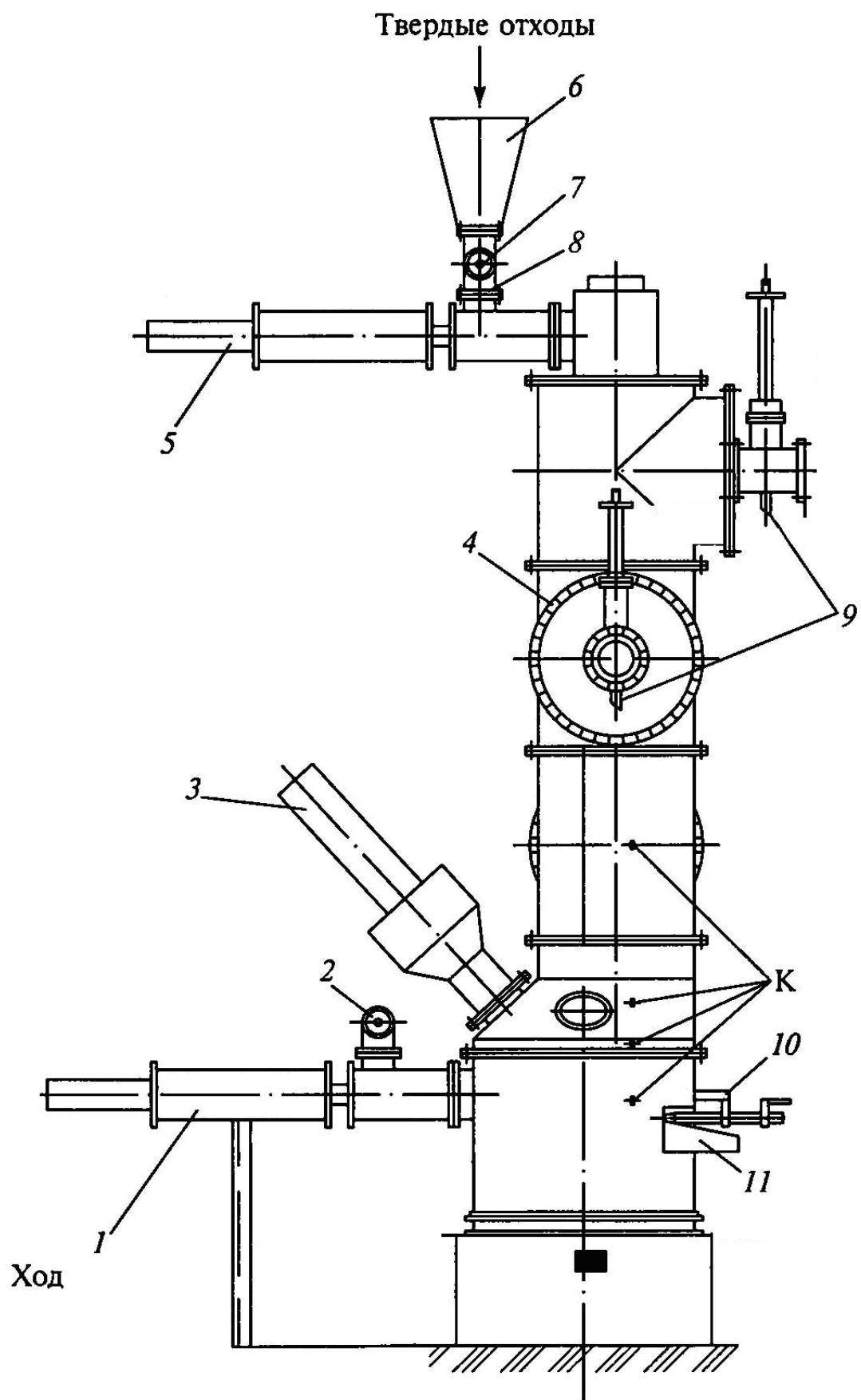


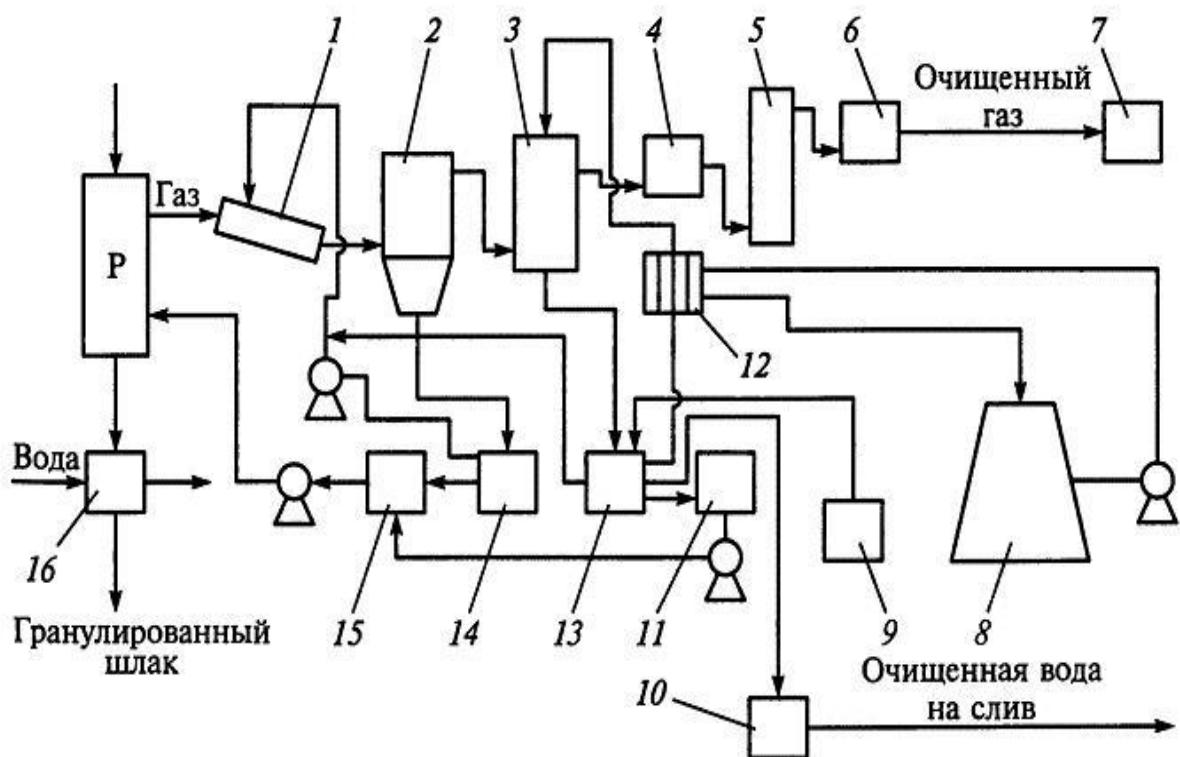
Рис. 2. Установка термического обезвреживания (пиролиз — газификация):  
**1, 5 — гидроцилиндры; 2 — загрузчик; 3 — плазмотрон; 4 — задвижка; 6 — бункер;**  
**7 — питатель; 8 — взрывной клапан; 9 — подвод сжатого воздуха для охлаждения**  
**( $Z_y = 20$ ); 10 — запорные устройства; 11 — выпускной лоток; К —контрольные**  
**точки**

## Описание технологической схемы

Технологическая схема комплекса может быть организована по двум принципиально различным вариантам. *Первый* предусматривает сжигание пирогаза (а также содержащихся в нем смол и пыли) непосредственно после шахтной печи. *Второй*, необходимый для использования горючих газов в газовой турбине, требует предварительной очистки пирогаза с использованием скрубберов («мокрая» очистка). В этом случае смола и шламы, отделяемые в системе очистки, должны быть возвращены в печь пиролиза.

Предлагаемый плазмохимический реактор (рис. 2) пиролиза — газификации твердых отходов является частью технологической схемы (рис. 3), предусматривающей не только утилизацию твердых отходов, но и получение электроэнергии, необходимой для процесса пиролиза, а также дополнительной электроэнергии (разработчик — МГУИЭ).

Твердые отходы — неуплотненная масса из бумаги, дерева, текстиля, стекла, металла, пластиков, резины и материалов органического происхождения.



**Рис. 3. Технологическая схема получения газообразного топлива (пирогаза) из твердых отходов: Р — реактор; 1 — газосборник; 2 — сепаратор; 3 — скруббер; 4 — эксгаустер; 5 — электрофильтр; 6 — газгольдер; 7 — газовая турбина; 8 — градирня; 9 — емкость с щелочью; 10 — биохимическая очистка; //, 15 — промежуточные сборники; 12 — трубчатый холодильник; 13, 14 — отстойники; 16 — приемник шлака**

В качестве источника энергии используется электродуговой воздушный плазмотрон ПВ-85, предназначенный для нагрева воздуха до высоких температур с целью получения теплоносителя или высокотемпературного реагента.

Процесс происходит в печи шахтного типа. В нижней части печи расположен плазмотрон, который плавит минеральную часть отходов. Сюда же подается воздух и водяной пар. Отходы загружаются в верхнюю часть печи. Под действием собственного веса они проходят последовательно зоны сушки, пиролиза и газификации. Тепловая энергия, необходимая для проведения процесса генерируется в нижней зоне — зоне газификации. Эта энергия складывается из энергии, выделяющейся при сгорании кокса, и высоко-энталпийной энергии плазменной струи.

Перед подачей газов на газовую турбину используется (см. рис. 2) электрофильтр ПГ-8 (5) для очистки их от пыли и смолы, образующихся при газификации углей. Электрофильтр рассчитан на работу при  $< 50$  °С, давлении до 40 кПа, разрежении до 5 кПа и представляет вертикальный, однопольный, односекционный аппарат со стальным корпусом цилиндрической формы. Осадительные электроды трубчатой формы.

Скруббер 3 — полый форсуночный с противоточным движением газовой и жидкой фаз (см. рис. 2). Орошающая жидкость подается в скруббер через форсунки под давлением 300—400 кПа. Полые форсуночные скруббера могут обеспечить высокую степень очистки (< 92 %) при улавливании частиц пыли  $> 10$  мкм.

Отстойники-осветители (13 и 14) — горизонтальные сооружения глубиной 1,5—4, шириной 6—9 м (отношение длины к глубине 8—12), в которых одновременно с отстаиванием сточная вода фильтруется через слой взвешенного осадка. Отстойник оборудован скребковым механизмом ленточного типа, сдвигающим выпавший осадок в приемник. Из приемника осадок удаляют насосом.

Сооружение для биохимической очистки сточных вод (10) — аэротенк — прямоугольный в плане железобетонный резервуар, оборудованный воздуховодами, из которых по стоякам воздух подается в фильтросные каналы, заделанные на цементном растворе фильтросами — пористыми шамотными или пластиковыми пластинами. Через такие пластины происходит мелкопузырчатая аэрация смеси в аэротенке.

Продуктами плазмохимического пиролиза твердых отходов являются шлак и пиролизный газ, содержащий  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ , углеводороды, водяной пар и смолу. Жидкий шлак из реактора поступает в приемник шлака 16, куда подается охлаждающая вода. Вследствие высокой температуры (1500 °C) в реакционной зоне реактора шлак не содержит органических веществ, стерilen, и его можно использовать в качестве наполнителя для строительных материалов.

При низкотемпературном пиролизе температура газа на выходе из реактора 200—400 °C, он содержит значительные количества смолы и водяных паров, поэтому первая и обязательная технологическая операция, которой подвергается полученный газ — охлаждение для конденсации водяных паров и смолы. При разработке системы охлаждения используется схема, применяемая на коксохимических заводах. Газ из реактора поступает в газосборник 7, предназначенный: для приема газа из печи и выравнивания его состава в постоянную и равномерную смесь; первичного охлаждения газа; выделения смолы и фусов.

В газосборнике газ охлаждается до 90 °C интенсивным орошением надсмольной водой, которая подается через специальные форсунки под напором 100—150 кПа. Количество испаряющейся воды 2—3 % от подаваемой, конденсирующейся смолы 50—60 % от содержащейся в пирогазе. Кроме конденсации смолы, в газосборнике выделяются фусы.

Газ, надсмольная вода, смола и фусы из газосборника по газопроводу поступают в сепаратор 2, предназначенный для отделения газа от жидкой фазы. Из сепаратора 2 по вертикальному отводу из нижней его части смола, надсмольная вода и фусы поступают в механизированный отстойник-осветлитель 14. Отстоявшаяся от смолы вода из верхней части отстойника-осветлителя насосом подается на орошение газосборника. Смола и флюсы через промежуточный сборник 15 подаются насосом в реакционную зону печи на сжигание. Газ из сепаратора 2 поступает в нижнюю часть скруббера 3, который сверху орошается надсмольной охлажденной водой. В скруббере газ охлаждается до 30 °C. Надсмольная вода нагревается от 25 до 80 °C. Сконденсировавшиеся пары смолы воды вместе с охлаждающей водой поступают в отстойник 13, где происходит отделение смолы от воды. Из отстойника смола подается насосом через промежуточные сборники 11 и 15 в зону газификации реактора. Часть надсмольной воды направляется в цикл газосборника для пополнения убыли охлаждающей водой за счет испарения.

Другая часть воды, необходимая для орошения скруббера, поступает в трубчатый холодильник 12 и, охлажденная до 25 °C, подается в верхнюю часть скруббера 3. В трубчатом холодильнике 12 надсмольная вода передает тепло технической воде, для

охлаждения которой служит градирня 8. Избыток надсмольной воды отводится из отстойника 13 на биохимическую очистку 10.

Надсмольная вода содержит большое количество органических веществ, а также  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{HCl}$ . Для нейтрализации  $\text{HCl}$  применяется щелочь, которая из емкости 2 непрерывно подается в отстойник 14.

Биохимическая очистка 10 предусматривает очищение воды до содержания вредных примесей в пределах ПДК.

Для преодоления газом гидравлического сопротивления охлаждающей аппаратуры и трубопроводов устанавливается специальный насос или эксгаустер 4. Газопровод и аппаратура, расположенные до эксгаустера (на всасывании), находятся под разрежением, а после эксгаустера (на нагнетании) — под давлением. Эксгаустер устанавливается после скруббера 3.

Содержание смолы в газе после газовых холодильников составляет обычно 2—5  $\text{г}/\text{м}^3$ . Полное выделение смолы из газа только охлаждением и промывкой практически неосуществимо. После очистки газа в электрофильтре 5 содержание смолы в очищенном газе не превышает 50  $\text{мг}/\text{м}^3$ . После электрофильтра газ через газгольдер 6 подается на газовую турбину 7, где происходит его сжигание.

Для утилизации активного ила применяют метод сжигания осадков. Мировой опыт показывает, что 25 % образующихся на очистных сооружениях осадков используется в сельском хозяйстве, 50 % размещается на полигонах и около 25 % сжигается. В связи с ужесточением санитарных требований к качеству осадков, уменьшается возможность использования их в сельском хозяйстве. Специалисты все больше обращаются к сжиганию осадков.

Схема установки для сжигания ила в кипящем слое показана на рис. 4. Ил подают в печь на слой песка, где он просушивается, истирается и сгорает при температуре 590—780  $^{\circ}\text{C}$ . Дымовые газы поступают в теплообменник, где охлаждаются воздухом. Нагретый воздух подают в печь для создания псевдоожженного слоя и поддержания горения. Дымовые газы после теплообменника поступают в циклон, где отделяются твердые частицы, а затем — в абсорбер, орошающий водой. Очищенные газы выбрасывают в атмосферу. Вода из абсорбера поступает в отстойник, где отделяется зола. Осадок ее в виде пульпы направляют в вакуум-фильтр. Полученную золу используют как минеральное удобрение или для изготовления стройматериалов.

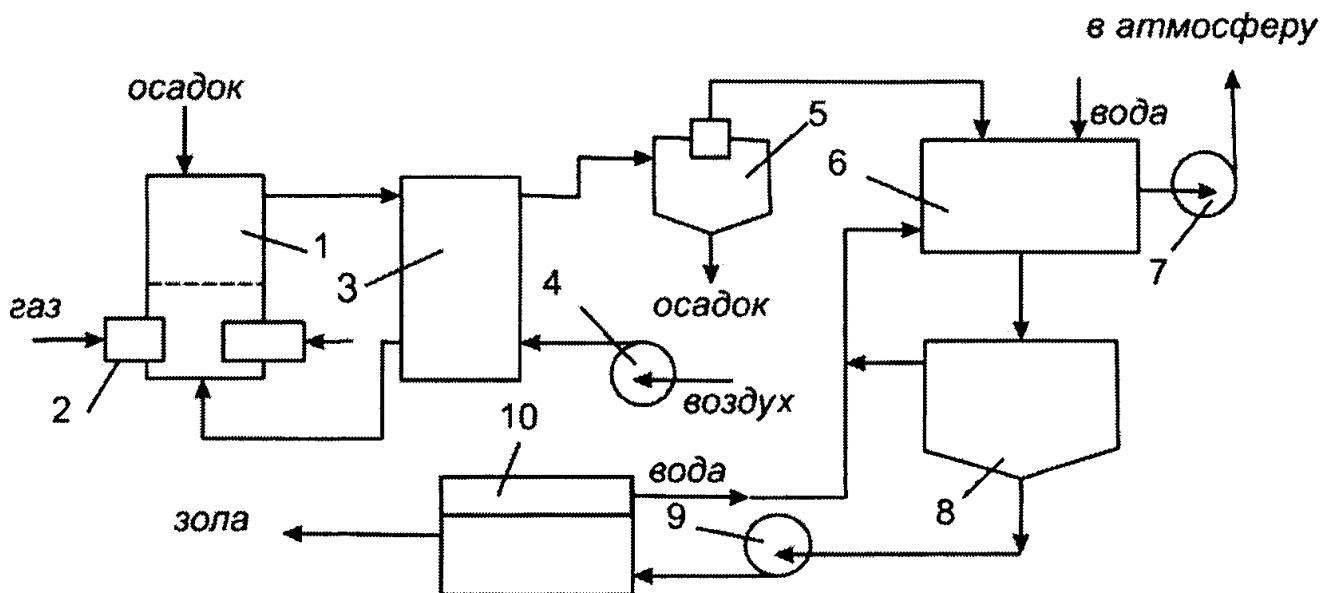


Рис. 4. Схема установки для сжигания ила в кипящем слое: 1 - печь; 2 - горелка; 3 - теплообменник; 4 - воздуходувка; 5 - циклон; 6 - абсорбер; 7 - дымосос; 8 - отстойник; 9 - насос; 10 - фильтр

При внедрении установок по сжиганию осадков сточных вод решаются следующие эколого-экономические задачи:

- прекращается вывоз необеззараженного осадка, что позволяет прекратить вырубку лесов для новых площадей складирования осадка;
- в печах в качестве топлива используются осадки сточных вод (природный газ необходим лишь для розжига печей);
- тепловая энергия, образующаяся при сжигании осадков, рекуперируется в котлах-utiлизаторах и используется для производственных нужд;
- образующаяся зола используется при изготовлении строительных материалов, дорожного покрытия и др.;
- годовые эксплуатационные расходы на сжигание осадка в 1,9 раза меньше, чем на обработку 1000 м<sup>3</sup> осадка на полигонах.

Для повышения эффективности и экономичности данного этапа очистки предприятие может принимать активный ил с очистных станций города, тем самым увеличивая производительность данного этапа, то есть, снижая удельные затраты.

## Заключение.

На городских свалках даже среднего города ежегодно скапливаются сотни тысяч тонн бытовых отходов. Разлагаясь, они отравляют воздух, почву, подземные воды и превращаются таким образом в серьезную опасность для окружающей среды и человека. Вот почему «героями дня» становятся эффективные, безотходные, а главное — экологически чистые технологии промышленной переработки мусора. Во всем мире переработка и утилизация бытовых отходов становятся все более злободневной проблемой. Главным образом это касается крупных густонаселенных городов, где ежегодно скапливаются миллионы кубометров всевозможного мусора. Проблему уничтожения такой огромной массы мусора необходимо отнести к категории экологических, с другой стороны, она самым тесным образом связана с решением сложных технических и экономических вопросов.

Повышенный интерес к использованию вторичного сырья в развитых странах мира определяется наряду с экономическими соображениями также и жестким экологическим законодательством в отношении переработки отходов производства и потребления.

Очевидно, что одной из главных проблем современности является утилизация и переработка бытовых отходов. Существует много современных эффективных способов утилизации и переработки отходов. Но до сих пор сложно говорить о каких-либо кардинальных изменениях, происходящих в этой области в нашей стране. В европейских странах и США давно пришли к выводу, что ресурсный потенциал ТБО нужно не уничтожать, а использовать. Всё прогрессивное человечество осознает, что нельзя подходить к проблеме ТБО как к борьбе с мусором, ставя задачу любой ценой избавиться от него.

Экологическая и экономическая целесообразность и необходимость повторного и многократного использования природных ресурсов путем вовлечения части отходов производства и потребления в хозяйственный оборот в качестве вторичного сырья доказана многолетней практикой во многих странах мира.

В работе рассмотрен метод переработки ТБО, включающий в себя жидкое шлакоудаление при наличии практически любых органических включений, обезвреживание от диоксинов, получение экологически чистого шлака, пригодного для использования при изготовлении стройматериалов, образование меньшего количества газов, подлежащих очистке по сравнению с процессом сжигания отходов, получение энергетически емких горючих газов.

Рассмотрен способ утилизации активного ила, выгодный и для данного предприятия и для городских очистных станций.

Таким образом, рассмотренный метод может приносить прибыль и в меньшей степени по сравнению с другими наносить ущерб экологическому состоянию среды.

## 2. Лабораторные работы.

### 2.1 Лабораторная работа №1 Звукопоглощение, способы и средства защиты от шума.

#### ВВЕДЕНИЕ

Качество машины, оцениваемое как эргономическими показателями, так надежностью его узлов, зависит от оптимальности конструкции и технологического уровня производства. Эти факторы оказывают прямое влияние и на виброшумовую активность машины. Прогресс в создании объектов новой техники связан с непрерывным ростом единичных мощностей оборудования.

Многочисленные данные показывают непрерывный рост уровня шума машин, пропорциональный увеличению единичных мощностей последних.

Шум и вибрации высокой интенсивности являются вредными факторами производственной среды, вызывающими профессиональные заболевания, снижение производительности труда. К настоящему времени важнейшим критерием, по которому определяют техническое состояние и качество машин, является соответствие акустических характеристик требованиям санитарных норм по шуму.

Источником шумового поля машины являются вибрации отдельных узлов и деталей конструкции, которые в свою очередь генерируются динамическими силами различной физической природы.

Промышленная звукоизоляция — это область науки и техники, направленная на разработку методов по снижению шума в промышленности с учетом эргономических требований современной технологии. Строительная акустика занимается звукоизоляцией помещений.

В настоящее время звукоизоляцию стали проектировать, изготавливать испытывать в процессе создания самого промышленного оборудования. В результате удалось

значительно повысить уровень комфортности работы вместе с улучшением акустических, технологических и эксплуатационных

характеристик изделий промышленной звукоизоляции. Большинство ведущих фирм промышленно развитых стран изготавливают шумное производственное оборудование, механизмы и устройства в звукоизолированном исполнении.

**ТЕМА: «РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОЖУХА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И УРОВНЯ ШУМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ»**

**ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ:** Освоить методику расчета звукоизолирующего кожуха промышленного оборудования и уровня шума в помещении до и после отделки помещения звукопоглотителем.

Литература:

1. Боголепов И. И. Промышленная звукоизоляция. Л.: Судостроение, 1986.
2. Средства защиты в машиностроении./Под ред. С. В. Белова. М.: Машиностроение, 1989.
3. Контроль шума в промышленности/под ред. Дж. Д. Вебба. Л.: Судостроение, 1981.
4. Колесников А. Е. Шум и вибрация. Л.: Судостроение, 1988.
5. Снижение шума в зданиях и жилых районах. М: Стройиздат, 1987.
6. Крейтан В. Г. Защита от внутренних шумов в жилых домах. М.: Стройиздат, 1990.

**I. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:**

*1. Общие положения и параметры звукоизоляции.*

Промышленное оборудование, как правило, устанавливается в помещениях, поэтому при анализе акустических характеристик оборудования необходимо учитывать, что в помещении картина распространения звуковой энергии более, сложна, чем в открытом пространстве.

Звуковая энергия, распространяющаяся в закрытом помещении, претерпевает многократное отражение от ограждающих поверхностей и от предметов, находящихся в нем.

В результате этого в помещении происходит увеличение звуковой энергии, возникают стоячие и отраженные волны. Поэтому, чтобы успешно вести борьбу с шумом в помещении, необходимо знание физики явлений

преломления, поглощения и прохождения звуковой энергии при падении ее на ограничивающие поверхности.

При падении звуковой энергии с интенсивностью  $J_{пад}$  на преграду часть этой энергии отражается, часть проникает в преграду и поглощается ею, превращаясь в тепловую энергию, а остальная часть, проходя сквозь, излучается по другую сторону преграды.

Одним из самых рациональных методов снижения уровней шума промышленного оборудования является его уменьшение в самом источнике.

Однако осуществить мероприятия, способствующие уменьшению шума в самом источнике, бывает очень трудно, а иногда совсем невозможно.

Поэтому приходится заниматься вопросами глушения шума вне его источника, на путях распространения, применяя для этого всевозможные шумоглушающие устройства.

Кожухи должны быть выполнены таким образом, чтобы они могли обеспечивать свободный доступ к агрегату, были простыми и удобными в монтаже и демонтаже. Особое внимание должно быть обращено на недопущение неплотностей, щелей и отверстий, которые резко снижают звукоизолирующую способность кожуха.

Звукопоглощающий материал для предохранения его от выдувания воздушным потоком и для удержания его на стенках должен быть закреплен тонкой металлической перфорированной зашивкой.

## II. РАСЧЕТ ЗВУКОИЗОЛИРУЮЩЕГО КОЖУХА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И УРОВНЯ ШУМА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

*Варианты для проведения расчетов выбираем в соответствии с последними цифрами номера зачетной книжки (по журналу преподавателя).*

Исходные данные:

1) Определим звукоизолирующую способность кожуха (т. е. уменьшение кожухом уровня шума излучаемого в окружающее пространство агрегатом) на частоте ( $f$ , Гц) (см. приложение В), при следующих заданных

параметрах:

- размеры кожуха, (см. приложение А);
  - материал и толщина кожуха, (см. приложение Б);
  - внутренняя поверхность кожуха облицована звукопоглощающим материалом, марка, (см. приложение В);
  - кожух имеет отверстия (см. приложение А);
  - уровень шума в точке, отстоящей от его поверхности на расстоянии  $r=0,5$  м составляет (см. приложение А).
- 2) В помещении машинного зала размером (приложение Г), установлен агрегат закрытый звукоизолирующими кожухом, уровень шума которого на расстоянии  $r=0,5$  м составляет  $L$ , дБ (расчетное значение, которое берется из пункта 1)). данный уровень шума соответствует частоте 250 Гц (из данных пункта 1), см. приложение В).

Определить уровень шума в помещении на том же расстоянии после покрытия стен помещения звукопоглощающим материалом (приложение д).

Значение коэффициента поглощения  $\alpha$  для соответствующей частоты 250 гц (приложение Д).

**Порядок расчета:**

- 1) По (приложение В) для частоты ( $f$ , Гц) Акустические свойства пористых материалов, применяемых в звукоизолирующих конструкциях, характеризуются следующими параметрами: постоянной распространения  $\gamma_m$

и волновым сопротивлением  $w$ . величины являются комплексными и записываются в виде выражений [8, 9]:

$$\gamma_m = 8.0 + j18.0 = \beta_m + j\alpha_m \quad (1)$$

$$w = 3.72 - j1.0 = w_r + jw_i \quad (2)$$

где  $\beta_m$  - затухания;  $\alpha_m$  — волновой коэффициент;  $w_r$  и  $w_i$  — активная и реактивная часть безразмерного сопротивления.

Вещественная часть постоянной распространения  $\beta_m$  характеризует ослабление амплитуды волны на единицу длины и называется коэффициентом затухания, мнимая часть называется волновым коэффициентом.

2) Определяем нормальный акустический импеданс согласно [8],

может быть определен по выражению [8, 9]:

$$Z_{00} = w \cdot \frac{Z_2 ch\gamma\delta + ush\gamma\delta}{Z_2 sh\gamma\delta + ush\gamma\delta} = R_a + jX_{cl} \quad (3)$$

$Z_2 = -j \operatorname{ctg}(wh/C)$  — акустический импеданс воздушного промежутка;  $w$  — угловая частота, Гц;  $m$ -величина воздушного промежутка, см;  $\delta$  — толщина звукопоглощающего материала,  $R_a$  и  $X_{cl}$  — соответственно активная и реактивная компоненты импеданса;

Для справки: гиперболические функции  $ch(z) = \frac{e^z + e^{-z}}{2}$ ;  $sh(z) = \frac{e^z - e^{-z}}{2}$ ;  $th(z) = \frac{sh(z)}{ch(z)}$  — гиперболический тангенс,  $cth(z) = \frac{ch(z)}{sh(z)}$  — гиперболический котангенс (3а).

При отсутствии воздушного промежутка ( $m=0$ ), т. е. когда материал установлен непосредственно на стенке, выражение (3) принимает вид:

$$Z_{00} = wth\gamma\delta = R_a + jX_{cl} \quad (4)$$

3) Коэффициент звукопоглощения  $\alpha$  определяем, по формуле:

$$\alpha = \frac{4R_a}{(R_a + 1)^2 + X_{cl}^2}, \quad (5)$$

4) Расчет всей внутренней поверхности кожуха:

$$S_{\text{кож}}, \text{м}^2 \quad (6)$$

5) Расчет площади отверстий

$$S_{01}, S_{02} \dots S_{0n}, \text{м}^2, \quad (7)$$

6) Определение поверхности кожуха, облицованного звукопоглощающим материалом

$$S_{\text{кож}} = K(S_{\text{кож}} - S_{01} - S_{02} - \dots - S_{0n}) \quad (8)$$

Коэффициент  $K = 0,94$  если каркас (уголки) кожуха звукопоглощающим материалом не облицованы.

7) Звукоизолирующая способность кожуха для частоты звуковых колебаний ( $f$ , Гц) определяется по приложению Б.

8) Определяем по формуле средний коэффициент звукопоглощения:

$$\alpha_{\text{cp}} = \frac{\sum \alpha_i S_i}{\sum S_i} \quad (9)$$

где  $S_1, \dots, S_n$  – площади поверхностей помещения;  $\alpha_1 \dots \alpha_n$  – коэффициенты звукопоглощения отдельных поверхностей;  $S$  – полная площадь поверхностей помещения.

В приложении Д, приведены значения реверберационного коэффициента некоторых звукопоглощающих материалов для внутренней облицовки помещений. Согласно ГОСТ 23499-79 звукопоглощающие материалы классифицируются по форме, жесткости, возгораемости и структуре.

9) Расчет величины учитывающей влияние звукопоглощения внутри кожуха на его звукоизолирующую способность:

$$R_a = 10 \cdot \lg \frac{1}{\alpha_{\text{кож}}}, \quad (10)$$

10) Определение поправки  $\Delta R_0$ , учитывающей влияние двух отверстий на звукоизолирующую способность кожуха, поправка, учитывающая влияние отверстий на

звукопоглощающую способность кожуха для некоторых материалов приведены в приложение Б:

$$R_0 = 10 \cdot \lg \cdot \left[ 1 + \varphi_1 \frac{S_{01}}{S} \cdot 10^{0.1R_s} + \dots + \varphi_n \frac{S_{0n}}{S} \cdot 10^{0.1R_s} \right] \quad (11)$$

где  $S_{01} \dots S_{0n}$  - площади акустических отверстий, м;  $\varphi_1 \dots \varphi_n$  - безразмерные коэффициенты,  $S$  площадь пластины (за вычетом отверстия), м  $\varphi$  - безразмерный коэффициент, учитывающий увеличение прохождения звука в условиях диффузного поля. Коэффициент  $\varphi$  зависит от глубины и формы отверстия и от частоты; его значения могут составлять от 3 до 10. В расчетах звукоизоляции рекомендуется принимать  $\varphi = 10$ , но лучше вообще не допускать в конструкциях малых акустических отверстий. Коэффициенты  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  выбираем равным -7-10.

11) Расчет звукоизолирующей способности кожуха на частоте ( $f$ , Гц)

$$R_{\text{кож}} = R_s - R_\alpha - \Delta R_0 \quad (12)$$

Где  $R_s$  – звукоизолирующая способность материала, из которого выполнен кожух;  $R_\alpha$  – величина, учитывающая влияние звукопоглощения внутри кожуха на его звукоизолирующую способность;  $\Delta R_0$  – поправка, учитывающая влияние отверстий на звукоизолирующую способность кожуха.

12) Определение уровня шума агрегата на частоте ( $f$ , Гц) на расстоянии 0,5 м при помещении его в кожухе

$$L_{\text{кож}} = L - R_{\text{кож}}, \text{ дБ}, \quad (13)$$

13) Определение звукопоглощения помещения до использования звукопоглощающих материалов единица звукопоглощения (сэбин) равняется произведению площади звукопоглощающих материалов на коэффициент  $\alpha$

$$A_1 = \alpha \cdot S, \text{ сэбин} \quad (14)$$

14) Определение звукопоглощения помещения после внесения звукопоглотителя общее суммарное звукопоглощение помещения определяется суммой полных поглощений отдельных поверхностей помещения

$$A_{\text{общ}} = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n \text{ сэбин}, \quad (15)$$

15) Определение уменьшения уровня шума в помещении после его отделки звукопоглотителем, ослабление шума в помещении при увеличении звукопоглощения стен определяется по следующим выражениям:

$$\Delta L = 10 \lg(A_2/A_1), \text{ дБ}; \quad (16)$$

или

$$\Delta L = 10 \lg(\alpha_2/\alpha_1), \text{ дБ};$$

где  $A_1$ ,  $A_2$  – соответственно полные звукопоглощения помещения до внесения звукопоглощающих материалов и после их внесения;  $\alpha_1$   $\alpha_2$  – соответственно коэффициенты звукопоглощения помещения до внесения звукопоглощающих материалов и после их внесения.

Эффективность звукопоглощающих материалов по уменьшению шума в помещениях тем выше, чем меньше объем помещений.

16) Определение шума агрегата после отделки помещения звукопоглотителем:

$$L_2 = L_1 - \Delta L, \text{ дБ}, \quad (17)$$

17) Выводы.

Работу выполнил:	
Работу принял:	

### **Контрольные вопросы:**

1. Промышленная звукоизоляция.
2. Единицы измерения уровня шума.
3. Основные параметры, характеризующие основные акустические свойства пористых материалов.

4. Дайте определение понятия импеданс.
5. Дайте понятие определения коэффициент звукопоглощения.
6. В каких единицах измеряется звукопоглощение и как рассчитать полное звукопоглощение кожуха.
7. Уровень шума в помещении после отделки его звукопоглотителем.
8. Шум агрегата после отделки помещения звукопоглотителем.
9. Назовите основные способы борьбы с шумом.
10. Реверберация звукопоглощающих материалов.

Таблица 1. Уровень шума агрегата и размеры кожуха

№ варианта	Уровень шума, дБ	Размеры кожуха, l×b×h, мм		Кол-во отверстий в кожухе	Размеры (диаметр) отверстий, мм
		800×600×1200	2		
1	85	500×500×600	4	300, 300	100, 100, 200, 200
2	90	650×500×800	4	100, 100, 200, 200	100, 100, 200, 200
3	95	1000×800×1100	2	100, 100	100, 100
4	100	1500×600×1000	4	100, 100, 200, 200	20, 20, 50, 50
5	70	2000×1000×1000	4	40, 40	40, 40, 20, 20
6	65	2500×1500×800	2	40, 40	40, 40, 20, 20
7	50	3000×2000×1500	4	40, 40	40, 40, 20, 20
8	90	3500×3000×2000	2	40, 40	40, 40
9	80	600×300×200	2	40, 40	40, 40
10	100	700×400×300	2	50, 50	50, 50
11	110	800×500×400	2	50, 50	50, 50
12	90	1100×600×500	4	35, 35, 35, 35	50, 50, 50, 50
13	85	1200×800×600	4	150, 150	150, 150
14	70	1100×900×700	2	300, 300	300, 300
15	65	1200×1000×800	2	50, 50, 50, 50	50, 50, 50, 50
16	90	1300×800×600	2	25, 25, 50, 50	25, 25, 50, 50
17	93	1400×900×700	4	25, 25, 50, 50	25, 25, 50, 50
18	90	1500×900×800	6	70, 70	70, 70
19	87	1100×600×1100	4	60, 60	60, 60
20	78	2200×600×600	4	65, 65, 65, 65	65, 65, 65, 65
21	63	1100×600×600	2	75, 75	75, 75
22	57	2200×1200×800	2	40, 40, 20, 20	40, 40, 20, 20
23	66	2000×400×400	4	50, 50, 50, 50	50, 50, 50, 50
24	71	2000×400×400	2	120, 120	120, 120
25	93	1600×850×1000	4	140, 140	140, 140
26	95	1000×850×1000	4	150, 150	150, 150
27	97	2000×400×400	2		
28	99	2000×400×400	2		
29	100	1000×850×1000	2		
30	110		2		

Приложение 5

Таблица 2. Среднее значение звукопоглощающей способности пластины конструкции из различных материалов, дБ

№ варианта	Материал пластины	Толщина пластины, мм	Трехъоктавные и октавные полосы частот, Гц											
			1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1	1	18	20	22	23	25	27	28	30	32	33	35	37
2	Сталь	3,5	28	30	31	33	34	36	37	39	40	41	40	41
		10	38	39	40	40	41	39	35	30	33	36	30	33
3		0,8	9	11	12	14	16	17	18	19	21	24	26	27
4	Алюминиевомагниевый сплав	1	11	13	14	16	17	19	20	22	24	26	27	29
5		4	20	20	22	23	26	28	29	31	32	33	31	31
6		0,6	12	13	15	16	17	19	21	23	25	26	28	30
7		0,6	1,2	17	18	20	21	23	24	26	28	30	31	33
8	Титан	3,2	24	25	27	28	30	31	33	35	36	37	36	37
9		2	16	18	18	20	21	23	25	27	28	30	31	33
10	Стеклопластик	3	18	19	20	22	23	25	27	28	30	31	33	34
11		5	20	22	23	25	27	28	30	31	33	34	35	34
12		3	10	13	17	16	19	20	22	24	26	29	30	31
13	Органическое стекло	5	16	16	19	21	23	25	27	29	30	32	34	35
14		10	21	22	24	26	28	30	33	36	35	36	30	32
15														

Приложение B

Таблица 3. Параметры звукопоглощающих материалов марки БМ3 и холстов из микро-ультра-супертонких стекломикрокристаллических штапельных волокон из горных пород.

№ вари- анта	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц	$\gamma_m = \beta_m + j\alpha_m, 1/m (1/c)$	Постоянная распространения		Безразмерное акустическое сопротивление $\omega = \omega_r + j\omega_i$	Толщина, мм
			$\omega$	$\omega_r$		
1	250	8.0+18.0(0.08+j0.18)			37.2-11.00	30
2	500	11.0+122.0(0.11+j0.22)			3.63-11.20	30
3	1000	25.0+133.0(0.25+j0.33)			3.12-11.55	50
4	2000	34.0+154.0(0.34+j0.54)			2.27-11.25	30
5	4000	37.9+178.0(0.37+j0.78)			1.91-11.86	50
6	8000	38.0+100.0(0.38+j1.00)			1.72-11.65	160
<b>Параметры звукопоглощающего материала марки АТМ-1</b>						
7	250	3.2+16.0(0.032+j0.060)			2.40-11.00	20
8	500	0.0+18.0(0.08+j0.18)			1.85-11.48	25
9	1000	14.2+132.0(0.142+j0.32)			1.70-11.35	30
10	2000	19.8+151.0(0.198+j0.51)			1.58-10.29	35
11	4000	22.0+174.0(0.22+j0.74)			1.50-10.25	40
12	8000	22.0+184.0(0.22+j0.84)			1.50-10.25	20
<b>Параметры матов без связующего из ультратонкогранит супертонкого стеклянного волокна СТВ</b>						
13	250	6.0+10.0(0.06+j0.1)			2.00-11.9	40
14	500	9.0+122.0(0.09+j0.22)			1.70-11.55	50
15	1000	14.0+133.0(0.14+j0.33)			1.52-10.26	60
16	2000	24.0+41.5(9.24+j0.415)			1.45-10.1	40
17	4000	34.0+148.0(0.34+j0.48)			1.44-10.05	60
18	8000	45.0+154.0(0.45+j0.54)			1.44-10.04	50
<b>Параметры теплоизоляционных матов марки АТМ-10 с</b>						
19	250	9.0+125.0(0.09+j0.25)			4.84-11.00	5
20	500	16.0+152.0(0.16+j0.52)			4.49-11.82	10
21	1000	31.0+180.0(0.31+j0.8)			3.54-12.26	15
22	2000	36.0+116.0(0.36+j1.16)			2.76-11.96	20
23	4000	37.0+162.0(0.37+j1.62)			2.32-11.30	5
24	8000	38.0+127.0(0.38+j2.27)			1.8-11.05	10
<b>Параметры полиуретанового эластичного грунтоукрепляющего поролонаста марки ПУ-ЭТ</b>						
25	250	12.0+115.0(0.12+j0.15)			4.50-10.9	5
26	500	19.0+129.0(0.19+j0.29)			4.30-10.60	25
27	1000	30.0+152.0(0.33+j0.52)			3.70-10.30	30
28	2000	37.0+186.0(0.37+j0.86)			3.00-10.20	35
29	4000	42.0+103.0(0.08+j1.03)			2.60-10.20	40
30	8000	50.0+113.0(0.5+j1.13)			2.40-10.20	45

Приложение Г

Таблица 4. Средний коэффициент звукоизглошения  $\alpha_{ep}$  отражающих поверхностей помещений

№ Варианта	Тип помещения	Замеры помещения L×b×h, м	Среднегеометрические частоты октавной полосы, Гц				
			63	125	250	500	1000
1	Машинные залы, генераторные	10×10×2,5					
2	испытательные стены, цехи предприятий пищевой промышленности с отражениями	15×15×2,5 17,5×5×2,5 12×6×3					
3		15×10×3,5	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
4		30×20×					
5		50×30×5					
6		70×30×6					
7		75×40×6					
8		80×60×6					
9							
10							
11		70×50×6					
12	Механические и металлообрабатывающие	100×70×7 150×80×10					
13		200×100×20					
14	цехи, цехи агрегатной	170×120×15					
15	сборки в авиационной и судостроительной	150×100×10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,12
16	промышленности	- 100×70×5 100×70×3 10×70×5					
17		150×100×10					
18							
19							
20							
21	Цехи деревообработки и предприятий текстильной промышленности; посты управления; лаборатории конструкторские бюро; рабочие помещения управления	30×20×5 50×30×5 20×20×3 25×20×3 40×30×3 50×30×3 40×35×5 10×10×2,5 15×10×2,5 15×10×3,5					
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							

Приложение Д

Таблица 5 Средний реверберационный коэффициент звукопоглощения  $\alpha_{ср}$  различных звукопоглощающих материалов

№ Варианта	Тип материала	Толщина материала, мм	Среднегеометрические частоты						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
1		40							
2		45							
3	Плита «Силикпор»	40	0,23	0,39	0,47	0,55	0,64	0,71	0,74
4		45							
5		40							
6		45							
7		30							
8		40							
9		55							
10	Акустические гипсовые плиты АГП	30	0,16	0,39	0,75	0,66	0,47	0,34	0,3
11		55							
12		40							
13		55							
14		30							
15		55							
16		20							
17		30							
18	Минераловатные плиты акустические марки ПС ПА/С	40	0,05	0,28	0,60	0,93	0,88	0,83	0,8
19		50							
20		60							
21		70							
22		80							
23		90							
24		100	0,07	0,22	0,81	0,93	0,83	0,67	0,6
25	ПА/С	25							
26		35							
27	Маты из каптонового волокна Воллок строительный	100	0,31	0,53	0,82	0,79	0,72	0,80	0,8
28		25	0,15	0,22	0,54	0,63	0,57	0,52	0,5
29	Акустический войлок	50	0,34	0,5	0,69	0,67	0,58	0,52	0,5
30		25	0,11	0,21	0,59	0,68	0,58	0,52	0,5

## 2.2 Лабораторная работа №2

### Методы защиты от вибрации и конструкции устройств

#### ВВЕДЕНИЕ

Колебания мощных кузнечно-прессовых машин, компрессоров, насосов, вентиляторов через опорные конструкции (фундаменты, основания и т.п.) передаются грунту и затем - фундаментам расположенных рядом зданий, в том числе и зданиям непроизводственного назначения. Поэтому при проектировании таких зданий, особенно расположенных в селитебной зоне, необходимо учитывать вибрационный фактор и определять минимально допустимое расстояние от фундаментов этих зданий до фундаментов или оснований машин с динамическими нагрузками. Подобную задачу необходимо решать при проектировании учреждений здравоохранения, жилых зданий, вычислительных центров, КБ и лабораторий, зданий производственного назначения без источников вибрации.

#### ТЕМА: ЗАЩИТА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ

**ЦЕЛЬ ЗАНЯТИЯ:** Освоить методику расчета звукоизолирующего кожуха промышленного оборудования и уровня шума в помещении до и после отделки помещения звукопоглотителем.

#### ХОД РАБОТЫ:

В соответствии списка в журнале студент получает номер варианта таблица 5.

I. Рассчитать виброскорость и виброускорение на расстоянии 1 м от пресса с усилием  $F_m$ , Н (тс) и числом оборотов кривошипа  $n$ , об/мин. Масса пресса  $m_p$ , кг, масса фундамента  $m_f$ , кг, площадь фундамента  $S$ ,  $m^2$ , допустимое давление на основание фундамента, Па.

1. Определяем частоту вибровозбуждающей силы:

$$f = n/60 = \quad (\text{Гц}). \quad (1)$$

2. По данным табл. 1 определяем коэффициент упругого равномерного сжатия грунта:

**Таблица 1 Коэффициент упругого равномерного сжатия**

Допустимое давление на основание фундамента, Па	98000	196000	294000	392000	490000
$G_z, \text{Н/м}^3$	$1,96 \cdot 10^7$	$3,92 \cdot 10^7$	$4,9 \cdot 10^7$	$5,88 \cdot 10^7$	$6,86 \cdot 10^7$

Выписать нужное значение:  $G_z =$  (Н/  $\text{м}^3$ ).

3. Определяем жесткость системы "машина-фундамент-грунт":

$$K_z = G_z \cdot S = (\text{Н/м}). \quad (2)$$

где  $G_z$  - коэффициент упругого равномерного сжатия грунта, Н/м ;  $S$ - площадь подошвы фундамента,  $\text{м}^2$

4. Определяем амплитуду выбросмешения фундамента пресса:

$$A_{m\delta} = \frac{F_m}{K_z - m_z \cdot \omega^2} \quad (3)$$

где  $F_m$  - амплитуда возмущающей силы, Н;  $K_z$ -жесткость системы "источник вибрации - фундамент", Н/м;  $m_z$  - масса системы "источник вибрации-фундамент", кг;  $\omega$  - круговая частота возмущающей силы,  $\text{с}^{-1}$ .

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (4)$$

где  $f$  - частота возмущающей силы, Гц.

5. Определяем приведенный радиус фундамента механизма  $(r_0)$  и параметр  $\delta$  - относительное расстояние от источника вибрации до расчетной точки:

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \text{ м} \quad (5)$$

$$\delta = r/r_0 \quad (6)$$

6. Определяем амплитуду выбросмешения на расстоянии:

$$\frac{A_{mr}}{A_m} = \frac{1}{\delta \left( 1 + (\delta^2 - 1)^2 \right)} + \frac{\delta^2 - 1}{(\delta^2 + 1) \sqrt{3 \cdot \delta}} \quad (7)$$

где  $A_m$ ,  $A_{mr}$  - соответственно амплитуды виброперемещения грунта под фундаментом источника вибрации и на расстоянии  $r$  от него, м;  $r_0$ - приведенный радиус подошвы фундамента.

Значение  $A_m$  принимают равным амплитуде виброперемещения системы "источник вибрации-фундамент"  $A_{mf}$ .

7. Определяем амплитуду выброскорости, виброускорения и их среднеквадратические значения, и логарифмические уровни на расстоянии (м) от источника:

$$\frac{V_r}{V_{\hat{o}}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{\hat{o}} \int_{\tau}^{\tau+\hat{o}} V_{mr}^2 \cos(\omega\tau + \varphi) d\tau}}{\sqrt{\frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} V_{m\hat{o}}^2 \tilde{n} \tilde{s}(\omega\tau + \psi) d\tau}} = \frac{V_{mr}}{V_{m\hat{o}}}$$

$$V_m = \omega \cdot A_m; \quad a_m = \omega \cdot V_m; \quad V_{m\hat{o}} = \sqrt{2} \cdot V_r \quad (8)$$

где  $V_r$ ,  $V_{mr}$  – соответственно среднеквадратическое и амплитудное значения виброскорости (виброускорения, вибросмещения) на расстоянии  $r$  от источника вибрации;  $V_{\phi}$ ,  $V_{mf}$  – соответственно среднеквадратическое и амплитудное значения виброскорости (виброускорения, вибросмещения) фундамента источника вибрации:

$$L_A = 20 \lg \frac{A}{8 \cdot 10^{-12}}, \quad L_V = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}}$$

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}}, \text{ дБ} \quad (9)$$

$$A = 8 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{0.05 \cdot L_A}, \text{ м}; \quad V = 5 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{0.05 \cdot L_V}, \text{ м/с};$$

$$a = 10^{-6} \cdot 10^{0.05 \cdot L_a}, \text{ м/с}^2 \quad (10)$$

$$V_{mr} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A_{mr}, \quad \text{м/с};$$

$$V_r = V_{mr} / \sqrt{2}, \quad \text{м/с};$$

$$a_{mr} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot V_{mr}, \quad \text{м/с}^2;$$

$$a = a_{mr} / \sqrt{2}, \quad \text{м/с}^2;$$

$$L_V = 20 \lg V / 5 \cdot 10^{-8}, \quad \text{дБ};$$

$$L_a = 20 \lg a / 10^{-6}, \quad \text{дБ}.$$

Для жилой застройки вибрацию нормируют по санитарным нормам, а для производственных сооружений - по стандарту. В обоих случаях нормируемые параметры - вибросмещение, виброскорость, виброускорение и их логарифмические уровни в стандартных октавных полосах частот относительно соответствующих пороговых значений. Предельно допустимые значения параметров вибрации для жилой застройки приведены в табл.2, в табл.3 приведены поправки на особенности вибрации, а в табл.4 - предельно допустимые значения параметров вибрации для производственных зданий без источников вибрации.

Таблица 2 Допустимые значения параметров вибрации для жилой

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Уровни вибросмещения, дБ	133	121	109	103	97	91

Уровни виброскорости, дБ	79	73	67	67	67	67
Уровни виброускорения, дБ	75	75	75	81	87	93

Таблица 3 Поправки на тип вибрации

Влияющий фактор	Условия	Поправка, дБ
Характер вибрации	Постоянная	0
	Непостоянная	-10
Время суток	Ночь (23...7 ч)	0
	День (7...23 ч)	+5
Длительность воздействия в дневное время за наиболее интенсивные 30 минут	Суммарная длительность, %	
	56-100	0
	18-56	+5
	6-18	+10
	Менее 6	+15

Таблица 4 Допустимые значения параметров вибрации на рабочих местах

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	2	4	8	16	31,5	63
Допустимые значения виброскорости, м/с	0,013	0,0045	0,0022	0,002	0,002	0,002
Допустимые значения логарифмические уровней виброскорости, дБ	108	99	93	92	92	92
Допустимые значения виброускорения, м/с <sup>2</sup>	0,14	0,1	0,11	0,2	0,4	0,8

Зная характеристики вибрации под фундаментом и используя зависимость (1), рассчитать характеристики вибрации на произвольном расстоянии от источника. Для этого построить зависимость  $\beta$  от  $r$  для соответствующего значения  $r_0$  ( $\beta$  – одно из отношений вида  $A_{mr}/A_m$ ,  $V_{mr}/V_m$ ,  $a_{mr}/a_m$ ) типа представленной на рис. 1.

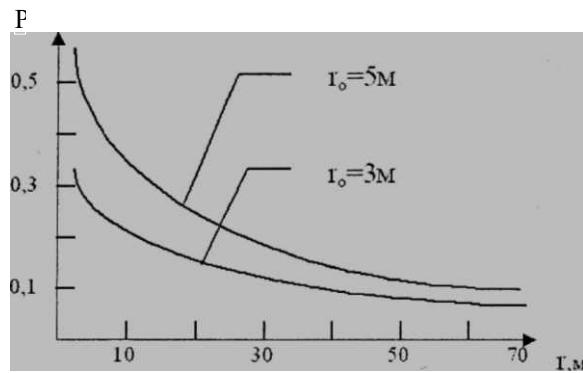


Рис. 1. Зависимость параметра  $\beta$  от расстояния до расчетной точки.

II. Определить минимально допустимое расстояние до жилой застройки от пресса с усилием  $F_m$ , Н и числом оборотов кривошипа  $n$ , об/мин. Масса пресса  $m_p$ , кг, масса фундамента  $m_f$ , кг, площадь фундамента  $S$ ,  $\text{м}^2$ , допустимое давление на основание фундамента. Пресс работает в трехсменном режиме, вибрация - постоянная.

1. Определяем частоту вибровозбуждающей силы:

$$f = n/60, \text{ Гц.}$$

2. По данным табл.1 определяем коэффициент упругого равномерного сжатия грунта:

$$G_z, \text{ Н/м.}$$

3. По формуле (2) определяем жесткость системы "машина-фундамент-грунт" :

$$K_z = G_z \cdot S, \text{ Н/м.}$$

1. По формуле (3) определяем амплитуду вибросмещения фундамента пресса:

$$A_{m\hat{o}} = \frac{F_m}{K_z - m_{\Sigma} \cdot \omega^2}, \text{ м}$$

5. Определяем приведенный радиус фундамента пресса:

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \text{ м}$$

6. По табл.2 для частоты 1,5 Гц определяем допустимый уровень вибропреремещения  $L_{\text{доп}}$ , дБ.

7. По формуле (10) определяем допустимое значение виброперемещения:

$$A_{\text{доп}} = 8 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{0,05 \cdot L_{\text{доп}}}, \text{ м.}$$

8. Определяем допустимое значение амплитуды виброперемещения:

$$\dot{A}_{\text{макс}} = A_{\text{доп}} \cdot \sqrt{2}, \text{ м}$$

9. Определяем отношение  $A_{\text{макс}}/A_{\text{мф}}$  и, подставляя его в (7), решаем последнее относительно  $\delta$ . При  $\delta \gg 1$  (а в нашем случае это именно так - см., например, предыдущую задачу) уравнение (7) сильно упрощается:

$$\frac{\dot{A}_{\text{макс}}}{A_{\text{мф}}} \approx \frac{1}{\sqrt{3 \cdot \delta}}$$

Подставляя вместо  $A_{\text{макс}}$  значение  $A_{\text{доп}}$ , определяем  $\delta_{\text{мин}}$ , а зная приведенный радиус подошвы фундамента  $r_0$ , определяем минимально допустимое расстояние до жилой застройки:

$$\delta_{\text{мин}} = \frac{A_{\text{мф}}^2}{3 \cdot \dot{A}_{\text{макс}}^2};$$

$$r_{\text{мин}} = r_0 \cdot \delta_{\text{мин}}, \text{ м.}$$

III. На сколько децибел необходимо уменьшить уровень виброскорости пресса, чтобы при двухсменной работе цеха в жилых зданиях, расположенных на расстоянии 100 м, вибровоздействие не превышало допустимого значения. Вибрация непостоянная, суммарная длительность воздействия вибрации в дневное время за наиболее интенсивные 30 минут равна 5 минутам. Масса пресса  $m_p$ , кг, масса фундамента  $m_f$ , кг, площадь фундамента  $S$ , м<sup>2</sup>. Усилие пресса  $F_m$ , Н, число оборотов кривошипа  $n$ , об/мин, допустимое давление на основание фундамента, Па.

1. Определяем частоту вибровозбуждающей силы:

$$f = n/60, \text{ Гц,}$$

2. По табл. 2 определяем допустимое значение виброскорости  $L_{\text{вдоп}}$ , дБ.

3. По табл. 3 определяем поправки на характер вибрации  $\Delta L$ , дБ и на длительность воздействия вибрации  $\Delta L$ , дБ. Таким образом, окончательное значение  $L_{\text{вдоп}}$ , дБ. Допустимое среднеквадратическое значение виброскорости равно:

$$V_{\ddot{a}\ddot{r}} = 5 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{0,1 \cdot L_{V\ddot{a}\ddot{r}}}, \text{ м/с}$$

4. По данным табл. 1 определяем коэффициент упругого равномерного сжатия грунта:

$$G_z, \text{ Н/м.}$$

5. По формуле (2) определяем жесткость системы "машина-фундамент-грунт":

$$K_z = G_z \cdot S, \text{ Н/м.}$$

6. По формуле (3) определяем амплитуду вибросмещения фундамента пресса и ее среднеквадратическое значение:

$$A_{m\hat{o}} = \frac{F_m}{K_z - m_{\Sigma} \cdot \omega^2}, \text{ м}$$

$$\hat{A}_{\delta} = \frac{\hat{A}_{m\hat{o}}}{\sqrt{2}}, \text{ м}$$

7. Определяем среднеквадратическое значение виброскорости фундамента пресса по формуле (8):

$$V_{\phi} = \omega \cdot A_{\phi}, \text{ м/с.}$$

8. Определяем приведенный радиус фундамента пресса и параметр  $\delta$ :

$$r_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \text{ м}$$

$$\delta = r/r_0$$

9. Определяем значение виброскорости фундамента пресса, при котором в жилой зоне вибровоздействие не превышает норм:

$$V_{\hat{o}\hat{o}\hat{o}\hat{o}} = \frac{V_{\ddot{a}\ddot{r}}}{\sqrt{3\delta}}, \text{ м/с}$$

10. Определяем на сколько децибел необходимо уменьшить уровень виброскорости фундамента пресса, чтобы в жилой зоне вибровоздействие не превышало норм:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{V_{\hat{o}\hat{o}\hat{o}\hat{o}}}{V_{\delta}}, \text{ дБ}$$

Сделать общие выводы по работе.

Работу выполнил:	
Работу принял:	

**Контрольные вопросы:**

1. Предельно допустимый уровень (ПДУ) вибрации
2. Допустимый уровень вибрации в жилых и общественных зданиях.
3. Корректированный уровень вибрации.
4. Эквивалентный (по энергии) корректированный уровень изменяющейся во времени вибрации.

5. Классификация вибраций, действующих на человека, по способу передачи, по источнику возникновения.

6. Спектр вибрации;

7. Частотный состав вибрации.

**Таблица 5. Индивидуальное задание**

№ варианта	<i>L</i> , м	F <sub>m</sub> , Н	<i>n</i> , об/мин	<i>m<sub>п</sub></i> , кг	<i>m<sub>ф</sub></i> , кг	<i>S, m<sup>2</sup></i>	Допустимое давление на основание фундамента, Па
1	10	6,18- 10 <sup>5</sup>	70	6,9- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	4	98000
2	20	5,1- 10 <sup>5</sup>	80	7,9- 10 <sup>3</sup>	9,7-10 <sup>3</sup>	6	196000
3	30	7,2- 10 <sup>5</sup>	90	8,9- 10 <sup>3</sup>	10,9-10 <sup>3</sup>	8	294000
4	40	8,3- 10 <sup>5</sup>	100	9,6- 10 <sup>3</sup>	10,6-10 <sup>3</sup>	7	392000
5	50	5,2- 10 <sup>5</sup>	110	5,8- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	5	490000
6	60	6,18- 10 <sup>5</sup>	75	8,6- 10 <sup>3</sup>	10,3-10 <sup>3</sup>	8	98000
7	15	5,1- 10 <sup>5</sup>	80	7,5- 10 <sup>3</sup>	9,5-10 <sup>3</sup>	6	196000
8	25	7,2- 10 <sup>5</sup>	85	6,9- 10 <sup>3</sup>	8,6-10 <sup>3</sup>	4	294000
9	35	8,3- 10 <sup>5</sup>	90	7,9- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	6	98000
10	45	5,2- 10 <sup>5</sup>	95	8,9- 10 <sup>3</sup>	9,7-10 <sup>3</sup>	8	196000
11	55	6,18- 10 <sup>5</sup>	100	9,6- 10 <sup>3</sup>	10,9-10 <sup>3</sup>	7	196000
12	65	5,1- 10 <sup>5</sup>	70	5,8- 10 <sup>3</sup>	10,6-10 <sup>3</sup>	5	294000
13	27	7,2- 10 <sup>5</sup>	80	8,6- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	8	392000
14	37	8,3- 10 <sup>5</sup>	90	7,5- 10 <sup>3</sup>	10,3-10 <sup>3</sup>	6	490000
15	47	5,2- 10 <sup>5</sup>	100	6,9- 10 <sup>3</sup>	9,5-10 <sup>3</sup>	4	98000
16	10	5,2- 10 <sup>5</sup>	110	5,8- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	6	196000
17	20	6,18- 10 <sup>5</sup>	75	8,6- 10 <sup>3</sup>	10,3-10 <sup>3</sup>	4	294000
18	30	5,1- 10 <sup>5</sup>	80	7,5- 10 <sup>3</sup>	9,5-10 <sup>3</sup>	6	392000
19	40	7,2- 10 <sup>5</sup>	85	6,9- 10 <sup>3</sup>	8,6-10 <sup>3</sup>	8	490000
20	50	5,2- 10 <sup>5</sup>	95	8,9- 10 <sup>3</sup>	9,7-10 <sup>3</sup>	7	98000
21	60	6,18- 10 <sup>5</sup>	100	9,6- 10 <sup>3</sup>	10,9-10 <sup>3</sup>	5	294000
22	45	5,1- 10 <sup>5</sup>	70	5,8- 10 <sup>3</sup>	10,6-10 <sup>3</sup>	8	392000
23	55	6,18- 10 <sup>5</sup>	70	6,9- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	6	490000
24	65	5,1- 10 <sup>5</sup>	80	7,9- 10 <sup>3</sup>	9,7-10 <sup>3</sup>	4	98000
25	27	7,2- 10 <sup>5</sup>	90	8,9- 10 <sup>3</sup>	10,9-10 <sup>3</sup>	4	196000
26	37	8,3- 10 <sup>5</sup>	100	9,6- 10 <sup>3</sup>	10,6-10 <sup>3</sup>	6	294000
27	35	5,2- 10 <sup>5</sup>	110	5,8- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	8	98000
28	45	6,18- 10 <sup>5</sup>	75	8,6- 10 <sup>3</sup>	10,3-10 <sup>3</sup>	7	196000
29	55	7,2- 10 <sup>5</sup>	80	8,6- 10 <sup>3</sup>	7,6-10 <sup>3</sup>	5	196000
30	65	8,3- 10 <sup>5</sup>	90	7,5- 10 <sup>3</sup>	10,3-10 <sup>3</sup>	8	294000

## 8. Временные характеристики вибрации.

### 2.3 Лабораторная работа №3

Тема : «Способы защиты от радиоактивного заражения. Методы расчета толщины защитных экранов»

К числу технических средств защиты относится устройство различных экранов из материалов, отражающих и поглощающих радиоактивное излучение. Экраны устраивают как стационарные, так и передвижные.

При расчете защитных экранов определяют их материал и толщину, которые зависят от вида излучения, энергии частиц и квантов и необходимой кратности его ослабления. Характеристика защитных материалов и опыт работы с источниками излучений позволяют наметить преимущественные области использования того или иного защитного материала.

Металл чаще всего применяют для сооружения передвижных устройств, а строительные материалы (бетон, кирпич и др.) — для сооружения стационарных защитных устройств.

Прозрачные материалы чаще всего применяют для смотровых систем и поэтому они должны обладать не только хорошими защитными, но и высокими оптическими свойствами. Хорошо удовлетворяют таким требованиям следующие материалы: свинцовое стекло, известковое стекло, стекло с жидким наполнителем (бронестый цинк, хлористый цинк);

Находит применение в качестве защитного материала от гамма-лучей свинцовая резина.

Расчет защитных экранов базируется на законах взаимодействия различных видов излучений с веществом. Защита от альфа-излучений не является сложной задачей, так как альфа-частицы нормальных энергий поглощаются слоем живой ткани 60 мкм, в то время как толщина эпидермиса (омертвевшей кожи) равна 70 мкм. Слой воздуха в несколько сантиметров или лист бумаги являются достаточной защитой от альфа-частиц.

При прохождении бета-излучения через вещество возникает вторичное излучение, поэтому в качестве защитных необходимо применять легкие материалы (алюминий, плексиглас, полистирол), так как энергия тормозного излучения увеличивается с ростом атомного номера материала.

Для защиты от бета-частиц (электронов) высоких энергий используют экраны из свинца, но внутренняя облицовка экранов должна быть изготовлена из материала с малым атомным номером, чтобы уменьшить первоначальную энергию электронов, а следовательно, и энергию излучения, возникающего в свинце.

Толщина защитного экрана из алюминия (г/см<sup>2</sup>) определяется из выражения

$$d = (0,54E_{max} - 0,15),$$

где  $E_{max}$  — максимальная энергия бета-спектра данного радиоактивного изотопа, МэВ.

При расчете защитных устройств в первую очередь необходимо учитывать спектральный состав излучения, его интенсивность, а также расстояние от источника, на котором находится обслуживающий персонал, и время пребывания в сфере воздействия излучения.

В настоящее время на основании имеющихся расчетных и экспериментальных данных известны таблицы кратности ослабления, а также различного рода номограммы, позволяющие определить толщину защиты от гамма-излучений различных энергий. В качестве примера на рис. 1 приведена номограмма для расчета толщины свинцовой защиты от точечного источника для широкого пучка гамма-излучений Соб60, которая обеспечивает снижение дозы излучения до предельно допустимой. На оси абсцисс отложена толщина защиты  $d$ , на оси ординат коэффициент  $K_1$  равный

$$K_1 = \frac{Mt}{3R^2}, \quad (24)$$

где  $M$  — гамма-эквивалент препарата, мг\*экв. Ra;

$t$  — время работы в сфере воздействия излучения, ч;  $R$  — расстояние от источника, см. Например, надо рассчитать защиту от источника Соб60, при  $M = 5000$  мг-экв Ra, если обслуживающий персонал находится на расстоянии 200 см в течение рабочего дня, т. е.  $t = 6$  ч.

Подставляя значения  $M$ ,  $R$  и  $t$  в выражение (24), определяем

$$K_1 = \frac{5000 \cdot 6}{3 \cdot 40000} = 0,25 = 2,5 \cdot 10^{-1}.$$

По номограмме (см. рис. 59) получаем, что для  $K_1 = 2,5 \cdot 10^{-1}$  толщина защиты из свинца  $d = 7$  см.

Другой тип номограммы приведен на рис. 60. Здесь на оси ординат отложена кратность ослабления  $K$ , равная

$$K = D_0/D$$

Используя выражение (23), получим

$$K = \frac{8,4Mt}{R^2 D},$$

где  $D_0$  — доза, создаваемая источником излучения в данной точке в отсутствие защиты;  $D$  — доза, которая должна быть создана в данной точке после устройства защиты.

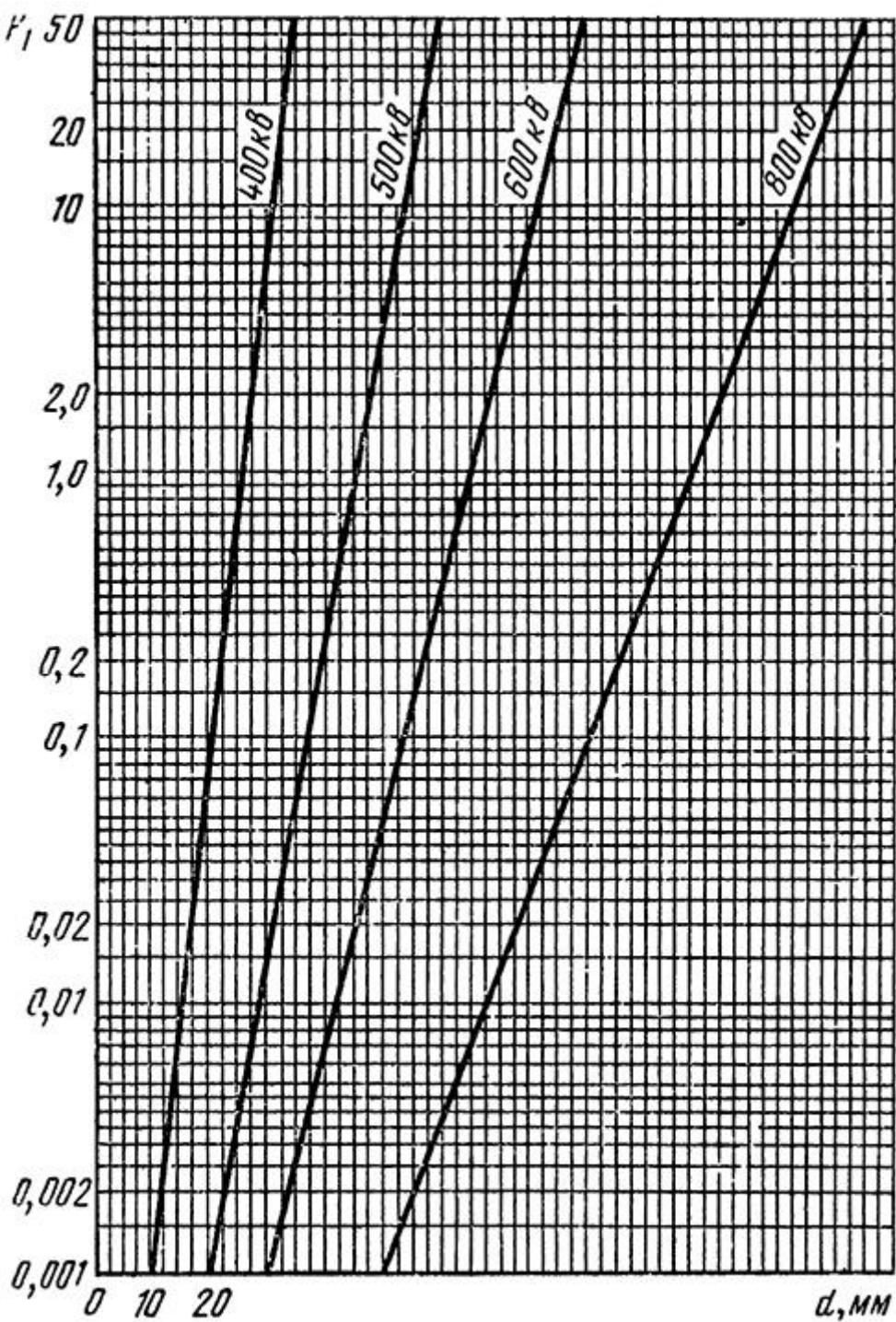


Рис. 1. Номограмма для расчета толщины свинцовой защиты от точечного источника для широкого пучка гамма-излучения Со60

Предположим, необходимо рассчитать толщину стен помещения, в котором расположена гамма-терапевтическая установка, заряженная препаратом Cs137 в 400 г-экв Ra ( $M = 400$  000 мг-экв Ra). Ближайшее расстояние, на котором находится обслуживающий персонал, в соседнем помещении  $R = 600$  см. Согласно санитарным нормам в соседних помещениях, в которых находятся люди, не связанные с работой с радиоактивными веществами, доза излучения не должна превышать 0,03 бэр/неделю или для гамма-излучения примерно 0,005 рад за рабочий день, т. е.  $D = 0,005$  рад за  $t = 6$  ч ослабления, воспользуемся формулой (23). Чтобы оценить кратность

$$K = \frac{8,4Mt}{R^2D} = \frac{8,4 \cdot 400\,000 \cdot 6}{360\,000 \cdot 0,005} = 1,1 \cdot 10^4.$$

По рис. 2 определяем, что для  $K = 1,1 \cdot 10^4$ , толщина защиты из бетона равна примерно 70 см.

При выборе защитного материала надо руководствоваться его конструкционными свойствами, а также требованиями к габариту и массе защиты. Для защитных кожухов различного типа (гамма-терапевтических, гамма-дефектоскопических), когда существенную роль играет масса, наиболее выгодными защитными материалами являются материалы, которые лучше всего ослабляют гамма-излучение. Чем больше плотность и порядковый номер вещества, тем больше степень ослабления гамма-излучений.

Поэтому для указанных выше целей чаще всего используют свинец, а иногда даже уран. В этом случае толщина защиты меньше, чем при использовании другого материала, а следовательно, меньше масса защитного кожуха.

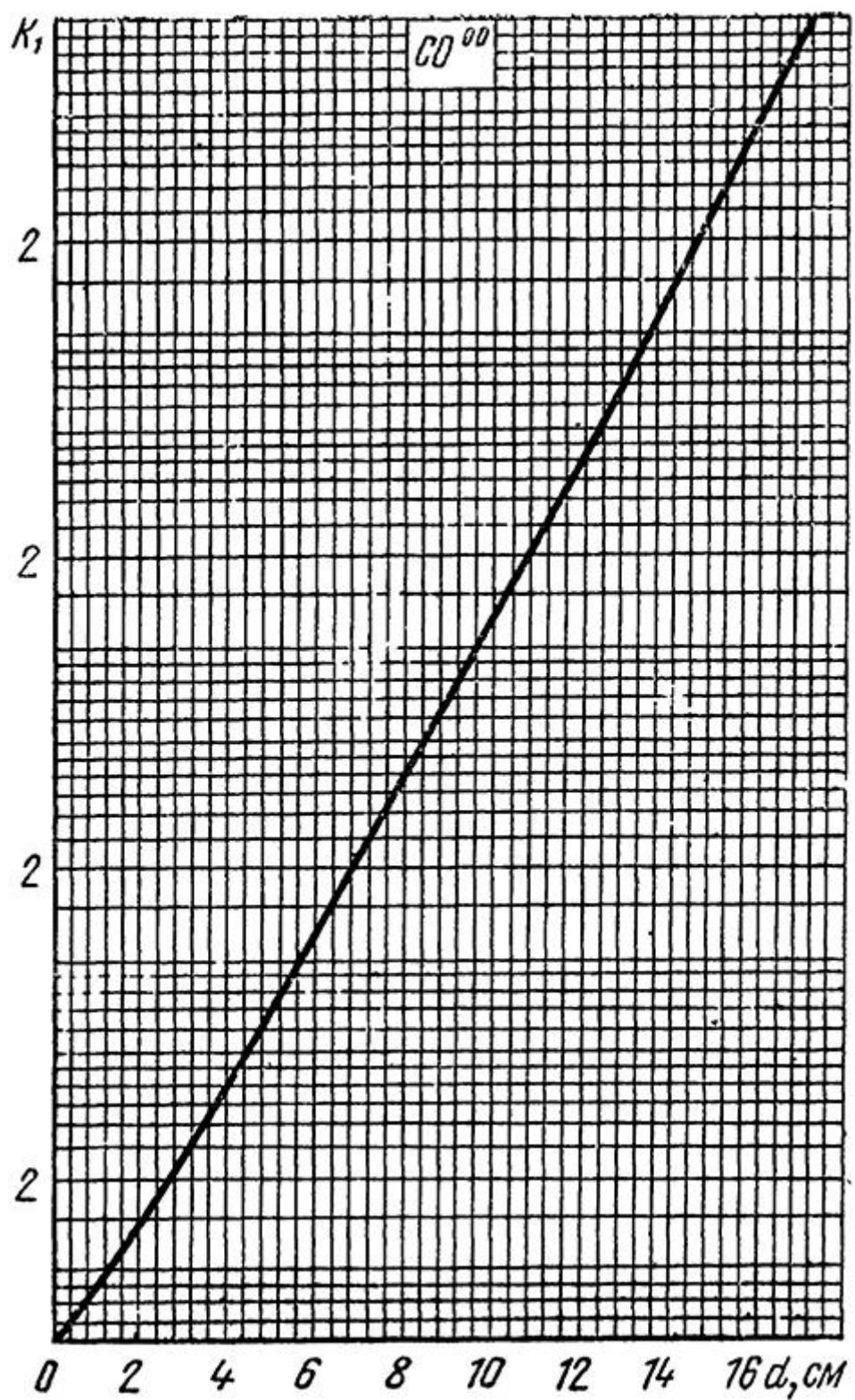


Рис. 2. Номограмма для расчета толщины защиты от гамма-излучения по кратности ослабления

При создании стационарной защиты (т. е. защиты помещений, в которых ведутся работы с гамма-источниками), обеспечивающей пребывание людей в соседних комнатах, наиболее экономично и удобно использовать бетон. Если мы имеем дело с мягким излучением, при

котором существенную роль играет фотоэффект, в бетон добавляют вещества с большим порядковым номером, в частности барит, что позволяет уменьшить толщину защиты.

В качестве защитного материала для хранилища часто используют воду, т. е. препараты опускают в бассейн с водой, толщина слоя которой обеспечивает необходимое снижение дозы излучения до безопасных уровней. При наличии водяной защиты более удобно проводить зарядку и перезарядку установки, а также выполнять ремонтные работы.

В некоторых случаях условия работы с источниками гамма-излучения могут быть такими, что невозможно создать стационарную защиту (при перезарядке установок, извлечении радиоактивного препарата из контейнера, градуировке прибора и т. д.). Здесь имеется в виду, что активность источников невелика. Чтобы обезопасить обслуживающий персонал от облучения, надо пользоваться, как говорят «защитой временем» или «защитой расстоянием». Это значит, что все манипуляции с открытыми источниками гамма-излучения следует производить при помощи длинных захватов или держателей. Кроме того, ту или иную операцию надо производить только за тот промежуток времени, в течение которого доза, полученная работающим, не превысит установленной санитарными правилами нормы. Такие работы нужно вести контролем дозиметриста. При этом в помещении не должны находиться посторонние лица, а зону, в которой доза превышает предельно допустимую за время работы, необходимо оградить.

Необходимо периодически производить контроль защиты при помощи дозиметрических приборов, так как с течением времени она может частично потерять свои защитные свойства вследствие появления тех или иных незаметных нарушений ее целостности, например трещин в бетонных и баритобетонных ограждениях, вмятин и разрывов свинцовых листов и т. д.

Расчет защиты от нейтронов производят по соответствующим формулам или номограммам. В качестве защитных материалов в этом случае следует брать вещества с малым атомным номером, ибо при каждом столкновении с ядром нейtron теряет тем большую часть своей энергии, чем ближе масса ядра к массе нейтрона. Для защиты от нейтронов обычно используют воду, полиэтилен. Практически не бывает чистых потоков нейтронов. Во всех источниках помимо нейтронов существуют мощные потоки гамма-излучения, которые образуются в процессе деления, а также при распаде продуктов деления. Поэтому при проектировании защиты от нейтронов всегда надо одновременно предусматривать защиту от гамма-излучений.

## **2.4 Лабораторная работа №4 Виды теплового расчета теплообменников.**

Цель работы: Изучить процесс теплообмена в змеевике, кожухотрубчатом теплообменниках, экспериментально определить коэффициенты теплопередачи, рассчитать коэффициенты теплопередачи по предложенным зависимостям и сравнить опытные и рассчитанные значения. Исследовать влияние скорости потока на

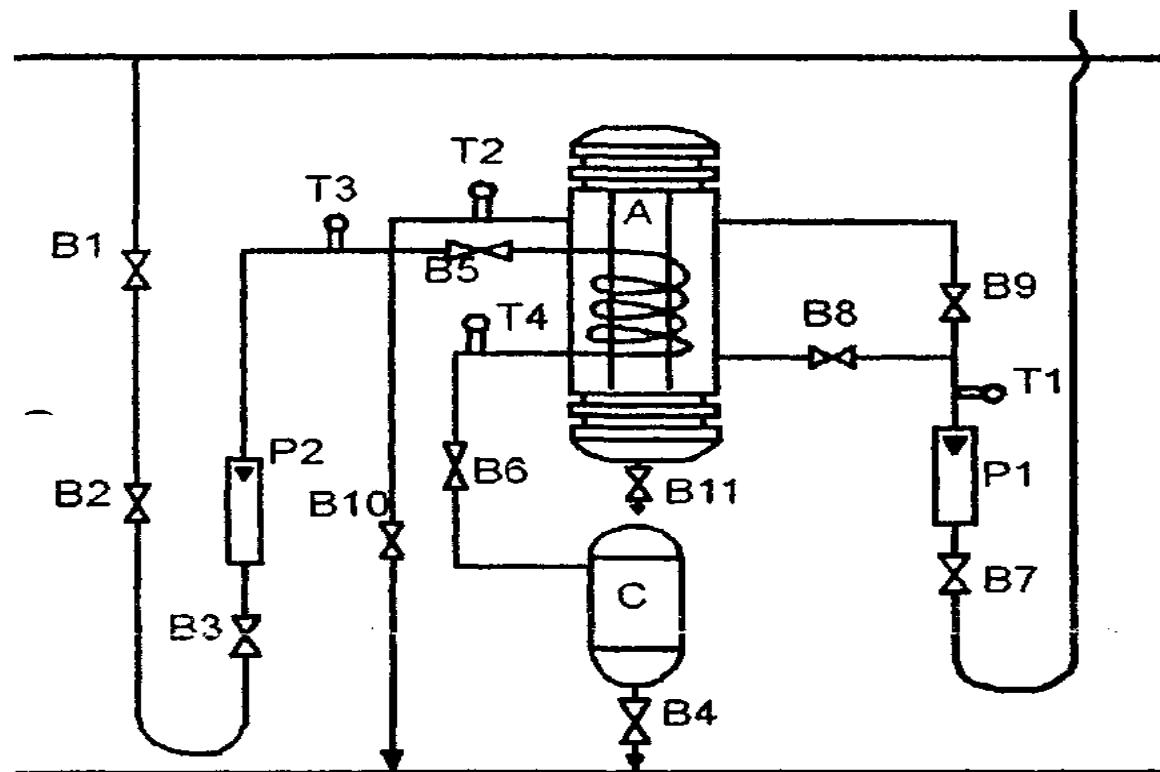
интенсивность теплопередачи, сравнить коэффициенты теплопередачи, полученные для двух теплообменников при одинаковых расходах теплоносителей.

Таблица1: конструктивные размеры теплообменников

ПАРАМЕТРЫ	ЗМЕЕВИКОВЫЙ	КОЖУХОТРУБЧАТЫЕ	
		Водяной	Воздушный
Высота (длинна), м	0,68	2,3	1
Наружный диаметр кожуха (кожуховых труб), м	0,34	0,21	0,32
Внутренний диаметр кожуха (кожуховых труб), м	0,328	0,20	0,30
Наружный диаметр трубок, м	0,015	0,025	0,025
Внутренний диаметр трубок, м	0,012	0,019	0,020
Количество трубок	1	8	37
Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>	0,35	1,27	2,60
Диаметр змеевика, м	0,25		
Число витков	10		
Число ходов	1	2	1

## 1. Змеевиковый теплообменник

Змеевиковый теплообменник представляет собой змеевик, помещённый в кожух. Горячая вода движется по змеевику, а холодная внутри кожуха. Кроме горячей воды в змеевик может подаваться пар, и для этого случая предусмотрен сборник конденсата С. Для того, чтобы увеличить скорость движения холодной воды и, следовательно, повысить интенсивность теплообмена внутри змеевика помещен цилиндр, диаметр которого равен 150 мм. Благодаря ему холодная вода движется не по всему аппарату, а по кольцевому зазору, образованному кожухом и цилиндром. При нормальной работе холодная вода движется противотоком через вентиль В8. Вентиль В9 открывается в случае промывки аппарата.



А - теплообменник;

С - сборник конденсата;

Р - ротаметры;

В - вентили;

Т - точки замера температуры.

Рисунок 1— Схема змеевикового теплообменника.

Расход холодной воды измеряется ротаметром Р1 и регулируется вентилями В7, В8, В9. Температура холодной воды на входе измеряется термометром Т1, а на выходе -

термометром Т2 работающим в комплекте с электронным мостом. Горячая вода подаётся в верхнюю часть аппарата. Расход её измеряется ротаметром Р2 и регулируется вентилями В1, В2, В3. Температура горячей воды на входе измеряется термометром Т3, а на выходе Т4. Вентиль В11 служит для полного опорожнения кожуха от жидкости. Для подачи горячей воды необходимо плавно открыть вентили В1, В2, В3, В4, В5, В6 и вентилем В3 установить по указанию преподавателя по ротаметру Р2 расход горячей воды. Для подачи холодной воды открыть вентили В10, В8 и вентилем В7 по ротаметру Р1 установить расход холодной воды. После прогрева установки (через 15-20 минут) снять показания температур по шкале электронного автоматического моста.

Таблица 2: опытные данные

№	Расход теплоносителя м <sup>3</sup> /с		Температура горячего теплоносителя		Температура холодного теплоносителя	
	Горячего	Холодного	На входе	На выходе	На входе	На выходе
1			80,6	71,7	15,5	72
2	0,0003	0,00003	81	71,9	15,3	72,6
3			81,2	72	15,2	73,2

Для расчета берем значения 3 строки. У нас противоток.

Расчет: Количество передаваемого тепла

$$Q_{общ} = Q_{нол} + Q_n$$

$$1). Q_{общ} = G_{\Gamma} \cdot C_{P\Gamma} (t_{H\Gamma} - t_{K\Gamma})$$

$$t_{cp\Gamma} = \frac{t_{H\Gamma} + t_{K\Gamma}}{2} = \frac{81,2 + 72}{2} = 76,6 K$$

По таблице [1]:  $\rho_{\Gamma} = 974,04 \text{ кг} / \text{м}^3$ ,  $C_{P\Gamma} = 4190 \text{ Дж} / \text{кг} \cdot K$

$$G_{\Gamma} = V_{\Gamma} \cdot \rho_{\Gamma} = 0,0003 \cdot 974,04 = 0,2922 \text{ кг} / \text{с}$$

$$Q_{общ} = 0,2922 \cdot 4190 (81,2 - 72) = 11263,73 \text{ Bm}$$

$$2). Q_{нол} = G_X \cdot C_X (t_{KX} - t_{HX})$$

$$t_{cpX} = \frac{t_{KX} + t_{HX}}{2} = \frac{73,2 + 15,2}{2} = 44,2 K$$

По таблице [1]:  $\rho_X = 990,32 \text{ кг} / \text{м}^3$ ,  $C_{PX} = 4190 \text{ Дж} / \text{кг} \cdot K$

$$G_X = V_X \cdot \rho_X = 0,00003 \cdot 990,32 = 0,0297 \text{ кг} / \text{с}$$

$$Q_{нол} = 0,0297 \cdot 4190 (73,2 - 15,2) = 7217,69 \text{ Bm}$$

$$3). Q_n = Q_{общ} - Q_{нол} = 11263,73 - 7217,69 = 4046,04 \text{ Bm}$$

$$Q_n = \frac{11263,73 - 7217,69}{11263,73} \cdot 100 = 35,92\%$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{In \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}$$

У нас противоток

$$\Delta t_1 = t_{H\Gamma} - t_{KX} = 81,2 - 73,2 = 8 K$$

$$\Delta t_2 = t_{K\Gamma} - t_{HX} = 72 - 15,2 = 56,8 K$$

$$\Delta t_2 > \Delta t_1, \text{ то } \Delta t_2 = \Delta t_6, \Delta t_1 = \Delta t_m$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{56,8 - 8}{In \frac{56,8}{8}} = 24,89 K$$

Из основного уравнения теплопередачи рассчитываем опытное значение коэффициента теплопередачи:

$$Q_{нол} = K F \Delta t_{cp}$$

$$K = \frac{Q_{нол}}{F \Delta t_{cp}} = \frac{7217,69}{0,35 \cdot 24,89} = 828,52 \text{ Bm} / \text{м}^2 K$$

По таблицам [1] определяем необходимые данные для дальнейшего расчета исходя из значений температур:

для горячего при  $t_{cp}=76,6 \text{ K}$  -  $\mu_{\Gamma}=372,34 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;

$$\lambda_r = 67,262 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м·К};$$

$$r_{\text{загр.Г}} = 0,0005 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$Pr_{\Gamma} = 2,3256 \text{ для холодного при } t_{\text{ср}} = 44,2 \text{ К} \text{ - } \mu_x = 611,64 \cdot 10^{-6} \text{ Па·с};$$

$$\lambda_x = 63,988 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м·К}; r_{\text{загр.Х}} = 0,0003 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт};$$

$$Pr_x = 3,9866 \text{ Для стальной стенки } \lambda_{\text{ст}} = 46,5 \text{ Вт/м·К.}$$

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Gamma}} + r_{\text{загр.Г}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{\text{загр.Х}} + \frac{1}{\alpha_x}}$$

$$\text{Для горячего: } Re_{\Gamma} = \frac{W_{\Gamma} \cdot d_{Bn} \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}}, \text{ откуда } W_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{S_{\Gamma}}$$

$$S_{\Gamma} = \frac{\pi \cdot d_{Bn}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$W_{\Gamma} = \frac{0,0003}{1,13 \cdot 10^{-4}} = 2,65 \text{ м/с}$$

$$Re_{\Gamma} = \frac{2,65 \cdot 0,012 \cdot 974,04}{372,34 \cdot 10^{-6}} = 83188,7 \text{ режим движения турбулентный}$$

$$\text{Для холодного: } Re_x = \frac{W_x \cdot d_{Bn} \cdot \rho_x}{\mu_x}, \text{ откуда } W_x = \frac{V_x}{S_x}$$

$$S_x = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_{cm}^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,34^2 - 0,15^2)}{4} = 0,073 \text{ м}^2$$

$$W_x = \frac{0,00003}{0,073} = 4,1 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$$

$$Re_x = \frac{4,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,15 \cdot 990,32}{611,64 \cdot 10^{-6}} = 99,6 \text{ режим движения ламинарный}$$

Расчитываем критерий Нуссельта:

$$\text{для горячего: } Nu_{\Gamma} = 0,021 \cdot Re_{\Gamma}^{0,8} \cdot Pr_{\Gamma}^{0,4} \cdot \frac{Pr_{\Gamma}}{Pr_{Cm}} = 0,021 \cdot 83138,7^{0,8} \cdot 2,3256^{0,4} \cdot 1 = 254,03$$

$$\text{для холодного: } Nu_x = \left[ 49 + 4,2 \cdot Re_x \cdot Pr_x \left( \frac{d_{cm}}{l_{mp}} \right) \right]^{0,33} \cdot \left( \frac{\mu}{\mu_{Cm}} \right)^{0,14} = \left[ 49 + 4,2 \cdot 99,6 \cdot 3,9866 \left( \frac{0,15}{0,68} \right) \right]^{0,33} \cdot 1 = 7,32$$

Для изогнутых труб(змеевиков) значение  $\alpha$  умножают на коэффициент  $x$ , учитывающий относительную кривизну змеевика:  $x = 1 + 3,54 \frac{d}{D}$ , где  $d$  – внутренний диаметр трубы змеевика,  $D$  – диаметр витка змеевика.

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{Nu_{\Gamma} \cdot \lambda_{\Gamma}}{d_{Bn}} = \frac{254,03 \cdot 67,262 \cdot 10^{-2}}{0,012} = 14238,8 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

$$\alpha_{3M} = x \alpha_{\Gamma} = \left( 1 + 3,54 \frac{d}{D} \right) \alpha_{\Gamma} = \left( 1 + 3,54 \frac{0,012}{0,25} \right) 14238,8 = 16658,2 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

$$\alpha_x = \frac{Nu_x \cdot \lambda_x}{d_{cm}} = \frac{7,32 \cdot 63,988 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 31,2 \text{ Bm / m}^2 \text{ K}$$

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\Gamma} + r_{\text{загр}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{\text{загрX}} + \frac{1}{\alpha_x}} = \frac{1}{\frac{1}{16658,2} + 0,0005 + \frac{0,0015}{46,5} + 0,0003 + \frac{1}{31,2}} = 30,4 \text{ Bm / m}^2 \text{ K}$$

Таблица 3: рассчитанные величины:

№ п/п	Количество тепла, Q, Дж/с		Потери тепла, Qп, Дж/с	Средняя разность температур $\Delta T_{cp}$ , К	Коэффициенты теплопередачи, Вт/	
	Отданное горячим теплоносителем	Принятое холодным теплоносителем			Опытный	Расчетный
1	11263,73	7217,69	4046,04	24,89	828,52	30,4

## 2. Кожухотрубчатый водяной теплообменник

Кожухотрубчатый водяной теплообменник представляет собой аппарат с плавающей головкой, по трубам которого проходит холодная вода, а горячая подается в межтрубное пространство.

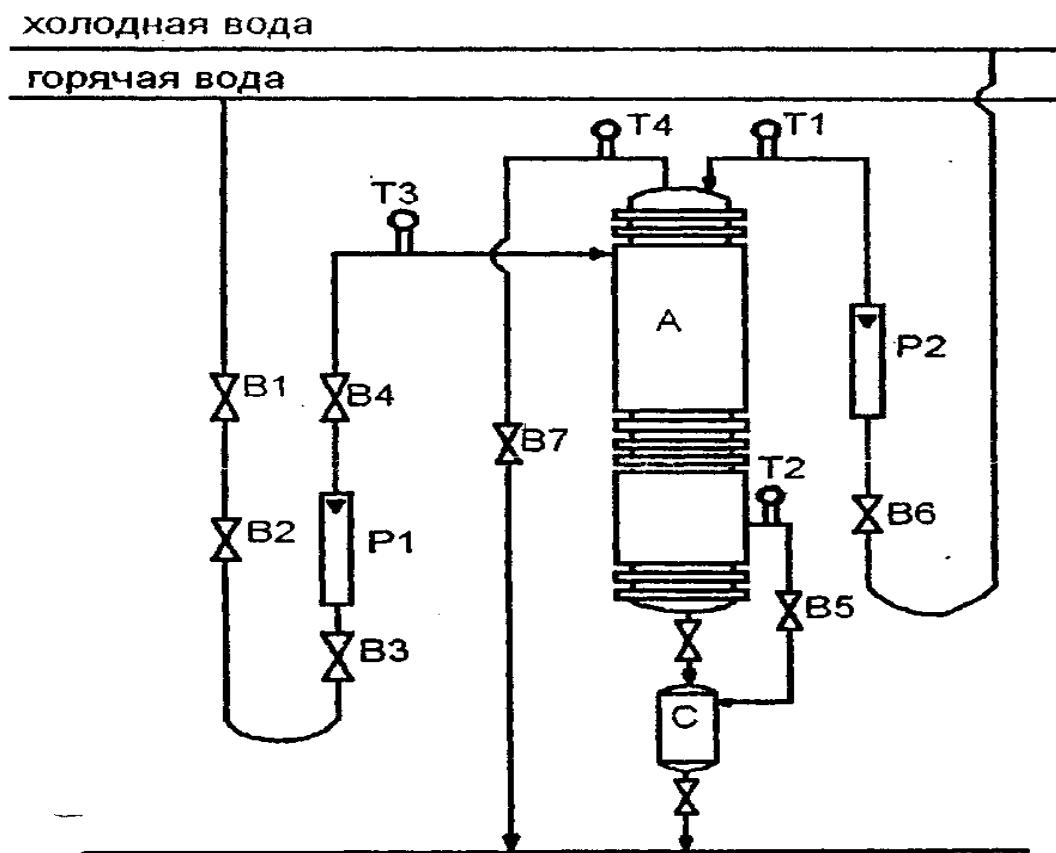


Рисунок 2 - Схема кожухотрубчатого водяного теплообменника

А – теплообменник;

В – вентили;

Р – ротаметры;

Т – точки замера температур.

Расход горячей воды измеряется ротаметром Р1 и регулируется вентилями В1, В2, В3, В4, В5. Расход холодной воды измеряется ротаметром Р2 и регулируется вентилями В6, В7. Вместо горячей воды в межтрубное пространство может подаваться пар. Для этого случая предусмотрен сборник конденсата С. Температура горячей и холодной воды на входе выходе измеряется термометрами Т1, Т3, Т2, Т4, работающими в комплекте с электронным мостом.

Для подачи горячей воды необходимо открыть вентили В1, В2, В3, В4, В5 на 1-1.5 оборота и с помощью вентиля В3 по ротаметру Р1 установить заданный преподавателем расход горячей воды. Для подачи холодной воды открыть вентиль В7 и с помощью вентиля В6 по ротаметру Р2 установить расход холодной воды.

После прогрева установки (через 15-20 минут) снять показания термометров Т1, Т2, Т3, Т4 по шкале электронного автоматического моста.

Таблицу 4: опытные данные

№	Расход теплоносителя м <sup>3</sup> /с		Температура горячего теплоносителя		Температура холодного теплоносителя	
	Горячего	Холодного	На входе	На выходе	На входе	На выходе
1	0,000032	0,000047	91	59,9	17,1	79,6
2			91,1	60,2	16,9	79,9
3			91,1	60,3	16,7	79,9
4			91,03	60,13	16,9	79,8

Для расчета берем из таблицы усредненные значения строки 4.

Расчет: Количество передаваемого тепла

$$Q_{o\delta u} = Q_{no\lambda} + Q_n$$

$$1). Q_{o\delta u} = G_\Gamma \cdot C_{p\Gamma} (t_{H\Gamma} - t_{K\Gamma})$$

$$t_{cp\Gamma} = \frac{t_{H\Gamma} + t_{K\Gamma}}{2} = \frac{91,03 + 60,13}{2} = 75,58K$$

$$\text{По таблице [1]: } \rho_\Gamma = 974,652 \text{ кг / м}^3, C_{p\Gamma} = 4190 \text{ Дж / кг · К}$$

$$G_\Gamma = V_\Gamma \cdot \rho_1 = 0,00032 \cdot 974,652 = 0,312 \text{ кг / с}$$

$$Q_{o\delta u} = 0,312 \cdot 4190 (91,03 - 60,13) = 40394,9 \text{ Bm}$$

$$2). Q_{no\lambda} = G_X \cdot C_X (t_{KX} - t_{HX})$$

$$t_{cpX} = \frac{t_{KX} + t_{HX}}{2} = \frac{79,8 + 16,9}{2} = 48,35K$$

$$\text{По таблице [1]: } \rho_X = 988,66 \text{ кг / м}^3, C_{pX} = 4190 \text{ Дж / кг · К}$$

$$G_X = V_X \cdot \rho_X = 0,000047 \cdot 988,66 = 0,046 \text{ кг / с}$$

$$Q_{no\lambda} = 0,046 \cdot 4190 (79,8 - 16,9) = 12123,3 \text{ Bm}$$

$$3). Q_n = Q_{o\delta u} - Q_{no\lambda} = 40394,9 - 12123,3 = 28271,6 \text{ Bm}$$

$$Q_n = \frac{40394,9 - 12123,3}{40394,9} \cdot 100 = 69,9\%$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{In \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}$$

У нас противоток

$$\Delta t_1 = t_{H\Gamma} - t_{KX} = 91,03 - 79,8 = 11,23K$$

$$\Delta t_2 = t_{K\Gamma} - t_{HX} = 60,13 - 16,9 = 43,23K$$

$$\Delta t_2 > \Delta t_1, \text{ то } \Delta t_2 = \Delta t_6, \Delta t_1 = \Delta t_m$$

$$\Delta t_{cp,np} = \frac{43,23 - 11,23}{In \frac{43,23}{11,23}} = 23,74K$$

Так как число ходов два, то применяем поправочный коэффициент  $\varepsilon_{\Delta t}$  по графику  $R = f(P)$

$$\Delta t_{cp} = \varepsilon_{\Delta t} \cdot \Delta t_{cp,np}$$

$$P = \frac{t_{H\Gamma} - t_{HX}}{t_{H\Gamma} - t_{K\Gamma}} = \frac{79,8 - 16,9}{91,03 - 60,13} = 0,8$$

$$R = \frac{t_{H\Gamma} - t_{K\Gamma}}{t_{H\Gamma} - t_{HX}} = \frac{91,03 - 60,13}{79,8 - 16,9} = 0,5$$

$$\varepsilon_{\Delta t} \approx 0,5$$

$$\Delta t_{cp} = 0,5 \cdot 23,74 = 11,87K$$

Из основного уравнения теплопередачи рассчитываем опытное значение коэффициента теплопередачи:

$$Q_{\text{пол}} = K F \Delta t_{\text{cp}}$$

$$K = \frac{Q_{\text{пол}}}{F \Delta t_{\text{cp}}} = \frac{12123,3}{1,27 \cdot 11,87} = 804,2 \text{ Bm / m}^2 \text{ K}$$

По таблицам [1] определяем необходимые данные для дальнейшего расчета исходя из значений температур:

для горячего при  $t_{\text{cp}}=75,58 \text{ K}$  -  $\mu_r=377,542 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;

$\lambda_r=67,1906 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ ;

$r_{\text{загр.Г}}=0,0005 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ;

$Pr_{\Gamma}=2,354$

для холодного при  $t_{\text{cp}}=48,35 \text{ K}$  -  $\mu_x=566,82 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ;

$\lambda_x=64,569 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ ;

$r_{\text{загр.Х}}=0,0003 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ ;

$Pr_x=3,678$

Для стальной стенки  $\lambda_{\text{ст}}=46,5 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ .

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Gamma}} + r_{\text{загр.Г}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{\text{загр.Х}} + \frac{1}{\alpha_X}}$$

$$\text{Для горячего: } Re_{\Gamma} = \frac{W_{\Gamma} \cdot (D_{Bn}^2 - nd_{\text{н}}^2) \cdot \rho_{\Gamma}}{\mu_{\Gamma}}, \text{ откуда } W_{\Gamma} = \frac{V_{\Gamma}}{S_{\Gamma}}$$

$$S_{\Gamma} = \frac{\pi \cdot (D_{Bn}^2 - nd_{\text{н}}^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,2^2 - 8 \cdot 0,025^2)}{4} = 0,027 \text{ м}^2$$

$$W_{\Gamma} = \frac{0,0003}{0,027} = 1,18 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\text{Re}_{\Gamma} = \frac{1,18 \cdot 10^{-2} \cdot (0,2^2 - 8 \cdot 0,025^2) \cdot 974,652}{377,542 \cdot 10^{-6}} = 1066 \text{ режим движения ламинарный}$$

$$\text{Для холодного: } \text{Re}_X = \frac{W_X \cdot d_{Bn} \cdot \rho_X}{\mu_X}, \text{ откуда } W_X = \frac{V_X}{S_X}$$

$$S_X = \frac{\pi \cdot d_{Bn}^2 \cdot \frac{n}{2}}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,019 \cdot \frac{8}{2}}{4} = 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$W_{\Gamma} = \frac{0,000047}{1,13 \cdot 10^{-3}} = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$$

$$\text{Re}_X = \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,019 \cdot 988,66}{566,82 \cdot 10^{-6}} = 1392 \text{ режим движения ламинарный}$$

Расчитываем критерий Нуссельта:

$$\text{для горячего: } Nu_{\Gamma} = \left[ 49 + 4,2 \cdot \text{Re}_{\Gamma} \cdot \text{Pr}_{\Gamma} \left( \frac{(D_{Bn}^2 - nd_n^2)}{l_{mp}} \right) \right]^{0,33} = \left[ 49 + 4,2 \cdot 1066 \cdot 2,354 \left( \frac{(0,2^2 - 8 \cdot 0,025^2)}{2,3} \right) \right]^{0,33} = 6$$

$$\text{для холодного: } Nu_X = \left[ 49 + 4,2 \cdot \text{Re}_X \cdot \text{Pr}_X \left( \frac{d_{Bn}}{l_{mp}} \right) \right]^{0,33} = \left[ 49 + 4,2 \cdot 1392 \cdot 3,678 \left( \frac{0,019}{2,3} \right) \right]^{0,33} = 5,98$$

$$\alpha_{\Gamma} = \frac{Nu_{\Gamma} \cdot \lambda_{\Gamma}}{(D_{Bn}^2 - nd_n^2)} = \frac{6,1 \cdot 67,1906 \cdot 10^{-2}}{(0,2^2 - 8 \cdot 0,025^2)} = 117 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

$$\alpha_X = \frac{Nu_X \cdot \lambda_X}{d_{Bn}} = \frac{5,98 \cdot 64,569 \cdot 10^{-2}}{0,019} = 203,2 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\Gamma}} + r_{зaep\Gamma} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{зaepX} + \frac{1}{\alpha_X}} = \frac{1}{\frac{1}{117} + 0,0005 + \frac{0,003}{46,5} + 0,0003 + \frac{1}{203,2}} = 72,6 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

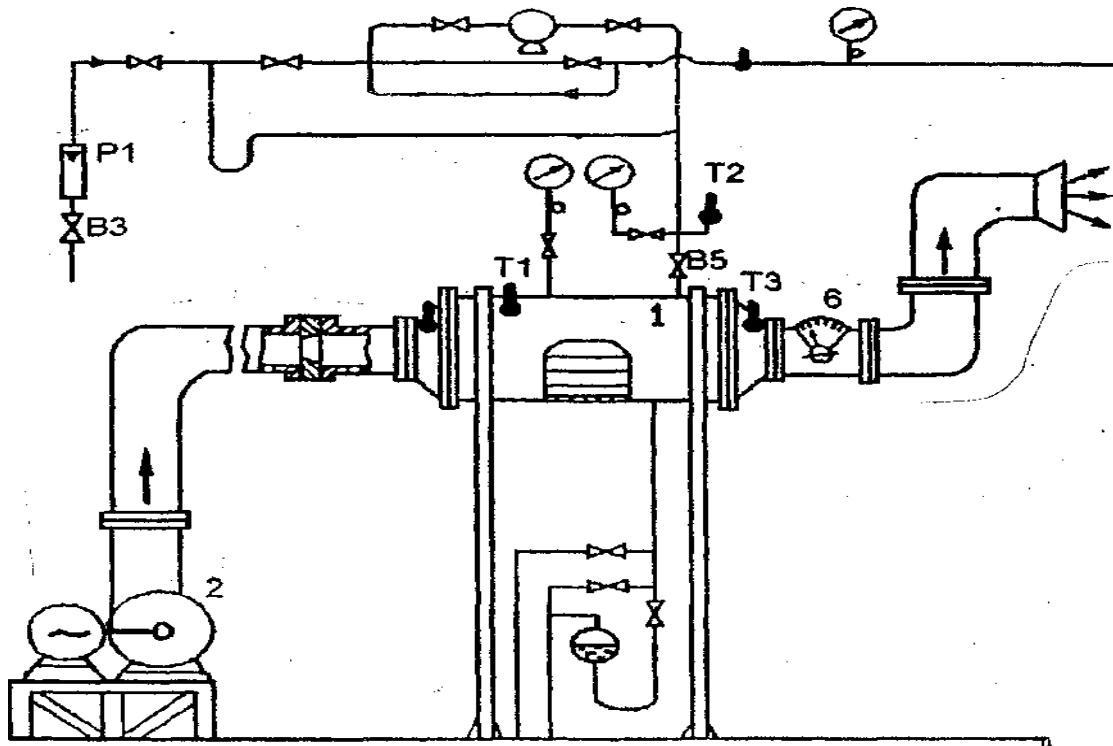
Таблица 5: рассчитанные величины:

№ п/п	Количество тепла, Q, Дж/с		Потери тепла, Qп, Дж/с	Средняя разность температур $\Delta T_{cp}$ , К	Коэффициенты теплопередачи, Вт/	
	Отданное горячим теплоносителем	Принятое холодным теплоносителем			Опытный	Расчетный
1	40394,9	12123,3	28271,6	11,87	804,2	72,6

### 3. Кожухотрубчатый воздушный теплообменник

Кожухотрубчатый воздушный теплообменник предназначен для подогрева воздуха горячей водой. Воздух нагнетается вентилятором 2 в трубы теплообменника. Расход воздуха устанавливается с помощью заслонки 6. Горячая вода подается в межтрубное пространство теплообменника. Расход её регулируется с помощью вентиля B3 и измеряется ротаметром P1.

Температура теплоносителей на входе и выходе теплообменника измеряется с



помощью термометров сопротивления.

1 – теплообменник;

2 – вентилятор;

B3, B4, B5 – вентили;

6 – заслонка;

T1, T2, T3 – термометры.

Рисунок 3 – Схема кожухотрубчатого воздушного теплообменника

Таблица 6: опытные данные

№	Расход теплоносителя м <sup>3</sup> /с		Температура горячего теплоносителя		Температура холодного теплоносителя	
	Горячего	Холодного	На входе	На выходе	На входе	На выходе
1	0,00032	0,021	90	74	24	56
2			92	74	23	56
3			92	74	23	56
4			91,3	74	23,3	56

Для расчета берем из таблицы усредненные значения строки 4.

Расчет: Количество передаваемого тепла

$$Q_{общ} = Q_{нов} + Q_n$$

$$1). Q_{общ} = G_F \cdot C_{PF} (t_{HF} - t_{KF})$$

$$t_{cpF} = \frac{t_{HF} + t_{KF}}{2} = \frac{91,3 + 74}{2} = 82,65K$$

$$По таблице[1]: \rho_F = 970,145 \text{ кг / м}^3, C_{PF} = 4190 \text{ Дж / кг \cdot K}$$

$$G_{\tilde{A}} = V_{\tilde{A}} \cdot \rho_1 = 0,00032 \cdot 970,145 = 0,31 \text{ кг / с}$$

$$Q_{i\tilde{a}\tilde{u}} = 0,31 \cdot 4190 (91,3 - 74) = 22470,97 \text{ Вт}$$

$$2). Q_{i\tilde{e}\tilde{e}} = G_{\tilde{O}} \cdot \tilde{N}_{\tilde{O}} (t_{\tilde{E}\tilde{O}} - t_{\tilde{I}\tilde{O}})$$

$$t_{\tilde{n}\tilde{o}\tilde{o}} = \frac{t_{\tilde{E}\tilde{O}} + t_{\tilde{I}\tilde{O}}}{2} = \frac{56 + 23,3}{2} = 39,65K$$

$$\tilde{N} \text{ - } \text{коэффициент}[1]: \rho_{\tilde{O}} = \rho_0 \frac{PT_0}{P_0T} = \frac{Mr}{22,4} \frac{PT_0}{P_0T} = \frac{29}{22,4} \frac{735 \cdot 273}{760(273 + 39,65)} = 1,09 \text{ кг / м}^3,$$

$$\tilde{N}_{\tilde{D}\tilde{O}} = 1010 \text{ - } \text{коэффициент}$$

$$G_{\tilde{O}} = V_{\tilde{O}} \cdot \rho_{\tilde{O}} = 0,021 \cdot 1,09 = 0,02289 \text{ кг / с}$$

$$Q_{i\tilde{e}\tilde{e}} = 0,02289 \cdot 1010 (56 - 23,3) = 756 \text{ Вт}$$

$$3). Q_i = Q_{i\tilde{a}\tilde{u}} - Q_{i\tilde{e}\tilde{e}} = 22470,97 - 756 = 21712,97 \text{ Вт}$$

$$Q_i = \frac{22470,97 - 756}{22470,97} \cdot 100 = 96,6\%$$

Средняя разность температур:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{In \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}}$$

У нас противоток

$$\Delta t_1 = t_{Hg} - t_{KX} = 91,3 - 56 = 35,3 K$$

$$\Delta t_2 = t_{Kg} - t_{HX} = 74 - 23,3 = 50,7 K$$

$$\Delta t_2 > \Delta t_1, \text{ то } \Delta t_2 = \Delta t_6, \Delta t_1 = \Delta t_m$$

$$\Delta t_{cp,np} = \frac{50,7 - 35,3}{In \frac{50,7}{35,3}} = 42,5 K$$

Из основного уравнения теплопередачи рассчитываем опытное значение коэффициента теплопередачи:

$$Q_{\text{пол}} = K F \Delta t_{cp}$$

$$K = \frac{Q_{\text{пол}}}{F \Delta t_{cp}} = \frac{756}{2,6 \cdot 42,5} = 6,8 \text{ Bm / m}^2 \text{ K}$$

По таблицам [1] определяем необходимые данные для дальнейшего расчета исходя из значений температур:

для горячего при  $t_{cp}=82,65 K$  -  $\mu_r=344,4 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{c}$ ;

$\lambda_r=67,6 \cdot 10^{-2} \text{ Bt/m} \cdot \text{K}$ ;

$r_{\text{загр.Г}}=0,0005 \text{ m}^2 \cdot \text{K/Bt}$ ;

$Pr_r=2,1347$

для холодного при  $t_{cp}=39,65 K$  -

$$\mu_x = \mu_0 \frac{273 + C}{T + C} \left( \frac{T}{C} \right)^{1,5} = 17,3 \cdot 10^{-6} \frac{273 + 124}{(273 + 39,65) + 124} \left( \frac{(273 + 39,65)}{124} \right)^{1,5} = 19,59 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{c}$$

$\lambda_x=2,7 \cdot 10^{-2} \text{ Bt/m} \cdot \text{K}$ ;

$r_{\text{загр.Х}}=0,0004 \text{ m}^2 \cdot \text{K/Bt}$ ;

$Pr_x=0,7328$

Для стальной стенки  $\lambda_{\text{ст}}=46,5 \text{ Bt/m} \cdot \text{K}$ .

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\Gamma} + r_{aep\Gamma} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{aepX} + \frac{1}{\alpha_X}}$$

$$\text{Для горячего: } \text{Re}_\Gamma = \frac{W_\Gamma \cdot (D_{Bh}^2 - nd_h^2) \cdot \rho_\Gamma}{\mu_\Gamma}, \text{ откуда } W_\Gamma = \frac{V_\Gamma}{S_\Gamma}$$

$$S_\Gamma = \frac{\pi \cdot (D_{Bh}^2 - nd_h^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,3^2 - 37 \cdot 0,02^2)}{4} = 5,9 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$W_\Gamma = \frac{0,0003}{5,9 \cdot 10^{-2}} = 5,4 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

$$\text{Re}_\Gamma = \frac{5,4 \cdot 10^{-3} \cdot (0,3^2 - 37 \cdot 0,02^2) \cdot 970,145}{344,4 \cdot 10^{-6}} = 1144 \text{ режим движения ламинарный}$$

$$\text{Для холодного: } \text{Re}_X = \frac{W_X \cdot d_{Bh} \cdot \rho_X}{\mu_X}, \text{ откуда } W_X = \frac{V_X}{S_X}$$

$$S_X = \frac{\pi \cdot d_{Bh}^2 \cdot n}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02^2 \cdot 37}{4} = 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$W_X = \frac{2,1 \cdot 10^{-2}}{1,16 \cdot 10^{-2}} = 1,81 \text{ м/с}$$

$$\text{Re}_X = \frac{1,81 \cdot 0,02 \cdot 1,09}{19,59 \cdot 10^{-6}} = 2014 \text{ режим движения ламинарный}$$

Расчитываем критерий Нуссельта:

$$\text{для горячего: } Nu_\Gamma = \left[ 49 + 4,2 \cdot \text{Re}_\Gamma \cdot \text{Pr}_\Gamma \left( \frac{(D_{Bh}^2 - nd_h^2)}{l_{mp}} \right) \right]^{0,33} = \left[ 49 + 4,2 \cdot 1144 \cdot 2,1347 \left( \frac{(0,3^2 - 37 \cdot 0,02^2)}{1} \right) \right]^{0,33} = 9,15$$

$$\text{для холодного: } Nu_X = \left[ 49 + 4,2 \cdot \text{Re}_X \cdot \text{Pr}_X \left( \frac{d_{Bh}}{l_{mp}} \right) \right]^{0,33} = \left[ 49 + 4,2 \cdot 2014 \cdot 0,7328 \left( \frac{0,02}{1} \right) \right]^{0,33} = 5,48$$

$$\alpha_\Gamma = \frac{Nu_\Gamma \cdot \lambda_\Gamma}{(D_{Bh}^2 - nd_h^2)} = \frac{9,15 \cdot 67,6 \cdot 10^{-2}}{(0,3^2 - 37 \cdot 0,02^2)} = 82,2 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

$$\alpha_X = \frac{Nu_X \cdot \lambda_X}{d_{Bh}} = \frac{5,48 \cdot 2,7 \cdot 10^{-2}}{0,02} = 7,4 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

Расчетный коэффициент теплопередачи:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_\Gamma} + r_{aep\Gamma} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + r_{aepX} + \frac{1}{\alpha_X}} = \frac{1}{\frac{1}{82,2} + 0,0005 + \frac{0,0025}{46,5} + 0,0004 + \frac{1}{7,4}} = 6,76 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}$$

Таблица 7: рассчитанные величины:

№ п/п	Количество тепла, $Q$ , Дж/с		Потери тепла, $Q_{\text{п}}$ , Дж/с	Средняя разность температур $\Delta T_{\text{ср}}$ , К	Коэффициенты теплопередачи, Вт/	
	Отданное горячим теплоносителем	Принятое холодным теплоносителем			Опытный	Расчетный
1	22470,97	247,37	21712,97	42,5	2,23	6,76

## 2.5 Лабораторная работа №5 Пылеосадительные камеры и аппараты мокрой отчистки газов.

### РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕОСАДИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ

#### 2.1. Общие сведения

Горизонтальные пылеосадительные камеры. Схема горизонтальных осадительных камер показана на рис. 2.1. Преимущество осадительной камеры – простота конструкции, малое гидравлическое сопротивление, отсутствие износа, способность производить очистку газа при высоких запыленностях и температурах. Материалом для изготовления камер может служить кирпич, бетон, сталь, дерево.

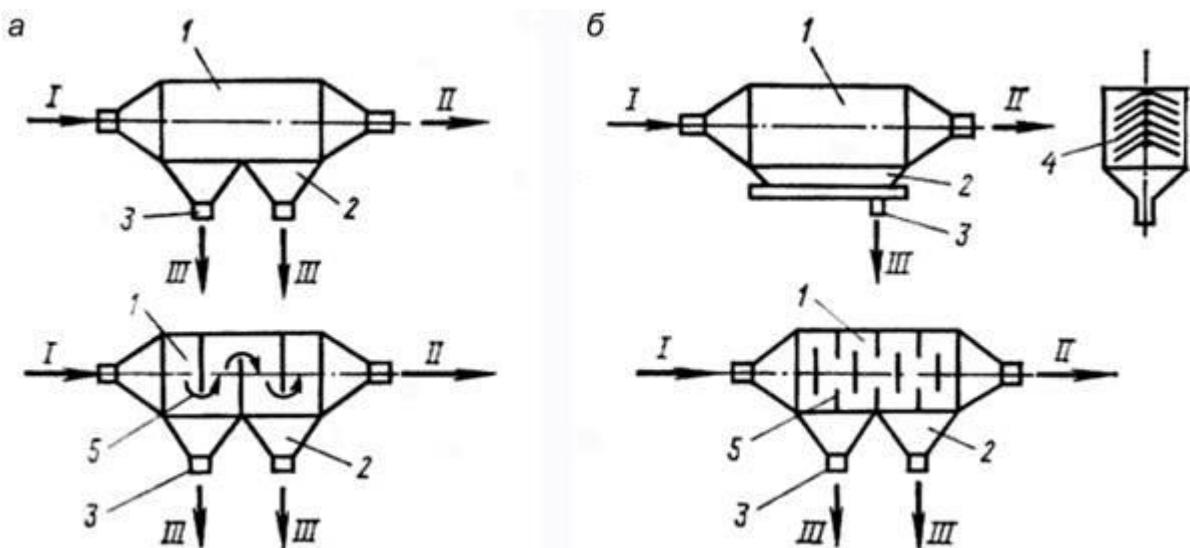


Рис. 2.1. Схемы горизонтальных пылеосадительных камер: *a* – полая; *b* – с вертикальными перегородками; I – запылённый газ; II – очищенный газ; III – пыль; 1 – корпус, 2 – бункер; 3 – штуцер для удаления пыли; 4 – перегородки; 5 – вертикальные перегородки

Скорость газа в данных камерах от 1,5 до 2 м/с. Камеры пригодны для улавливания частиц не менее 50 мкм. Степень очистки не превышает 40–50 %. При работе с химически агрессивными газами внутреннюю поверхность камеры обрабатывают специальным покрытием. Использование камер для улавливания взрыво-, пожароопасных пылей не допускается.

## 2.2. Исходные данные для расчета

$V$  – расход газов, м<sup>3</sup>/с;  $L$  – длина камеры, м;  $H$  – высота камеры, м;  $B$  – ширина камеры, м;  $w_{oc}$  – скорость витания пылевых частиц;  $\rho_u$  – плотность частиц пыли, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_e$  – плотность газового потока, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_e = 0,998$  кг/м<sup>3</sup>);  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\mu$  – динамическая вязкость газа, Па·с;  $v$  – скорость потока в пылеосадительной камере, м/с.

## 2.3. Методика расчета

1. Определяем скорость газового потока в рабочем сечении камеры

$$v = \frac{V}{H \cdot B \cdot 3600}. \quad (2.1)$$

2. Рассчитываем скорость витания частиц  $w_{oc}$ , исходя из выражения

$$\left( \frac{w_{oc}}{v} \right)_{50} \approx 1,5 \frac{H}{L}. \quad (2.2)$$

3. Находим диаметр частиц, оседающих в камере на 50 %,

$$d_{50} = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu \cdot w_{oc}}{g(\rho_u - \rho_e)}}. \quad (2.3)$$

4. Выбираем несколько соотношений  $w_{oc}/v$ , больших и меньших принятого, и определяем соответствующие значения  $d_u$ .

5. Определяем среднюю концентрацию частиц на выходе из камеры для каждого принятого соотношения  $w_{oc}/v$ :

а) назначаем пять точек по высоте сечения  $h/H = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1$ ;

б) рассчитываем параметры функции парциального распределения  $\Phi(x)$   $x_1$  и  $x_2$  по формулам:

$$x_1 = \frac{1 + \frac{h}{H} - \frac{L}{H} \cdot \frac{w_{oc}}{v}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{L}{H}}}; \quad (2.4)$$

$$x_2 = \frac{1 - \frac{h}{H} + \frac{L}{H} \cdot \frac{w_{oc}}{v}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{L}{H}}}. \quad (2.5)$$

в) по значениям  $x_1$  и  $x_2$  рис. 2.2 находим интегралы вероятностей  $\Phi(x_1)$  и  $\Phi(x_2)$  по графику;

г) подсчитываем значение  $N_i$ :

$$N_i = \Phi(x_1) + \Phi(x_2) - 1. \quad (2.6)$$

д) усредняем значение  $N_i$  по сечению:

$$N_{cp} = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{k}; \quad (2.7)$$

е) определяем средний парциальный коэффициент осаждения частиц рассматриваемого размера:

$$\Pi_{n,cp} = 100 - N_{cp}. \quad (2.8)$$

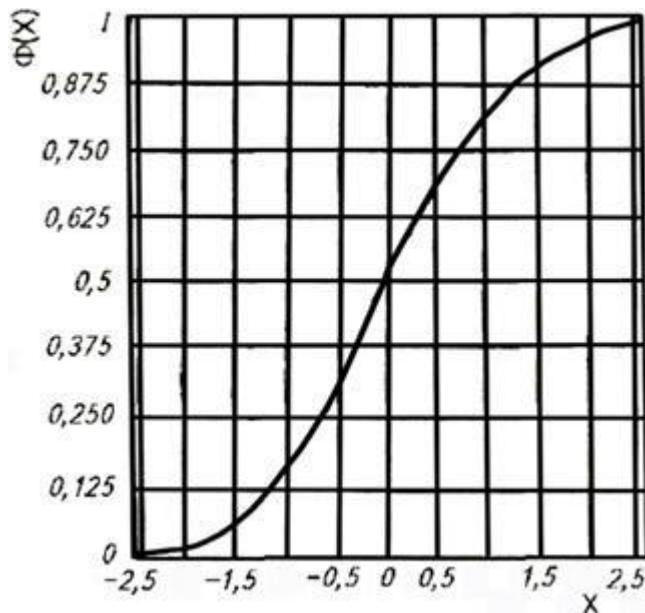


Рис. 2.2. Зависимость нормальной функции распределения  $\Phi(X)$  от параметра  $X$

#### 2.4. Порядок выполнения задания

1. Записать исходные данные в соответствии с вариантом.
2. Сделать чертеж горизонтальной пылеосадительной камеры.
3. Рассчитать в соответствии с методикой расчета эффективность очистки в горизонтальной пылеосадительной камере.
4. Сделать вывод об эффективности очистки. Дать рекомендации по конструктивному изменению пылеосадительной камеры для повышения эффективности очистки.
5. Подписать отчет и сдать преподавателю.

#### Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите об устройстве горизонтальных пылеосадительных камер.
2. Какими преимуществами обладают осадительные камеры?
3. Из каких материалов делают пылеосадительные камеры?
4. Для улавливания частиц каким диаметром пригодны пылеосадительные камеры?
5. Для какого вида пыли не допускается использование осадительных камер?

## 2.6 Лабораторная работа №6

Тема : « Отбор проб и анализ газов из атмосферы, и отбор и анализ аэрозольных проб»

**Цель занятия:** Освоить методы отбора проб воздуха для лабораторного исследования; способы хранения и доставки отобранных проб в лабораторию.

### 1.1. Теоретическая часть

Знание качественного и количественного состава воздуха, воды и почвы необходимо:

- 1) для прогнозирования степени их загрязнения;
- 2) выявления источников загрязнения;
- 3) изучения химических (фотохимических) реакций и превращений токсичных веществ и путей их перемещения в указанных средах;
- 4) для оценки эффективности выбранных систем обезвреживания выбросов в окружающую среду.

Исследование воды, воздуха, почв включает два этапа - отбор проб и их анализ (детектирование примесей).

**Отбор проб** - важнейшая часть аналитической работы: результат самого точного и тщательно выполненного анализа теряет всякий смысл в случае неправильно отобранный пробы.

#### 1.1.1. Виды проб.

Вещества не бывают однородными. Поэтому для получения правильных результатов необходимо подвергнуть анализу среднюю пробу. **Средняя проба** - небольшое, взятое из общей массы, количество вещества, химический состав которого соответствует реальному составу всего испытуемого вещества. **Периодические пробы** - пробы, отбираемые периодически, через определенные промежутки времени; **разовые пробы** берутся из отдельных мест или источников в течение короткого промежутка времени.

**Среднесуточная проба** воздуха, воды - проба, отбираемая в течение 24 часов непрерывно или в виде серии разовых проб с равными интервалами между отборами равной продолжительности.

Чем однороднее вещество, тем легче взять от него среднюю пробу. Наиболее просто отбираются пробы газов и смешивающихся жидкостей, а наиболее трудно - пробы крупнозернистых и крупнокусковых материалов. Отбор проб выполняется в соответствии с ГОСТ на метод определения каждого конкретного химического соединения в воде, воздухе и других средах.

#### 1.1.2. Требования предъявляемые к отбору проб

Проба должна соответствовать реальному составу исследуемого объекта, должна содержать достаточное для определения количество искомого вещества.

Способы отбора проб зависят:

1. От агрегатного состояния искомого вещества и среды;
2. От числа определяемых токсичных веществ в пробе;
3. Возможных химических реакций искомых веществ со средой и друг с другом;
4. От метода исследования;
5. От внешних условий (температура, давление и др.).

#### 1.1.3. Отбор проб воздуха.

Отбору проб предшествует изучение технологического процесса, уточнение источников выделения вредных веществ (ВВ). Затем составляют программу отбора проб. (таблица 1).

Таблица 1.

Программы отбора проб

Программа	Информация	Сроки наблюдения (отбора проб)
Полная	О разовых и среднесуточных концентрациях вредных веществ	Ежедневно путем непосредственного автоматического контроля или не менее 4 раз в 1, 7, 13 и 19 часов
Неполная	О разовых концентрациях	Ежедневно в 7, 13, 19 часов
Сокращенная	О разовых концентрациях	Ежедневно в 7 и 13 часов
Суточная	О среднесуточной концентрации	Путем непрерывного суточного отбора проб

Потом намечают точки и время отбора проб, время аспирации, выбирают соответствующие поглотители и сорбенты.

Для химического исследования воздуха производственных помещений число проб должно быть не менее 5, длительность отбора проб: при определении максимальной разовой ПДК - не более 30 минут; среднесуточной величины ПДК - не более длительности рабочей смены.

Отбор проб атмосферного воздуха населенных мест производится на стационарных и маршрутных постах и под факелом. Стационарные и маршрутные посты размещают в центральной части населенных пунктов, зонах отдыха, на территориях, примыкающих к магистралям интенсивного движения транспорта (по согласованию с местными органами Госкомгидромета и СЭС).

**Стационарные посты** предназначены для непрерывной регистрации содержания основных и наиболее распространенных загрязняющих веществ или регулярного отбора проб воздуха для последующего анализа.

**Маршрутный пост** предназначен для регулярного отбора проб воздуха в фиксированной точке местности при наблюдениях, которые производятся с помощью передвижного оборудования.

**Передвижной (подфакельный) пост** предназначен для выявления зоны влияния данного источника. Места отбора проб для подфакельных наблюдений выбирают на разных расстояниях от источника загрязнения по направлению ветра. Продолжительность отбора - 20-30 минут для разовых проб, а для среднесуточных - либо непрерывно в течение суток, либо 12, 6, 4 раза в данной точке за сутки через равные промежутки времени в течение 20-30 минут каждая. После выполнения серии исследований вычисляют среднюю концентрацию в этих пробах. Одновременно с отбором проб воздуха определяют направление и скорость ветра, температуру и влажность воздуха, состояние погоды.

### **Методы отбора проб.**

Методы отбора проб воздуха можно разделить на две группы:

- 1) аспирационные - просасывание воздуха через поглотительные растворы, фильтры, сорбционные трубы или зерненные сорбенты, помещенные в поглотитель;
- 2) методы отбора проб в сосуды (бутили, газовые пипетки и другие емкости), которые доставляют для анализа в лабораторию.

Для анализа аэрозолей применяют фильтры типа АФА; для улавливания туманов кислот используют поглотители с пористыми пластинками.

#### **1.1.3.1. Аспирационный метод**

Отбор проб воздуха для определения в нем концентрации химических соединений чаще всего производится аспирационным методом. Метод основан на аспирации, т.е. протягивании, известного объема воздуха через поглотительную среду, способную задерживать подлежащие определению вещества. Этот способ применяют при необходимости сконцентрировать микропримеси в поглотителе и для повышения чувствительности метода анализа.

Конструкция аспираторов зависит:

- от продолжительности отбора проб (разовых или среднесуточных);
- от расхода воздуха (малорасходные, средне- и высокорасходные);
- от источника энергии (сетевые, аккумуляторные, универсальные);
- от способа управления (автоматические и неавтоматические);
- по способу использования (лабораторные, переносные, автономные, устанавливаемые на транспортные средства);
- одно- и многоканальные (рис.1,2 ).

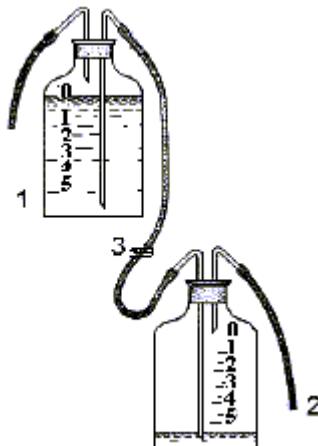


Рис.1.Водяной аспиратор.  
1.асpirационная бутыль; 2.напорная бутыль; 3.зажим.

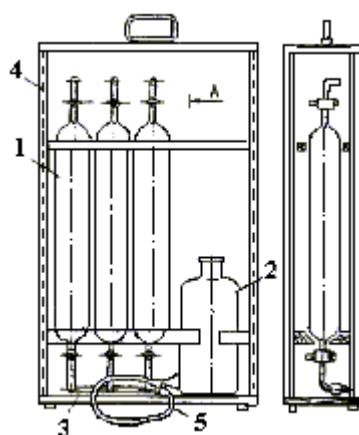


Рис.2.Аспиратор стеклянный для отбора и хранения проб газа:  
1. Пипетка; 2.Уравнительная склянка с тубусом для отбора и вытеснения газа;  
3.Распределительная гребенка; 4.Футляр; 5.Резиновая трубка.

Наиболее простыми аспирационными устройствами являются водяные аспираторы (рис.1 ). Они состоят из двух отградуированных бутылей вместимостью 3-5 л (или металлических сосудов), соединенных между собой резиновым шлангом с винтовым зажимом. Бутыли герметически закрываются резиновыми пробками, в которых просверлены отверстия для стеклянных трубок диаметром 0,7-0,8 см с краном. Для проверки герметичности в одну из бутылей наливают воду, зажимают винтовым зажимом шланг и бутыль при закрытом кране помещают на возвышение, после чего зажим открывают. Если герметичность верхней бутыли не нарушена, то вначале небольшое количество воды стечет в нижнюю

бутыль, а затем уровень воды в верхней бутыли перестанет снижаться. При переливании воды в нижнюю бутыль в верхней создается разжение.

При отборе проб поглотительный прибор присоединяют к концу стеклянной трубы в верхней бутыли и анализируемый воздух засасывается в поглотительный прибор, верхний кран открыт. Скорость аспирации (равная отношению объема протянутого воздуха к времени аспирации), зависит от разности уровней бутылей, диаметра соединительных трубок и регулируется винтовым зажимом, надетым на трубку, соединяющую бутыли.

При прохождении воздуха через поглотитель должно быть достигнуто максимальное перемешивание и не должно быть выбрасывания жидкости. Электроаспиратор (модель 822) (рис.3) предназначен для отбора проб воздуха с целью определения содержания примесей, отделяемых фильтрацией через специальные фильтры.

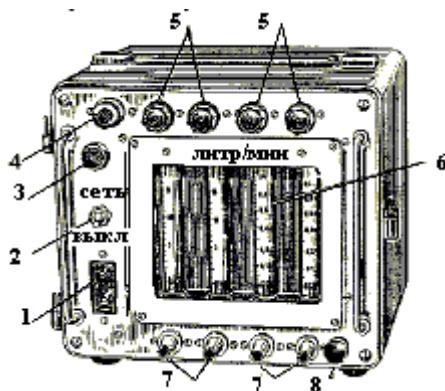


Рис.3. Устройство электроаспиратора:

1- колодка для включения прибора в сеть; 2- тумблер для включения и выключения прибора; 3 - предохранители; 4 - предохранительный клапан; 5 - ручки вентиляй ротаметров; 6 - ротаметры; 7 - штуцеры для присоединения резиновых трубок к фильтрам или поглотительным приборам; 8 - клемма для заземления.

Он позволяет проводить отбор проб одновременно по 4 каналам с регулировкой скорости в каждом канале (два со скоростью  $0,1-1 \text{ дм}^3/\text{мин}$  и два со скоростью  $1-20 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ).

Аспирация через поглотительные среды производится аспираторами "Малыш", ПРУ-4, МК-1, УЛМК-3, ЛК-1 и др.

При отборе проб воздуха со скоростью, превышающей  $20 \text{ дм}^3/\text{мин}$ , рекомендуется использовать пылесос. С этой целью из пылесоса удаляют внутренний мешок, а во всасывающее отверстие вставляют резиновую пробку с отверстием, в которое вставлена стеклянная трубка. На трубку надевают резиновый шланг, соединенный с реометром. Скорость просасывания регулируют винтовым зажимом.

С помощью пылесоса можно одновременно отбирать несколько проб. Можно использовать вакуум-насосы, воздуходувки.

Эжекторный аспиратор "Аэра" используют в случае, если источник тока отсутствует или его нельзя применять по условиям взрывоопасности, например в шахтах. Это устройство позволяет отбирать пробы одновременно по 4 каналам со скоростью  $0,1-20 \text{ дм}^3/\text{мин}$ . Индивидуальные пробоотборники закрепляются на спецодежде или каске работающего. Они питаются от батареек, поэтому их можно носить целую смену. Эти приборы позволяют непрерывно регистрировать наличие вредных веществ в зоне дыхания.

**Расходомерные устройства.** Для определения скорости аспирации используют реометры. Они бывают жидкостные и сухие. Последние называют ротаметрами или пневмометрами.

Жидкостной реометр (рис.4). состоит из U-образной трубки с двумя расширениями (1,2).

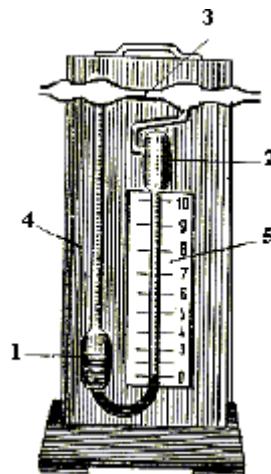


Рис. 4. Жидкостной реометр.  
1,2- расширения; 3- диафрагма; 4 - штатив; 5 - шкала.

Верхние концы обоих колен спаяны горизонтальной трубкой с узким отверстием (диафрагмой 3) посередине. Реометр укрепляют в штативе (4) со шкалой (5). На шкале имеется калибровка, показывающая скорость движения воздуха в  $\text{дм}^3/\text{мин}$ . U-образную трубку заполняют окрашенной жидкостью (обычно керосином) до метки "0" на шкале. Воздух, входя слева по горизонтальной трубке, встречает препятствие в виде диафрагмы, в результате чего в левом колене трубки создается повышенное давление и уровень жидкости понижается, а в правом повышается. С изменением скорости движения воздуха меняется разность уровней в обоих коленах.

Сухие реометры (ротаметры) представляют собой градуированную стеклянную трубку с отводами в верхней и нижней частях. В трубку помещен поплавок, который поднимается потоком воздуха. Шкала ротаметра градуирована в  $\text{дм}^3/\text{мин}$ .

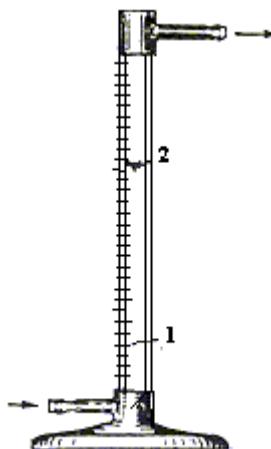


Рис.5. Ротаметр. 1- вертикальная трубка; 2- поплавок (волчок).

### Поглотительные приборы.

В практике для улавливания веществ, находящихся в воздухе в виде газов и паров, применяются стеклянные поглотительные сосуды различной конструкции, например, поглотители Полежаева, Зайцева, Рыхтера, Петри, поглотители с пористой пластиной. (Рис.6 а,б,в,г,д).

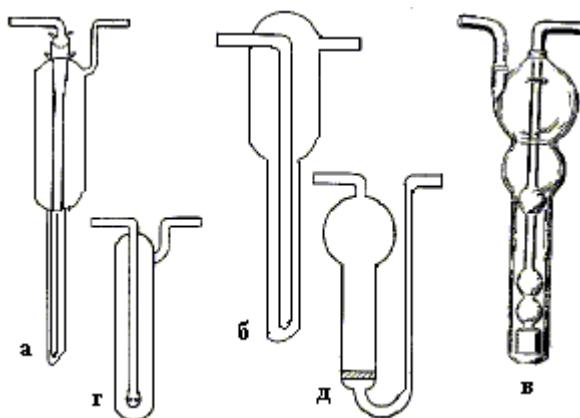


Рис.6. Поглотительные приборы:

- а. Поглотитель Полежаева; б.Поглотитель Зайцева; в.Поглотитель Рыхтера; г. Поглотитель Петри; д. Поглотитель с пористой пластиной.

Они состоят из стеклянного цилиндра, в верхнюю расширенную часть которого впаяны две стеклянные трубы. Конец длинной трубы доходит почти до дна и заканчивается иногда полым шариком с несколькими отверстиями. Верхний конец этой трубы загнут под прямым углом. Короткая трубка, тоже загнутая под прямым углом, впаяна в верхнюю расширенную часть поглотителя. Она служит для выхода воздуха и соединяется резиновым шлангом с аспиратором. Поглотительную жидкость наливают в поглотитель через длинную трубку, а выливают через короткую.

В поглотительных приборах с пористой пластинкой в нижнюю часть поглотителя впаяна пористая пластинка, проходя через которую воздух разбивается на тонкие струи, что увеличивает его соприкосновение с поглотительным раствором. Верхняя расширенная часть поглотителя за счет уменьшения скорости движения воздуха предупреждает выброс жидкости при больших скоростях аспирации.

В качестве поглотительного раствора используются дистиллированная вода или специальные жидкости, растворяющие токсичные вещества или взаимодействующие с ними. Применяются также поглотители с твердыми сорбентами: силикагелем, активированным углем и т.п.. Они имеют другую конструкцию. В них твердые сорбенты могут находиться в неподвижном состоянии или приводятся в движение током воздуха, образуя "кипящий слой", способствующий большему контакту сорбентов с воздухом и улучшающий поглощение искомого вещества.

Пыль и аэрозоли улавливают с помощью фильтров АФА или бумажных беззольных фильтров, закрепленных в металлические или пластмассовые патроны. Для химического анализа используют фильтры АФА-ХП, АФА-ХМ, АФА-ХС. Фильтры АФА-ВП гидрофобны, т.е. водоотталкивающие, их не требуется высушивать при весовом анализе. Фильтры АФАС-У задерживают не только аэрозоли, но и газы.

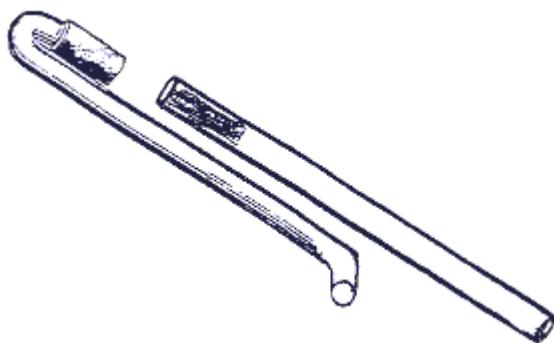


Рис. 7. Сорбционные трубы.

Для отбора и анализа проб воздуха используют также сорбционные трубы. Их заполняют стеклянным порошком, пропитанным специальными растворами для улавливания токсичных веществ.

**Монтаж установки для отбора проб воздуха.** При отборе проб короткую изогнутую трубку широкой части поглотителя соединяют резиновой трубкой с аспиратором. Исследуемый воздух, проходя через длинную трубку поглотителя, попадает в поглотительный раствор, улавливающий искомое вещество, и выходит через аспиратор (и реометр).

#### 1.1.3.2. Отбор проб воздуха в сосуды.

Для быстрого отбора проб при наличии чувствительных методов исследования используют отбор проб в различные сосуды и емкости:

- газовые пипетки вместимостью 100-500  $\text{см}^3$ ; (рис. 8 )
- резиновые камеры;
- шприцы;
- пробоотборники ДАГ (автоматические газоотборники для измерения среднесменных концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны).

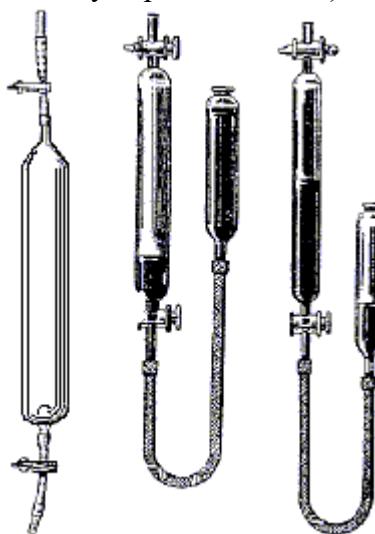


Рис.8.Газовые пипетки.

Вид сосуда для отбора проб газа определяется природой анализируемого газа и объемом пробы. Объем газовой пробы должен быть достаточным для проведения анализа выбранным методом и для повторных определений.

Сосуды для отбора проб должны быть чисто вымыты и тщательно высушены.

### Методы отбора проб в сосуды.

**Методы выливания.** Сосуд - газовую пипетку или бутыль - заполняют водой или другой жидкостью. В месте отбора проб жидкость выливается и сосуд наполняется воздухом. Сосуд с воздухом отправляют в лабораторию на анализ.

**Обменный метод.** Через сосуд прокачивается 10-кратный объем воздуха. Пробы воздуха можно отбирать с помощью насоса или резиновой груши в футбольные камеры, резиновые или полиэтиленовые мешки. Метод применяется в случаях, когда исследуемые вещества не должны соприкасаться с водой и они не взаимодействуют с резиной.

**Вакуумный метод.** Из толстостенного сосуда для отбора проб (чаще всего в виде стеклянного шара с кранами) откачивается воздух (эвакуируемый при помощи вакуум-насоса) и создается вакуум. Сосуд герметически закрывается, взвешивается, а на месте отбора проб сосуд открывают; воздух засасывается в сосуд, его снова герметически закрывают, затем доставляют в лабораторию и снова взвешивают. Этот способ быстрый и удобный.

Пробы воздуха, взятые в сосуды, не рекомендуется хранить долго, т.к. возможны реакции с кислородом, водяными парами, адсорбция стенками сосуда и т.п..

**Хранение газов.** Условия хранения проб являются важным фактором при анализе объектов окружающей среды. Например, пробы воздуха, отобранные на активные твердые сорбенты, можно хранить ограниченное время, в некоторых случаях необходимо охлаждение.

Способы хранения и транспортировки газов зависят от количества газа. Небольшие объемы хранят в газовых пипетках или в бутылях; несколько литров - в аспираторе, десятки литров - в газометре или газогольдере. Большое количество газов хранят в сжатом состоянии в газовых баллонах.

Обычно пробы газа отбирают в аппарат, в котором производят анализ. В тех случаях, когда анализ невозможно выполнить на месте отбора проб, их доставляют в лабораторию. Диффузия газа через резиновые соединительные трубы вызывает изменение состава газовой пробы. Состав средней пробы может изменяться вследствие неравномерного поглощения отдельных газов водой или другой запирающей жидкостью (таблица 2), а также при значительной разнице температур в момент отбора и при хранении (из-за десорбции сконцентрированных веществ).

Таблица 2.

Растворимость некоторых газов в воде.

Газ	Коэффициент абсорбции, $\gamma$		
	0 <sup>0</sup>	15 <sup>0</sup>	20 <sup>0</sup>
Водород	0,021	0,019	0,018
Азот	0,024	0,018	0,016
Оксид углерода (II)	0,035	0,025	0,023
Кислород	0,049	0,034	0,031
Метан	0,056	0,037	0,033
Этилен	0,226	0,139	0,122
Оксид углерода (IV)	1,713	1,019	0,878
Хлор	-	2,635	2,260
Сероводород	4,686	3,056	2,672
Оксид серы (VI)	79,789	47,28	39,37

Аммиак	1298,9	802,4	710,6
--------	--------	-------	-------

Коэффициент абсорбции  $\gamma$  равен объему газа (приведенного к  $0^{\circ}\text{C}$  101 кПА), поглощенного единицей объема растворителя при данной температуре, если парциальное давление газа равно 101 кПА.

Искажение состава пробы может вызвать выделение воздуха, растворенного в воде, если предварительно вода не была прокипячена. Вместо воды в качестве запирающей жидкости применяют насыщенный водный раствор хлорида натрия, (реже магния или кальция), в котором растворимость газа значительно ниже.

**Погрешности, возникающие при отборе проб.** Причиной погрешностей при концентрировании определяемых микропримесей может стать неправильное измерение объема исследуемого воздуха (погрешность измерения ротаметром колеблется в пределах 30-60%).

Пренебрежение агрегатным состоянием изучаемых токсичных веществ может повлечь за собой неправильный выбор пробоотборных средств (поглотительных устройств и сред). Выбор сред для концентрирования без учета соответствия скорости аспирации со скоростью адсорбции, растворения или химического взаимодействия улавливаемых микропримесей в поглотительной среде.

Наличие микропримесей посторонних веществ, способных затруднить отбор пробы или исказить результаты исследования.

Полнота сорбции и десорбции и др..

**Оформление протокола отбора проб воздуха.** В протоколе следует фиксировать дату, время (часы, минуты начала и конца отбора), способ отбора, номер поглотительного прибора, скорость аспирации, температуру и влажность окружающего воздуха, место отбора, технологический процесс, расстояние от пола и источника выделения вредного вещества и условия отбора (работу вентиляции, открыты или закрыты окна, двери в помещении, процент работающего в этот момент оборудования, число находящихся в помещении людей и т.д.), Ф.И.О. отборщика проб, врача СЭС и представителя предприятия. Все данные вносятся в лабораторный журнал, составленный в соответствии с ГОСТ или по форме, утвержденной Минздравом РФ.

**Отбор проб воды.** ГОСТ 2874-82 регламентирует анализ проб из поверхностных источников водоснабжения не реже 1 раза в месяц.

На полный анализ берут бутыль вместимостью 5  $\text{дм}^3$  с притертоей или корковой пробкой. Для получения объективной характеристики о составе воды необходимо провести несколько серий анализов с учетом сезонных колебаний состава воды. Для краткого анализа достаточно бутыли вместимостью 2  $\text{дм}^3$ . Бутыль должна быть чисто вымыта, ополоснута дистиллированной, затем исследуемой водой.

Проба воды из открытого водоема забирается батометрами разной конструкции (рис. 9) в месте водозабора и на расстоянии 1 км выше по течению для рек, а для озер - на расстоянии 1 км в двух диаметрально расположенных точках от водозабора.

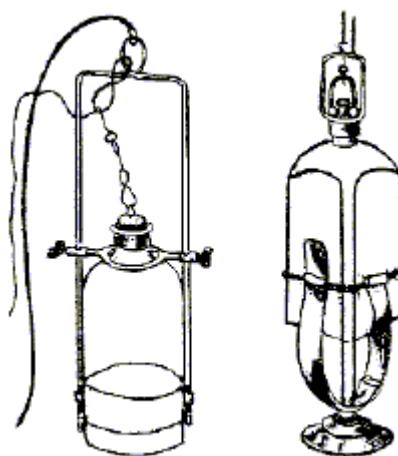


Рис.9. Батометр.

Допускается отбор проб воды бутылью. Бутыль закрывается пробкой, к которой прикреплен шнур. К бутыли подвешиваются груз. Обычно пробу воды берут на расстоянии 0,5-0,75 м от поверхности и дна водоема и не ближе 1,5-2 м от берега. Пробку вынимают при помощи шнурка. С небольшой глубины пробу воды отбирают шестом с прикрепленной к нему бутылью. Склянку погружают в воду, следя за тем, чтобы не поднять ил, осевший на дно, и не забрать плавающие на поверхности посторонние вещества. Проба воды с поверхности осторожно зачерпывается каким-либо большим сосудом (тазом, ведром) с глубины 0,2-0,5 м.

Пробы из подземного источника (скважины, колодца, каптажа) отбирают в часы максимального расхода воды. Из водопроводных кранов пробы воды отбирают через 10-15 минут после свободного спуска застоявшейся в трубах воды при полностью открытом кране. Бутыль перед отбором ополаскивается 2 раза отбираемой водой. Бутыль заполняется водой до верха, закрывают пробкой так, чтобы под пробкой оставался лишь очень небольшой пузырек воздуха.

**Отбор проб сточных вод (С.В.).** При отборе проб сточных вод следует иметь ввиду, что состав их колеблется в зависимости от технологического процесса. Перед отбором проб необходимо изучить технологию процесса и составить программу отбора проб. Некоторые цехи спускают сточные воды не ежедневно и нерегулярно в течение суток.

Если количество и состав спускаемой воды постоянны, можно ограничиться средними пробами.

Средняя проба должна быть составлена из равных объемов жидкости, взятой через одинаковые промежутки времени. При нерегулярном спуске жидкости, составляют среднепропорциональные пробы, т.е. порции, пропорциональные объемам спускаемой сточной воды. В течение суток берут отдельные порции и сливают в большие чисто вымытые бутыли, по истечении суток перемешивают и для анализа отбирают 1-3 л в чистую посуду. Если количество сточной воды непостоянно в различные промежутки времени, способ отбора согласуется с технологическим процессом.

При проверке эффективности очистных сооружений отбирают пробы грязной (идущей на очистные установки) и чистой (выходящей) воды по возможности из одного потока, т.е. одновременно. Для характеристики изменения состава сточных вод в различное время дня отбирают разовые пробы.

Створы для забора проб сточной воды из проточных открытых водоемов устанавливаются выше и ниже источника загрязнения, т.е. коллектора с учетом нижерасположенных пунктов водопользования:

1. На 200-300 м выше коллектора, т.е. сброса в реку производственных или хозяйствственно-фекальных вод (для определения фоновых концентраций).

2. В ближайшем нижерасположенном пункте водопользования или на 3-5 км ниже спуска сточных вод. В створах пробы могут отбираться в зависимости от соответствующих условий или посредине реки, или в 5-10 м от берегов, причем у тех берегов, с которых поступают загрязнения. Пробы воды из открытых водоемов берутся с глубины 20-30 см от поверхности зеркала воды.

Объем каждой пробы должен быть не менее 3 литров, не считая отдельной пробы, взятой для определения растворенного кислорода.

Вода на определение БПК отбирается в отдельную склянку вместимостью 1-2 л так, чтобы в ней оставался возможно меньший объем воздуха и доставляется с предосторожностями (лучше на льду).

Оформление протокола (акта) отбора проб воды производится в соответствии с ГОСТ 17.1.5.05-85. В акте отбора проб указывается наименование источника, его адрес, место и глубина отбора, расстояние от берега, объем пробы, метеоусловия при отборе, вид пробы (разовая, средняя или другая); особые условия отбора, цель отбора; НТД, согласно которых проведен отбор; дата и время отбора и доставки, адрес и наименование лаборатории,

условия транспортировки и хранения, методы консервации, должность, ФИО лица, отобравшего пробу, его подпись.

На месте отбора проб производят определение остаточного кислорода, озона, запаха,  $t^0$  С, рН.

**Хранение, консервирование, транспортировка проб воды.** Лучше всего пробу воды исследовать непосредственно после отбора (~через 4-6 часов после отбора, на БПК- в день отбора пробы). Если условия этого не позволяют, то пробу допускается хранить на льду:

незагрязненную воду- 72 часа, малозагрязненную - 48 часов, загрязненную - 24 часа. Вместо хранения на льду пробы (на некоторые ингредиенты) можно консервировать. При определении аммиака и окисляемости добавляют 2 мл 25 %  $H_2SO_4$  (не содержащей  $NH_3$ ) на 1 л воды, при определении взвешенных веществ, нитратов и нитритов - добавляют 2 мл хлороформа на 1 л воды. После добавления хлороформа воду следует хорошо взболтать.

## 2.7 Лабораторная работа №7 Фильтры и типы конструкции электрофильтров.

Электрическая очистка газов. Преимущества и принцип работы

Схема работы электрофильтра



Электрофильтры состоят из следующих основных элементов:

- корпус;
- системы осадительных электродов;
- системы коронирующих электродов;
- узлы подвода и распределения запыленных газов;
- устройства для удаления (вывода) уловленной с электродов пыли;
- изоляторные коробки для ввода в аппарат тока высокого напряжения.

Преимущества у такого способа газоочистки, как электрическая очистка газов:

1. Можно добиться самой высокой чистоты газа (в пределах от 95 до 99,9 процентов)
2. Небольшие затраты энергии – ее расход на осаждение частиц пыли составляет всего от 0,1 до 0,8 киловатт на тысячу кубометров газа;
3. Процедуру очистки газа можно производить даже при довольно высоких температурах, а так же в химически агрессивных средах;
4. Весь процесс очистки можно полностью автоматизировать.

Чтобы понять принцип работы электрофильтра, следует сначала рассмотреть электрическую цепь. Она состоит из таких элементов, как источник тока и двух, параллельно расположенных друг к другу металлических пластин, которые разделены между собой воздухом. Это устройство представляет собой не что иное, как воздушный конденсатор, однако электрический ток в такой цепи течь не будет, потому что слой воздуха между пластинами, как, впрочем, и другие газы, не способен проводить электричество.

Однако стоит только приложить к металлическим пластинам необходимую разность потенциалов, как гальванометр, подключенный к этой цепи, зафиксирует прохождение электрического тока из-за ионизации слоя воздуха между этими пластинами.

Что касается ионизации газа между двумя электродами, то она может возникать в двух случаях:

1. Несамостоятельно, то есть с применением каких-либо «ионизаторов», к примеру, рентгеновских или других лучей. После того, как воздействие этого

«ионизатора» будет закончено, начнет постепенно наступать рекомбинация, то есть будет происходить обратный процесс: ионы различных знаков вновь станут соединяться между собой, образовывая тем самым электронейтральные молекулы газа.

2. Самостоятельно, осуществляется за счет повышения в электросети напряжения до величины, которая превышает величину диэлектрической постоянной используемого газа.

При электрической очистке газов применяется только вторая ионизация, то есть самостоятельная.

Если начать увеличивать разность потенциалов между металлическими пластинами, то в какой-то момент она обязательно достигнет критической точки (пробивное напряжение для слоя воздуха), воздух будет «пробит» и в цепи резко возрастет сила тока, а между металлическими пластинами появится искра, которую называли – самостоятельный газовый разряд.

Молекулы воздуха под напряжением начинают расщипляться на положительно и отрицательно заряженные ионы и электроны. Под воздействием электрического поля ионы двигаются к электродам, которые заряжены противоположно. С увеличением напряжения электрического поля скорость, а, соответственно, и кинетическая энергия ионов и электронов начинает постепенно возрастать. Когда их скорость доходит до критической величины и несколько превышает ее, они расщепляют все нейтральные молекулы, встречающиеся на пути. Так происходит ионизация всего газа, находящегося между двумя электродами.

Когда между параллельно расположенными пластинами одновременно образуется довольно значительное число ионов, сила электрического тока начинает сильно возрастать и появляется искровой разряд.

В силу того, что молекулы воздуха получают от ионов, движущихся в определенном направлении, импульсы, вместе с так называемой «ударной» ионизацией возникает еще и достаточно интенсивное движение воздушной массы.

Самостоятельную ионизацию в методике электроочистки газов осуществляют путем приложения на электроды высоких напряжений. При ионизации данным способом нужно, чтобы слой газа пробивало лишь на некотором отрезке расстояния между двумя электродами. Необходимо чтобы часть газа оставалась непробитой и служила в своем роде изоляцией, которая бы предохраняла от короткого замыкания параллельные электроды от возникновения искры или дуги (чтобы не произошло пробоя диэлектрика).

Создают такую «изоляцию» путем подбора формы электродов, а так же расстояния между ними в соответствии с напряжением. Стоит отметить, что электроды, которые представлены в виде двух параллельных плоскостей, в этом случае не подойдут, так как между ними в любой точке поля всегда будет одинаковое напряжение, то есть поле будет неизменно однородным. Когда разность потенциалов между одним плоским электродом и другим достигнет величины пробивного напряжения, весь воздух будет пробит и появится искровой разряд, однако ионизации воздуха не случится в силу того, что все поле однородно.

Неоднородное поле может возникнуть только между электродами, которые имеют вид концентрических цилиндров (трубы и провода), либо же плоскости и цилиндра (пластина и провода). Непосредственно вблизи провода напряжение поля настолько большое, что ионы и электроны становятся способны к ионизации нейтральных молекул, однако по мере удаления от провода напряжение поля и скорость движения ионов настолько уменьшаются, что ударная ионизация попросту становится нереальной.

Соотношение между величиной радиуса трубы ( $R$ ) и провода ( $r$ ) должно быть обязательно определенным во избежание появления искры между двумя цилиндрическими электродами. Расчеты показали, что ионизация газа без короткого замыкания возможна при  $R/r$  больше или равным 2,72.

Появление вокруг проволоки слабого свечения или так называемой «короны» является основным видимым признаком того, что наступил ионный разряд. Такое явление называется коронным разрядом. Слабое свечение постоянно сопровождает характерный звук – это может быть потрескивание, либо же шипение.

Провод (электрод), вокруг которого возникает свечение, называют коронирующим электродом. «Корона» в зависимости от того к каким полюсам соединен провод, бывает либо положительной, либо отрицательной. При электрической очистке газов используют только второй вариант, то есть отрицательную «корону». Хотя она, в отличие от положительной, менее равномерна, все же такая «корона» способна допускать более высокую критическую разность потенциалов.

#### Процесс осаждения пыли в электрофильтре

Процесс осаждения пыли в электрофильтре сам по себе довольно сложен. Лишь очень маленькая часть пыли (тумана), попадающая в область «короны», оседает на коронирующем проводе. Большая же часть частиц пыли, находящихся в звешенном состоянии в газе, получив отрицательный электрический заряд, начинает перемещаться в сторону осадительных электродов и отдает им свой заряд. Такой показатель, как проводимость частиц пыли, имеет очень важное значение.

При улавливании хорошо проводящих частиц пыли их слой, оседающий на электроде, получает заряд с тем же знаком и отталкивается в поток газа. При этом какая-то часть пыли из электрофильтра может быть просто вынесена.

В случае, если частицы пыли непроводимы, они прижимаются силой электрического поля к электроду и образуют на нем довольно плотный слой.

Осевший на электродах слой пыли, который заряжен отрицательно, попросту начинает отталкивать приближающиеся к нему частицы с тем же знаком, то есть он как бы противодействует основному электрополю.

Создавшееся в порах пыли напряжение может достигнуть критической отметки и превысить ее, что вызовет коронование воздуха, который находится в этих самых порах. В результате призойдет образование положительных ионов, которые начнут нейтрализовывать частицы пыли, заряженные отрицательно. Такое явление называется обратной «короной». Оно достаточно резко и сильно снижает эффективность пылеулавливания.

Чтобы пыль, осевшая на электродах, не оказывала на них вредное воздействие, электроды либо хорошенько встряхивают, либо же выполняют увеличение проводимости пыли, увлажняя ее водой путем распыления жидкости в горячем газе еще до того, как она поступит в электрофильтр.

## Конструкция и классификация электрофильтров

### - по назначению

Все электрофильтры по назначению делятся на две основные группы:

1. Сухие аппараты;
2. Мокрые аппараты.

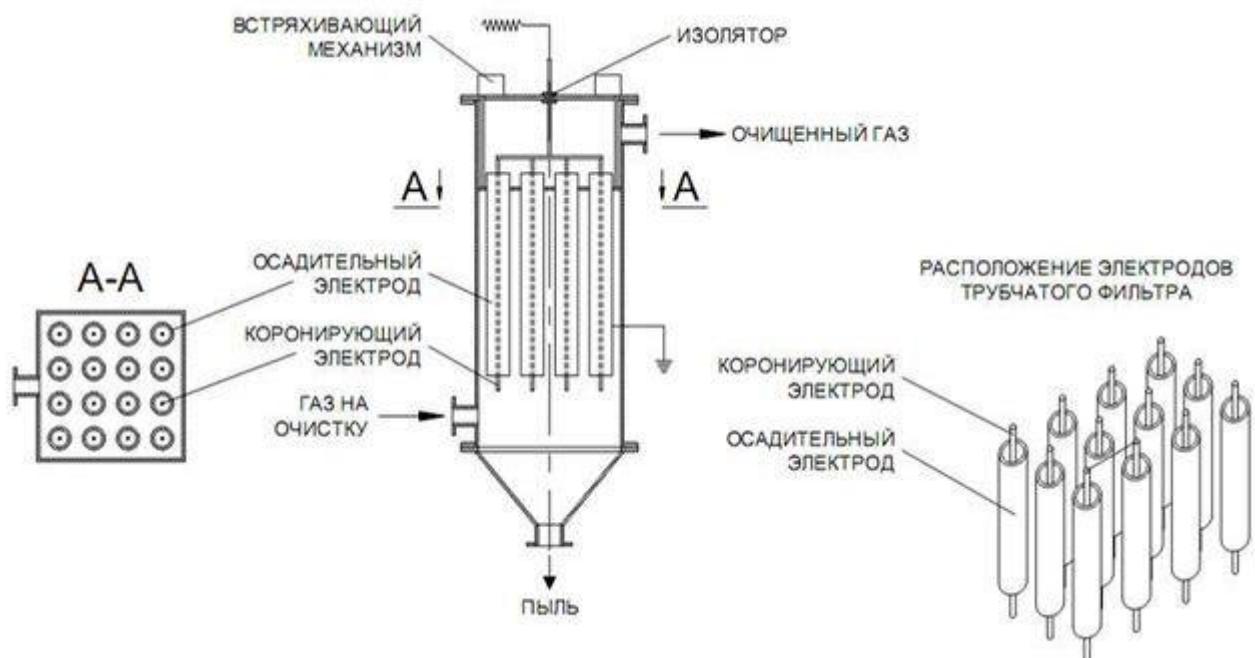
Сухие электрофильтры бывают трех видов: аппараты для улавливания проводящей пыли, аппараты для улавливания непроводящей пыли и сухие аппараты для очистки горячих газов. Мокрые электрофильтры делятся на две категории: первая – это аппараты для осаждения кислотных туманов, вторая – мокрые аппараты для осаждения смол.

### - по форме осадительных электродаов

Все электрофильтры в зависимости от того, какую форму имеют осадительные электроды, делятся на две основных группы:

- трубчатые устройства;
- пластинчатые устройства.

### Трубчатые электрофильтры. Описание и конструкция



В электрофильтрах первой группы (трубчатые устройства) в качестве осадительных электродов используют круглые металлические трубы, либо же шестигранные, а коронирующими электродами выступают проволоки, которые натягивают по оси труб.

Трубы имеют длину обычно от 3000 до 4000 миллиметров, а их диаметр составляет в педалах от 150 до 300 миллиметров. Очистка нейтральных газов проводится, как правило, в электрофильтрах, имеющих стальные трубы. Кислые же газы очищают в фильтрах с трубами, выполненными из свинца.

Трубчатый электрофильтр состоит из следующих элементов: входного и выходного газохода, трубчатых осадительных и коронирующих электродов, рамы, изоляторов, боковой коробки, встряхивающего устройства и конического днища.

Принцип действия этого аппарата следующий. Подлежащий очистке газ снизу по газоходу сначала входит в камеру электрофильтра, затем идет вверх, проходит через электрическое поле в осадительных электродах, и после этого выходит через расположенный на самом верху газоход. Коронирующие электроды из проволоки диаметром от 1,5 до 2 миллиметров, расположенные по оси труб, подвешены на общей раме, которая опирается на изоляторы. Последние установлены в боковых коробках – это позволяет избежать их загрязнение. Частицы пыли осаждаются на внутренней стороне труб, стряхиваются действием расположенного выше труб ударного приспособления и падают в коническое днище.

Газ через трубы для наилучшего осаждения частиц следовало бы пропускать сверху вниз, однако на практике его вводят именно снизу, так как газ в данном случае попадает к месту расположения изоляторов уже очищенным. Это предотвращает загрязнение изоляторов. В многосекционных электрофильтрах газ движется попеременно – то снизу вверх, то сверху вниз и таким образом проходит последовательно через все секции.

### Пластинчатые электрофильтры. Описание и конструкция

В пластинчатых электрофильтрах осадительными электродами служат несколько параллельных поверхностей, между которыми подведен ряд коронирующих проводов. Осадительные электроды чаще всего изготавливают из гладких металлических листов. Правда, в некоторых случаях они могут быть выполнены из волнистых листов, или же прутков или сеток, которые натягивают на рамы и подвешивают на близком расстоянии друг к другу.

Сами же пластинчатые электрофильтры изготавливают в двух вариациях: они могут быть горизонтальными, либо же вертикальными. Высота осадительных электродов в горизонтальных устройствах составляет от 3 до 18 метров, а в вертикальных – до 15 метров.

Вертикальный пластинчатый электрофильтр состоит из следующих элементов: входного и выходного газохода, камеры, пластинчатых осадительных и коронирующих электродов.

Принцип действия такого электрофильтра следующий. Газ через входной газоход поступает в камеру электрофильтра, огибает ее перегородку, проходит между пластинчатыми осадительными электродами снизу вверх и оказывается в поле

коронирующих электродов, после чего удаляется из устройства через выходной газоход. Электроды в электрофильтре подвешены свободно к верхней части камеры. Пыль оседает на пластинах осадительных электродов и при их встряхивании осыпается в нижнюю часть камеры, после чего удаляется из аппарата.

При выборе конструкции электрофильтра решающими являются такие факторы, как все свойства газа (химический состав, температура, давление и влажность), подлежащего очистке, заданная полнота его очистки, а так же свойства находящейся в газе дисперсной фазы (концентрация, дисперсность и электропроводность) и так далее.

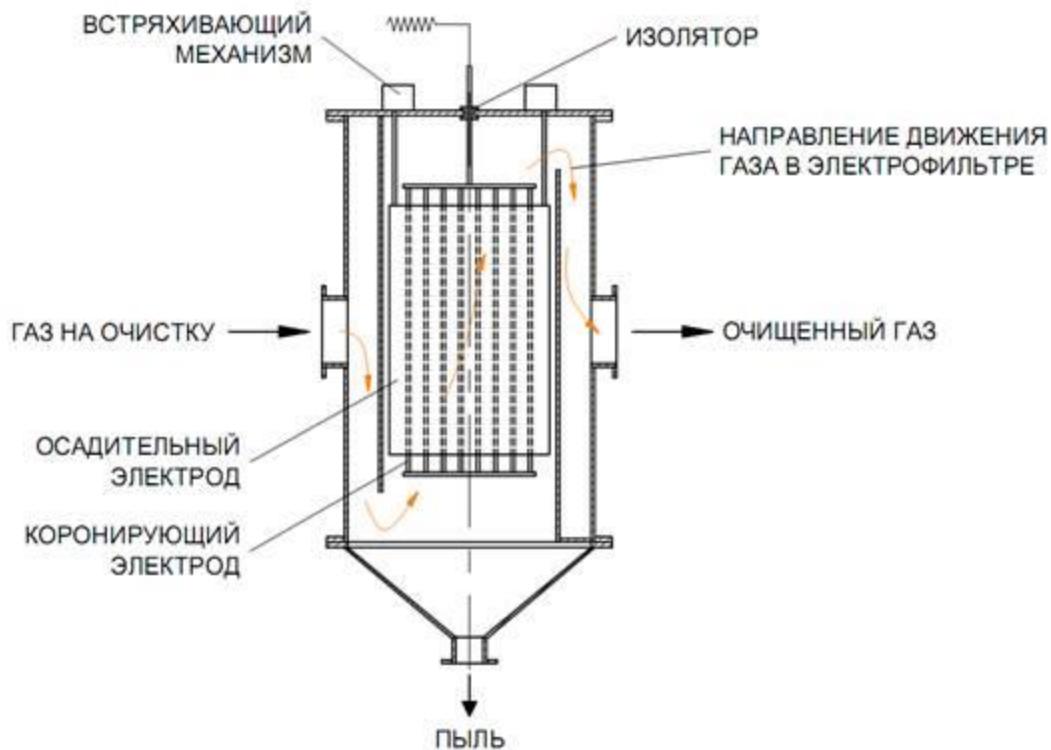
Трубчатые электрофильтры перед своими «собратьями» - пластинчатыми устройствами имеют некоторые преимущества. В них лучше распределяется газ и создается более эффективное электрическое поле, что позволяет несколько улучшить очистку газа или же увеличить скорость его протекания, то есть повысить производительность аппарата.

Однако у трубчатых электрофильтров, помимо достоинств, есть и некоторые недостатки. Они довольно сложны в монтаже, а встряхивание коронирующих электродов вызывает трудности; эти электроды так же нередко раскачиваются. Да и расход энергии на единицу длины проводов в трубчатом аппарате несколько больше, чем у любого пластинчатого электрофильтра.

Трубчатые электрофильтры обычно используют тогда, когда необходима полная очистка газа или условия осаждения несколько затруднены специфическими особенностями свойств газа или пыли, а так же в тех случаях, когда не требуется встряхивание электродов (к примеру, при осаждении какой-либо жидкости из туманов).

Пластинчатые электрофильтры обладают следующими достоинствами: простотой монтажа, удобством встряхивания электродов и возможностью увеличения производительности камеры (разумеется, до определенной степени) без увеличения ее первоначальных размеров.

#### *Вертикальный пластинчатый электрофильтр*



Конструкция вертикального пластинчатого двухкамерного электрофильтра включает в себя следующие элементы: входной и выходной газоходы, вертикальную камеру, осадительные и коронирующие электроды, камеры, раму, пылесборник, клапан и распределительную решетку.

Камеры данного электрофильтра выполнены из кирпича, а сборники для пыли изготовлены из такого прочного материала, как железобетон, который изнутри футерован еще кислотоупорным кирпичом.

Осадительные электроды в этом вертикальном пластинчатом двухкамерном электрофильтре представляют собой тонкие пластины, выполненные из стальной проволоки, толщина которой составляет всего 3 миллиметра. Эти пластины подвешены друг от друга на расстоянии 250 миллиметров. Коронирующие электроды изготавливают обычно либо из никромовой тонкой (2 миллиметра) проволоки, либо же из фехралевой проволоки того же диаметра, которые натягивают между верхней и нижней рамой на расстоянии 200-т миллиметров друг от друга. Обе рамы, соединенные тягами, подвешены с помощью тяги и траверсы к наружным изоляторам из фарфора. Встряхивание электродов осуществляется ручным способом с помощью специального ударного устройства. Стоит отметить, что коронирующие электроды в данном устройстве встряхивают, ударяя по раме, через каждые два часа, но только после отключения электрического тока.

Подлежащий очистке сернистый газ, поступает сначала посредством входного газохода в камеру, а затем, пройдя через распределительные решетки, проходит в две камеры аппарата, которые подключены параллельно.

Решетки в целях очищения их от пыли сделаны поворотными. Они служат для распределения газа по всему сечению электрофильтра.

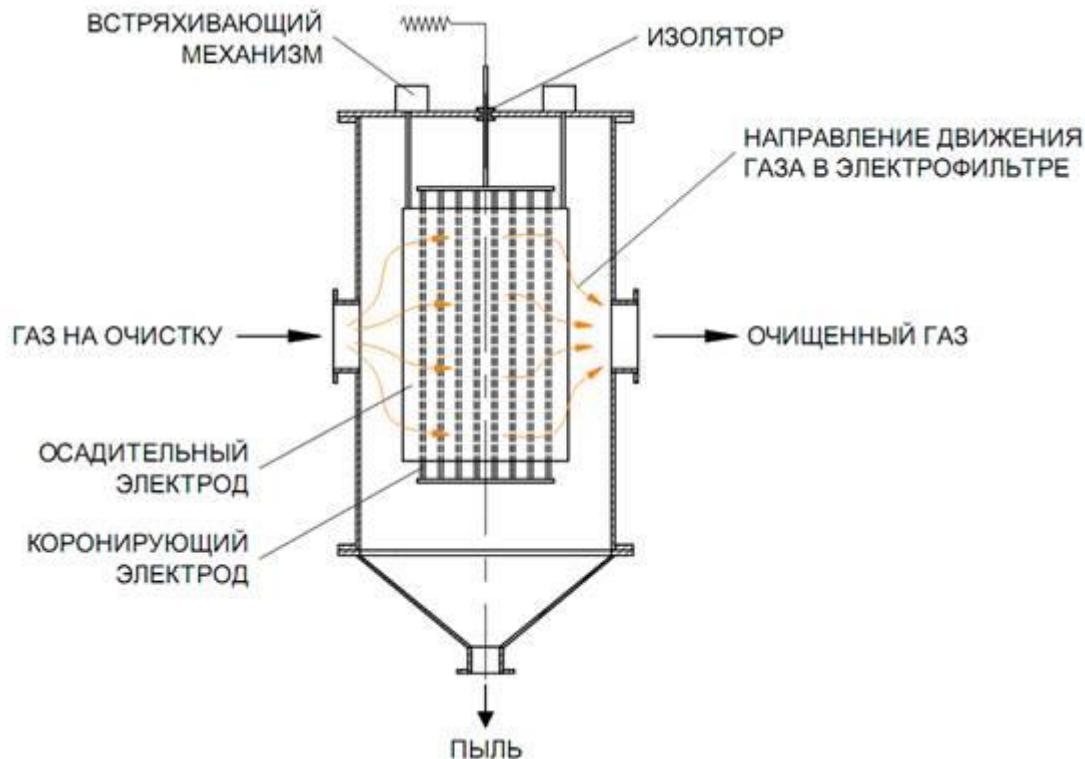
Газ, пройдя через электрическое поле и затворы, аналогичные тем, что установлены на входе аппарата, попадает в камеру, и затем посредством выходного газохода удаляется из электрофильтра.

Под входными затворами есть еще так называемые дроссельные затворы, с помощью которых перекрывают поступление газа на то время, когда проводят встрихивание электродов.

Осевшая на электродах пыль стряхивается и попадает в сборники, откуда ее периодически выгружают.

Вертикальные пластинчатые двухкамерные электрофильтры, работающие на очистке печных газов сернокислотного производства, способны при скорости газа 0,7 метров в секунду снижать его запыленность до 0,2 грамм на кубический метр.

#### Горизонтальный пластинчатый электрофильтр



Конструкция горизонтального пластинчатого электрофильтра, служащего для улавливания частиц пыли из газов с высокой (от 400 до 450 градусов) температурой, состоит из следующих элементов: входного и выходного газоходов, камеры, осадительного и коронирующих электродов, балки, пускового вентилятора и коробки изоляторов.

Электроды, подвешенные близко друг от друга, в целях предотвращения их колебания, изготавливают, как правило, из довольно толстых (диаметр 8 миллиметров) стальных прутков.

За счет того, что поток газа движется в горизонтальном направлении и проходит последовательно целых три электрических поля (в трех камерах аппарата), в

горизонтальных пластиначатых электрофильтрах достигается самая высокая степень очистки газов.

### Мокрые электрофильтры

В современном производстве серной кислоты контактным способом применяют мокрые электрофильтры, которые способны выполнить полную очистку газов от тонкодисперсной пыли и тумана.

Обычно в производстве устанавливают два аппарата, которые идут один за другим. Газ, при этом, после прохождения первого электрофильтра, увлажняется в так называемой промежуточной башне, которая охлаждается слабым раствором серной кислоты. Во втором аппарате, благодаря конденсации влаги на частицах пыли, происходит полное их осаждение.

Конструкция мокрого фильтра состоит из прямоугольной камеры, выполненной из природного бештаунита или же кислотоупорного андезита, которая имеет две одинаковые секции, разделенные перегородкой. У каждой из этих секций камеры имеется свой собственный вход для газа и питание электрическим током высокого напряжения.

В данном электрофильтре используются осадительные электроды, подвешенные к сводам камер, которые изготовлены из двух половин ферросилидовых, либо же графитоугольных труб. Ферросилидовые трубы имеют некоторые преимущества перед графитоугольными – они более прочны, их высота составляет 3500-4000 миллиметров, а диаметр колеблется в пределах от 250 до 300 миллиметров.

Коронирующие электроды в этом аппарате подвешены к балке. Сама же балка висит на нитях изоляторов, которые отделены от камеры масляными затворами. Данные затворы способны функционировать и без масла, если будет создан естественный подсос воздуха посредством отверстий в изоляторной коробке. Крышку аппарата, которая имеет вид свода, обычно изготавливают из кирпича или же такого материала, как ферросилид.

Для того чтобы при пуске мокрого электрофильтра проходящий через него кислотный туман не конденсировался на изоляторах, в этот период времени в коробку изоляторов с помощью вентилятора постоянно вдувается воздух.

### Многопольные электрофильтры

Многопольные электрофильтры состоят из нескольких секций осадительных электродов, которые соединены последовательно. Таким образом, в многопольных электрофильтрах действует несколько электрических полей, что позволяет производить более качественную очистку.

### Эффективность электроочистки. Сила тока и напряжение

Эффективность электроочистки зависит, главным образом от того, насколько правильно выбраны сила тока и напряжение, которое подводится к электродам. Для электрофильтров используют только постоянный ток. Это делается для того, чтобы частицы, взвешенные в газе, двигались лишь в одном направлении. Если же электрофильтр будет питаться переменным током, то направление поля при каждом

изменении будет меняться, а, соответственно, и направление силы, которая действует на заряженную частицу, тоже. В результате последняя, испытывая целый ряд импульсов, двигающихся ее то к одному электроду, то к другому, попросту будет вынесена потоком газа из аппарата раньше, чем она успеет достигнуть поверхности одного из этих электродов. Именно по этой причине к коронирующему электроду подключают только постоянный электрический ток.

Важно питать коронирующие электроды постоянным током не с положительным, а, наоборот, с отрицательным знаком, так как ионы, заряженные отрицательно, более подвижны нежели те, что заряжены положительно. Скорость таких ионов почти в полтора раза больше, чем у положительных. Помимо того, в электрофильтрах частицы пыли по правилам должны оседать именно на осадительном электроде, а если коронирующий электрод будет иметь положительный заряд, то при большей скорости отрицательных ионов пыль будет садиться только на него.

Скорость движения частичек пыли к осадительному электроду с возрастанием силы электрического тока начинает увеличиваться и улавливание пыли таким образом только улучшается. Как правило, потребная сила тока выражается в миллиамперах (ма) в отношении к погонному метру (пог. м) коронирующего электрода. Для трубчатых электродов применяют силу тока (I) в пределах от 0,3 до 0,5 ма/пог. м, а для пластинчатых – от 0,1 до 0,35 ма/пог. м.

Сила электрического тока напрямую зависит от расстояния между одним электродом и другим. Чем больше это самое расстояние, тем может быть принят больший ток. Сила тока так же зависит и от диаметра коронирующего электрода. Чем меньше диаметр последнего, тем больше возрастает сила тока. Именно поэтому коронирующие электроды делают сегодня довольно тонкими – их диаметр обычно составляет от 2 до 4 миллиметров. Помимо прочего, в электрофильтре сила тока прямо пропорциональна приложенной разности потенциалов, поэтому при повышении напряжения улучшается и улавливаемость частичек пыли.

Напряжение в электрофильтре должно быть не ниже того, при котором появляется искровой разряд, то есть оно не должно быть меньше  $V_o$ . Стоит отметить, что на эту величину оказывает влияние сразу несколько факторов: состав газа, его температура, давление и влажность, а также форма и число коронирующих электродов (в электрофильтрах пластинчатого типа). Как правило, при электроочистке газов с нормальной температурой величину падения напряжения на единицу расстояния между одним электродом и другим (это называют градиентом напряжения) принимают не свыше 4,8 киловатт на сантиметр (кв/см), для горячих же газов еще меньше – до 4 кв/см.

Если в газе содержится влага и сернистый газ, то пробивное напряжение в нем несколько увеличивается, а, соответственно, это дает возможность увеличивать и сам градиент напряжения. Величину напряжения для принятого градиента напряжения можно несколько понизить. Для этого требуется сократить расстояние между разноименными электродами. Однако это несколько усложнит электрофильтр и приведет к его удорожанию. Оптимальная величина напряжения, как правило, определяется с помощью технико-экономического расчета и обычно ее выбирают в пределах от 35 до 70 киловатт. Расстояние между одним электородом и другим в большинстве случаев составляет от 100 до 200 миллиметров.

## Расчет электрофильтров. Скорость осаждения в электрофильтрах

В электрофильтрах скорость осаждения взвешенных частиц, находящихся в газе, зависит в основном от величины разряда, который они получили. В свою очередь, этот самый разряд может изменяться от  $e_0$  (величина элементарного электрического заряда) до  $\epsilon$  (величина диэлектрической постоянной частиц).

Влиянием электрического ветра, величиной заряда частиц, которую эти частицы получили до того, как попасть в поле, а так же заряжением частиц ионами обоих знаков в зоне «короны» и неравномерностью ионного поля при определении максимального заряда частиц попросту принебрегают. Величина максимального заряда частиц определяется по следующей формуле:

$$n \cdot e_0 = E_x \cdot [1 + 2 \cdot (\epsilon - 1) / (\epsilon + 2)] \cdot [d^2 / 4]$$

где,  $n$  – это число элементарных зарядов;  
 $e_0$  – элементарный заряд  $(4,8 \times 10^{-10}$  эл. ст. ед.);  
 $E_x$  – напряжение поля (измеряется в абсолютных единицах – 300 в/см);  
 $\epsilon$  – диэлектрическая постоянная;  
 $d$  – диаметр частицы (измеряется в сантиметрах);

Для газов диэлектрическая постоянная ( $\epsilon$ ) равна 1, для металлов –  $\infty$ , для окислов металлов – от 12 до 18.

Каждая частица, взвешенная в газе, в электрофильтре подвергается воздействию электрического поля и ветра, индукции, а так же силы тяжести.

Расчет электрофильтров производят, используя данные о допустимой скорости очищаемых газов в электрическом поле аппарата. Также учитывают заданный расход, вычисляют площадь рабочего сечения устройства. Помимо этих данных, в расчетах основываются на опыте эксплуатации подобных аппаратов с условием обеспечить новой конструкции максимальную эффективность очистки газа. Нужное количество электрофильтров определяют по требуемой площади рабочего сечения и выбранного электрофильтра.

В том случае, если есть возможность точно определить, с какой скоростью будут осаждаться частицы, степень очистки в аппарате можно вычислить по формуле:

$$\eta = (1 - e^{-w_0 f}) \cdot 100,$$

где  $w_0$  – скорость осаждения частиц,  
 $f$  – отношение площади осадительных электродов к объемному расходу газа.

В электрофильтрах частицы получают заряд в поле коронного разряда, для этого подают высокое напряжение (до  $(3 - 6) \cdot 10^4$  В) на коронирующие электроды, при этом производят заземление осадительных электродов. Коронный разряд – это специфическая форма незаконченного электрического разряда, который присущ для систем электродов, имеющих резко неоднородное поле.

При увеличении напряжения, которое подается на коронирующие электроды, около их поверхности начинает быстро возрастать напряженность поля. Электроны под действием этого поля увеличивают скорость и, разогнавшись, разбивают

молекулы газа на положительные и отрицательные ионы, при этом прилегающая к коронирующему электроду узкая область быстро ионизируется. Образующиеся в зоне короны газовые ионы, имеющие различную полярность, под действием электрического поля начинают двигаться к разноименным электродам. По пути ионы адсорбируются на поверхности встречающихся частиц пыли, в результате чего последние получают в промежутке между электродами электрический разряд и, находясь под воздействием электрического поля, начинают двигаться к электродам, на которых и осаждаются. При этом частица получает заряд, величину которого можно определить следующим образом:

$$q = 3 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot [\epsilon / (\epsilon + 2)] \cdot d_q^2 \cdot E + 2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot d_q \cdot A \cdot (D_q / k_u),$$

где  $\epsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость вакуума,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ;

$\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость частицы,  $\text{Ф/м}$ ;  
 $d_q$  – диаметр частицы,  $\text{м}$ ;  
 $E$  – напряженность электрического поля коронного разряда,  $\text{В/м}$ ;  
 $D_q$  – коэффициент диффузии частиц,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  
 $A$  – функция, ее значения приведены на рисунке 5.2.37;  
 $k_u$  – подвижность ионов,  $\text{м}^2/\text{Вс}$ .

Подвижность ионов ( $k_u$ ) – это скорость, приобретаемая ионом в электрическом поле, при напряженности этого поля, равной единице:  $k_u = v_u / E$ , где  $v_u$  – скорость движения иона,  $\text{м/с}$ .

Ниже в таблице указаны значения величины подвижности ионов для самых различных газовых сред.

Значения величины подвижности ионов для различных газовых сред

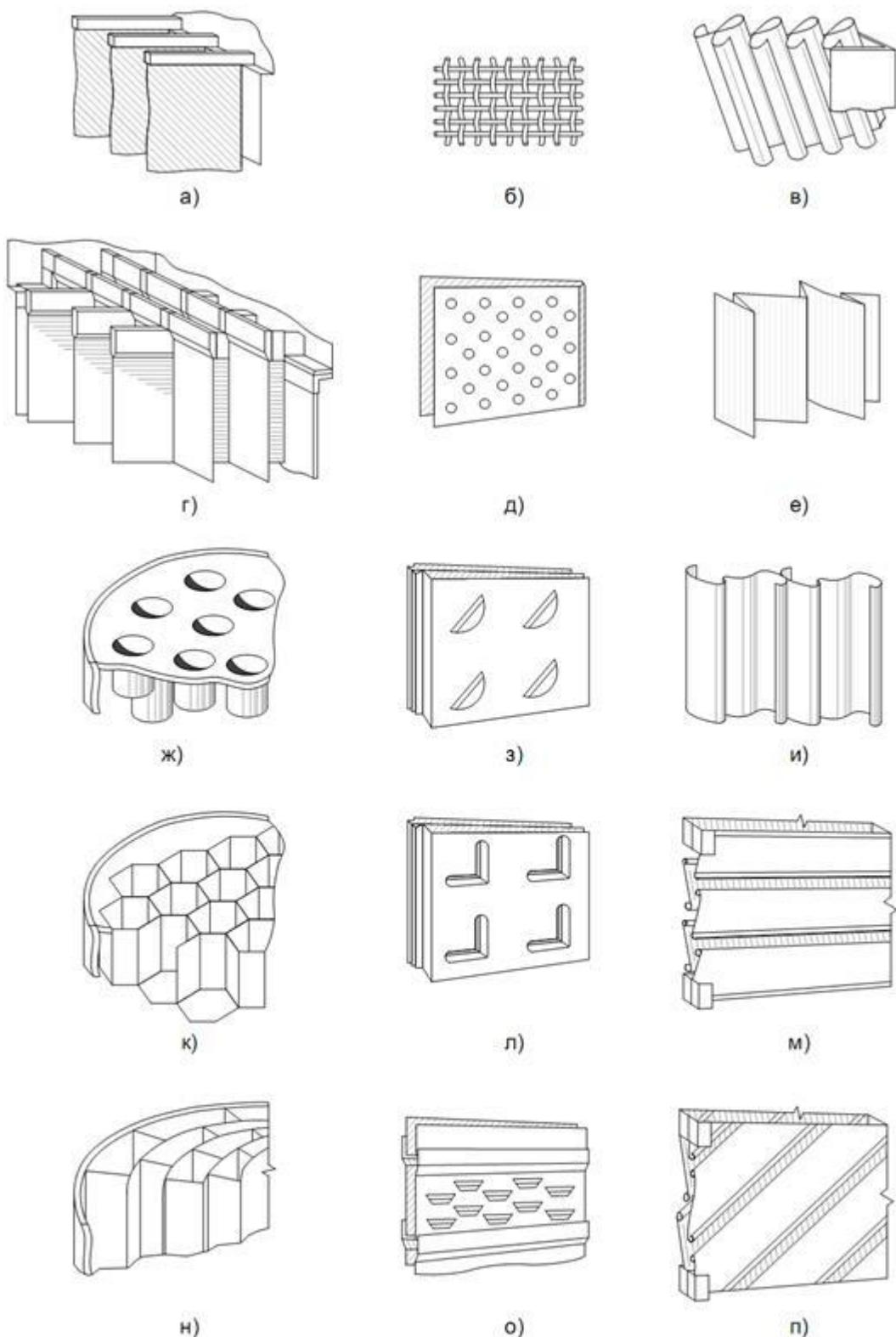
Газовая среда	$k_u \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{Вс}$	Газовая среда	$k_u \cdot 10^4 \text{ м}^2/\text{Вс}$
Азот	1,85	Водяной пар - 100°C	0,57
Аммиак	0,65	Двуокись углерода	0,96
Водород	8,10	Кислород	1,84
Воздух сухой	2,10	Окись углерода	1,15
Воздух насыщенный водянымиарами 25°C	1,60	Сернистый ангидрид	0,41

Осадительные и коронирующие электроды

К осадительным электродам предъявляются следующие требования: быть прочными, жесткими, иметь гладкую поверхность, чтобы можно было без проблем

удалять уловленную пыль, а так же достаточно высокие аэродинамические характеристики.

Осадительные электроды по форме и конструкции условно делятся на три больших группы: 1) пластинчатые; 2) коробчатые; 3) желобчатые (см. рисунок).

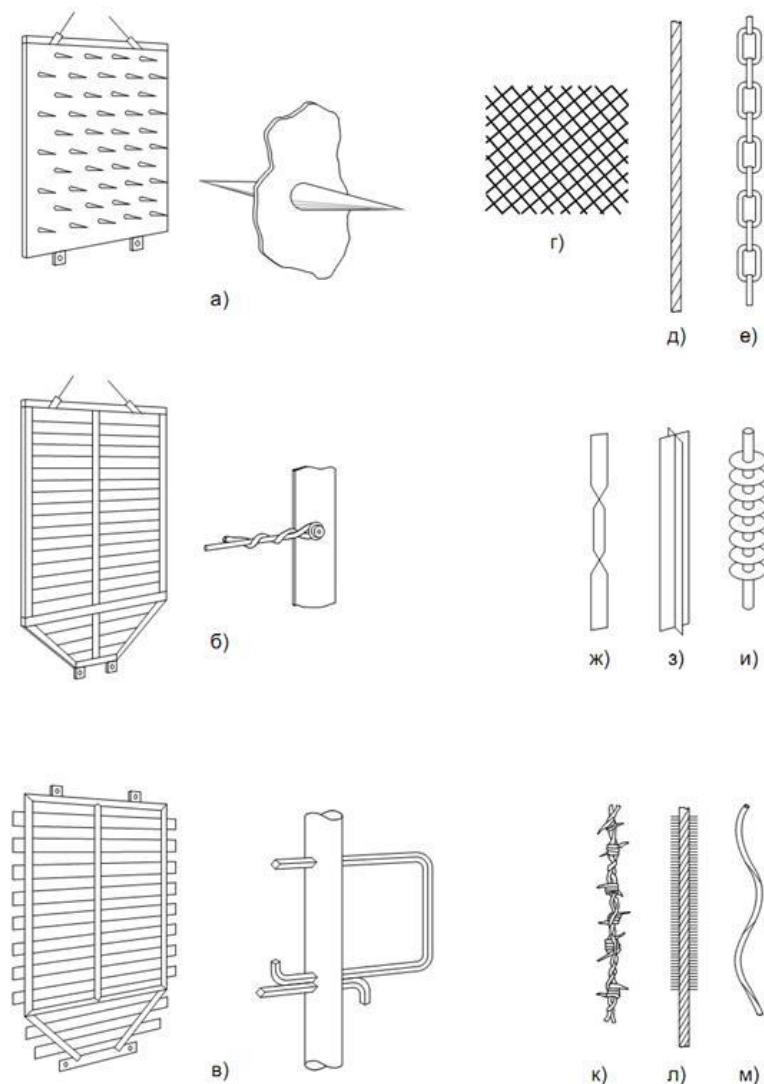


**Осадительные электроды:** пластинчатые: а - листовые; б - сетчатые; г - прутковые; коробчатые: д - перфорированные; з, л - карманные; м, о, п - тюльпанообразные; желобчатые: в - Вальтер-электроды; е, и - С-образные; ж, к, н - вертикальные трубчатые круглого, шестиугранного и сетчатого сечения.

К коронирующим электродам предъявляются следующие требования: должны иметь точную форму, чтобы обеспечить интенсивный и достаточно однородный

коронный разряд; обладать механической прочностью и жесткостью, чтобы обеспечить надежную, бесперебойную и долговечную работу в условиях встряхивания и вибрации; быть простыми в изготовлении и иметь низкую стоимость, так как коронирующие электроды могут достигать в длину (общую) 10 километров; быть стойкими к агрессивным средам.

Различают две большие группы коронирующих электродов (см. рисунок): электроды без фиксированных разрядных точек и электроды с фиксированными разрядными точками по всей длине электрода. У вторых источники разряда – это острые выступы или шипы, при этом есть возможность управлять работой электрода. Для этого нужно менять расстояние между шипами.



**Коронирующие электроды:** а, б, в, и, к, л - с фиксированными разрядными точками; г, д, е, ж, з, м - без фиксированных разрядных точек;

Систему осадительных и коронирующих электродов размещают, как правило, внутри металлического сварного корпуса, в редких случаях в корпусе из железобетона, который изготовлен в форме П-образных рам. Оборудование внутри корпуса загружают либо сверху, либо сбоку. Корпус снаружи должен обязательно

иметь теплоизоляцию во избежание температурных деформаций и появления конденсации влаги.

Узел подвода и равномерного распределения запыленного воздуха, как правило, состоит из системы газораспределительных решеток, которые установлены перед главной камерой, где располагается система осадительных и коронирующих электродов, и представляет собой перфорированные листы, установленные в два яруса, их живое сечение составляет от 35 до 50 процентов.

Чтобы удалить уловленную пыль из электрофильтров, применяют специальные системы встряхивания электродов. В сухих электрофильтрах обычно используют несколько таких систем – это пружинно-кулачковая, ударно-молотковая, вибрационная, либо же магнитно-импульсная система. Кроме этого, уловленные частицы могут просто смывать с электродов водой.

#### Электростатическое обеспыливание

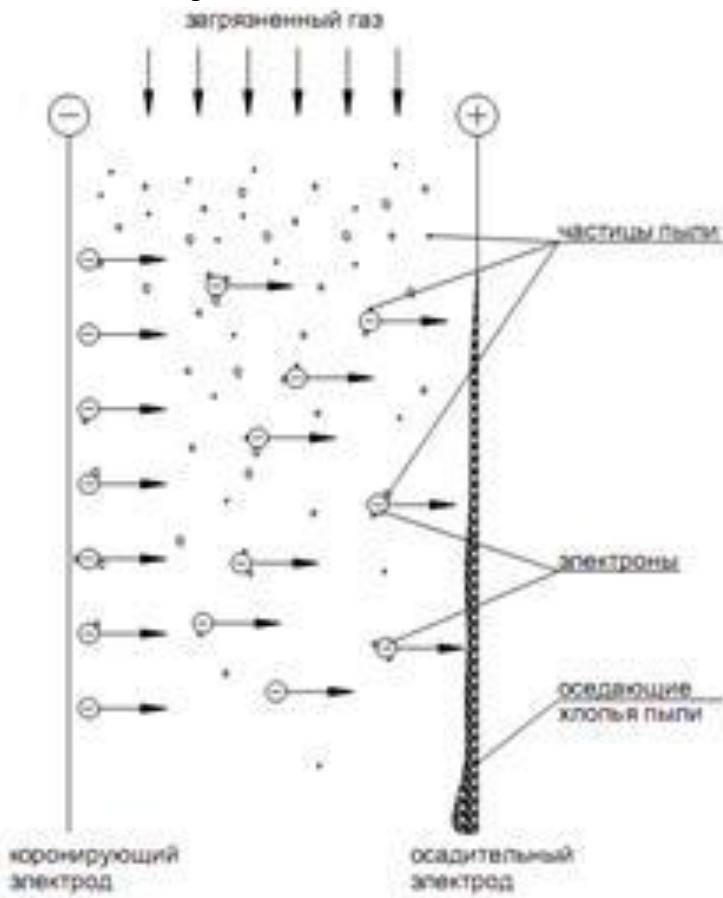
На частицы, которые находятся в пространстве между осадительными и коронирующими электродами действуют следующие силы, перемещающие частицы относительно потока газа:

- сила тяжести;
- сила сопротивления среды;
- сила, которая вызвана действием электрического поля;
- сила, вызванная неравномерным распределением электрического поля.

Электростатическое обеспыливание основано на том, что частицы пыли при помощи электростатического заряда притягиваются с противоположным зарядом.

Потом газа с частицами пыли при электростатическом обеспыливании пропускается между коронирующим электродом с сильным отрицательным зарядом и осадительным электродом, который положительно заряжен .

### Электростатическое обеспыливание:



Коронирующий электрод имеет высокое напряжение. Он отдает электрону, который имеет отрицательный заряд, молекулы газа, которые находятся возле него. Молекулы газа подтягиваются осадительным электроном, который имеет положительный заряд, в поле высокого напряжения осадительным и коронирующими электродами перемещаются в направлении осадительного электрода. Заряженные молекулы газа на пути к осадительному электроду сталкиваются с частицами пыли, которые протекают мимо. Молекулы отдают им свой заряд, заряжая их отрицательно. После этого частицы, заряженные отрицательно, притягиваются к осадительным электродам, направляются к нему, а после этого разряжаются и соединяются с другими частицами, образуя, таким образом, клубки. А при помощи вибрации и выталкивания клубки отрываются от осадительного электрода и падают вниз.

## 2.8 Лабораторная работа №8 Методы, системы и установки подавления выбросов.

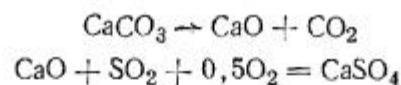
Суммарный выброс окислов серы ( $SO_2 + SO_3$ ) определяется содержанием серы в топливе, поступившем в топку, и практически не может быть изменен применением различных способов и режимов его сжигания. Учитывая, что с каждым годом среднее содержание серы в топливе растет (что связано с переходом на сжигание низкосортных топлив), возрастает и количество выбрасываемых в атмосферу сернистых соединений. Связь между содержанием серы в топливе и количеством выбросов  $SO_2$  видна из табл. 12.4

Принципиально можно рассматривать три направления в снижении выбросов соединений серы: 1) удаление серы из топлива до его сжигания; 2) новые методы и режимы сжигания; 3) очистка от соединений серы продуктов сгорания. Рассмотрим кратко каждое из этих направлений. На нефтеперерабатывающих заводах серу удаляют гидроочисткой. При этом капитальные затраты составляют примерно 3 руб/т на каждые 0,5 % понижения серы в мазуте. Простейшим обогащением подмосковного бурого угля-дробленки удается удалить 25—30 % серы. Для отделения от угля колчеданной и органической серы может быть применено гидротермическое обессеривание углей, заключающееся в обработке измельченного топлива в автоклавах при давлении 1,75 МПа и температуре ~300°C щелочными растворами, содержащими гидраты окисей натрия и калия. При этом получается уголь с весьма малым содержанием серы, который отделяется от жидкости центрифугированием и затем сушится.

Таблица 12.4. Количество выбрасываемых окислов серы при сжигании различных топлив

Топливо	Содержание серы в топливе, %	Выброс $SO_2$ , г/кг топлива
Уголь АШ	1,8	3,6
Мазут:		
высокосернистый	3,0	60
малосернистый	0,5	10

Сериистость сжигаемого топлива снижают, подвергая его воздействию высоких температур с использованием окислителей (газификация) или без них (пиролиз). Процесс газификации протекает в условиях высоких температур (900—1300°C) при ограниченном доступе кислорода. При комплексном энергетическом использовании топлива возникает задача получения из топлива химического сырья и чисто энергетического топлива; для термического разложения мазута можно использовать высокотемпературный пиролиз ( $= 700—1000$  °C без доступа окислителя) с последующей газификацией твердого продукта (нефтяного кокса). Экономическое сопоставление различных способов переработки топлива с целью удаления серы приведено в табл. 12.5. Сжигание топлива в кипящем слое размолотого известняка при 900°C позволяет за счет реакций:



обеспечить очистку продуктов сгорания от серы до 90 %.

Таблица 12.5. Экономические показатели различных способов очистки топлива от серы

Способ снижения содержания серы	Затраты на 1 т мазута, руб.		
	эксплуатационные	капитальные	расчетные приведенные
Гидрокрекинг мазута в кипящем слое	7,8	32,7	12,7
Гидроочистка вакуумного газоилья с гидрокрекингом гудрона	6,9	31,7	11,6
Гидроочистка вакуумного газоилья и термоконтактный крекинг	4,1	30,0	8,6
Газификация мазута с трикалийфосфатной очисткой	1,4	16,7	3,9

Наиболее распространенным является сжигание мазута с низкими избытками воздуха ( $a=1,01$ ). Так, при снижении избытков воздуха в топке с  $a=1,05$  до  $a=1,01$  снижается выход окислов серы на ~30%. Все известные способы улавливания  $\text{SO}_2$  из продуктов сгорания (дымовых газов) можно разделить на два класса: сухие и мокрые. Сухой способ получил широкое распространение в СССР и за рубежом. В этом случае продукты сгорания контактируют с магнезитом, известняком, активированным углем или окислами марганца. При этом протекают следующие реакции: при использовании извести  $\text{CaO} + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ; при использовании известняка  $\text{CaCO}_3 + \text{SO}_2 = \text{CaSO}_3 + \text{CO}_2$ . В результате этих реакций получается сульфит кальция, частично окисляющийся в сульфат. В большинстве случаев продукты нейтрализации не используются и направляются в отвал.

При мокром способе предварительно готовят суспензию известняка (г. е. смешивают его с водой). Продукты сгорания, проходя через мокрый скруббер (очиститель), контактируют с известняком. Химические реакции аналогичны приводимым выше. Расход известняка, кг/с, на сероулавливающую установку определяют по формуле

$$G_{\text{CaCO}_3} = \mu_1 B \frac{S'}{100} \frac{\eta}{K_{\text{CaCO}_3} K_{\text{исп}}} ,$$

где  $\mu_1$  — отношение молекулярных масс  $\text{CaCO}_3$  и серы ( $\mu_1 = 3,125$ );  $B$  — расход топлива, кг/с;  $S'$  — содержание серы в топливе, %;  $\eta$  — степень очистки газов от  $\text{SO}_2$  ( $\approx 0,9$ );  $K_{\text{CaSO}_4}$  — содержание углекислого кальция в природном известняке;  $K_{\text{исп}}$  — коэффициент использования известняка.

Количество твердых сухих отходов, кг/с, получающихся в результате очистки газов, ориентировочно определяют по формуле

$$G_{\text{отх}} = (\mu_2 K_{\text{исп}} + 1 - K_{\text{исп}}) G_{\text{CaCO}_3} ,$$

где  $\mu_2$  — отношение молекулярных масс сульфата кальция  $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$  и известняка  $\text{CaCO}_3$  ( $\mu_2 = 1,72$ )

или, внося этот коэффициент в формулу, получим

$$G_{\text{отх}} = (0,72 K_{\text{исп}} + 1) G_{\text{CaCO}_3} .$$

Расчеты показывают, что очистка от  $\text{SO}_2$  по любому из известных способов увеличивает себестоимость энергии на 15—30%, а единицу установленной мощности на 40—50 %. Расход известняка примерно составляет 6—10 т/сут на 1 кг/с паропроизводительности котла. Заметим, что, несмотря на большой накопленный опыт по очистке уходящих газов от  $\text{SO}_2$ , все известные методы являются сложными, дорогими и нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

Выбор метода и конструкции сероулавливающей установки следует проводить на основании технико-экономического расчета. Серьезное внимание окислам азота как токсичным составляющим продуктов сгорания было уделено лишь в конце 60-х годов. Механизм образования окислов азота слабо зависит от вида и состава топлива, но находится в большой зависимости от конструкции топки, способа сжигания, уровня температур, избытка воздуха и других параметров работы агрегата. И. Я. Сигал предложил эмпирическую формулу для расчета концентрации окислов азота в топке, г/м<sup>3</sup>:

$$C_{\text{NO}_x} = 0,16 D_{\text{в}}^{0,8} q_{\text{в}}^{0,5} \alpha_{\text{т}}^3 ,$$

где  $D_{\text{в}}$  — диаметр топки, м;  $q_{\text{в}}$  — тепловое напряжение топочного объема, МВт/м<sup>3</sup>;  $\alpha_{\text{т}}$  — коэффициент избытка воздуха.

Средняя концентрация  $\text{NO}_2$  в уходящих газах, образовавшихся при сжигании угля АШ, 0,5 г/м<sup>3</sup>, природного газа — 0,4 г/м<sup>3</sup>. Анализ продуктов сгорания показал, что существующие окислы азота состоят в основном на 95—99 % из  $\text{NO}$  и 1—5 % из  $\text{NO}_2$ . При сжигании в промышленно-отопительных котельных различных топлив обычное содержание 4—9,2 кг МО2/ГДж, кроме угля АШ, где эта величина составляет 3,63 кг ЙОг/ГДж. В 1966 г. было сформулировано требование учета совместного действия  $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_x$ , т. е.  $\text{Cso}_x + \text{CNO}_2 = 0,5$  мг/м<sup>3</sup>, причем ПДК были снижены для  $\text{SO}_2$  до 0,5 мг/м<sup>3</sup>, а для  $\text{NO}_2$  до 0,085 мг/м<sup>3</sup>. В СССР на основании многочисленных опытов установлено содержание МО2 в выбросах промышленных котлов и печей для различного вида применяемого топлива: для угля — 6,3 кг/ГДж (9,0 г/кг у.т.), 0,93 г/м<sup>3</sup> продуктов сгорания; для мазута — 5,0 кг/ГДж (12,0 г/кг у.т.), 0,82 г/м<sup>3</sup> продуктов сгорания; для природного газа 2,7 кг/ГДж (5,5 г/кг у.т.), 0,42 г/м<sup>3</sup> продуктов сгорания.

Основные пути снижения окислов азота в выбросах, применяемые в настоящее время: рециркуляция продуктов сгорания; двухстадийное сжигание топлива; применение специальных горелочных устройств; снижение коэффициента избытка воздуха; снижение подогрева воздуха; уменьшение нагрузки агрегата; химическое воздействие на факел присадками.

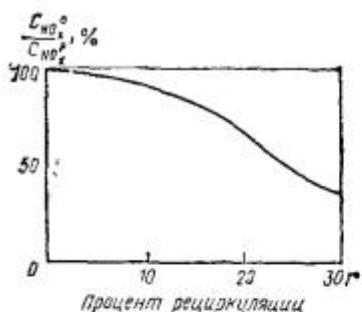


Рис. 12.1. Изменение выбросов окислов азота в зависимости от величины рециркуляции  
 $C_{NO_x}^0$  — концентрация окислов азота при работе без рециркуляции;  
 $C_{NO_x}^p$  — то же, с рециркуляцией

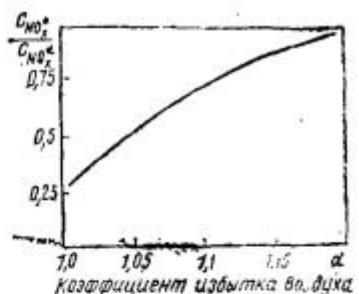


Рис. 12.2. Зависимость выброса окислов азота от величины коэффициента избытка воздуха

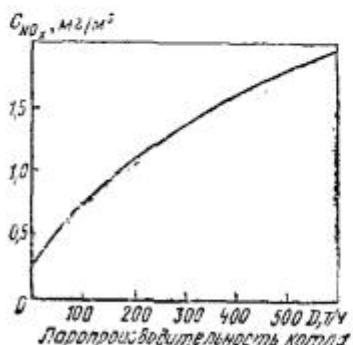


Рис. 12.3. Зависимость концентрации окислов азота в выбросах от единичной паропроизводительности котла

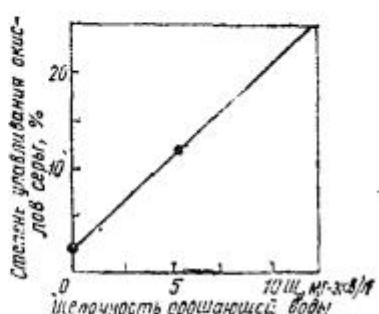


Рис. 12.4. Зависимость концентрации окислов серы в выбросах после мокрых золоуловителей

Рассмотрим кратко каждый из них. Для организации рециркуляции продукты сгорания обычно после водяного экономайзера при температуре 300—400°C отбирают специальным рециркуляционным дымососом и подают в топочную камеру. На рис. 12.1 показаны результаты опытов на котлоагрегате ТС-35 ( $\geq 35$  т/ч) и

БКЗ-320-140-ГМ ( $D = 320$  т/ч), сжигающих природный газ. Двухстадийное сжигание топлива: по этому методу в первичную зону горения подается количество воздуха меньшее, чем это теоретически необходимо для сжигания топлива ( $\alpha = 0,8—0,95$ ). В этой зоне происходит неполное сгорание топлива с частичной его газификацией при пониженной температуре и, следовательно, сниженном содержании окислов азота. Во вторичную зону подается чистый воздух или обедненная топливом смесь для дожигания продуктов неполного сжигания. Горение идет при более низкой температуре. Этот способ позволяет уменьшить количество окислов азота на 25—35%.

Применение специальных горелочных устройств для систем двухстадийного горения или получения растянутого по длине топочной камеры факела позволяет существенно снизить

выбросы окислов азота на 30—40 % (например, с применением горелки Института газа АН УССР). Снижением коэффициента избытка воздуха уменьшают концентрацию окислов азота на 50—70 % при уменьшении а с 1,2 до 1,02 (рис. 12.2). Снижением, подогрева воздуха, подаваемого для горения, на 100 °С, уменьшают выброс окислов азота на 15%. При снижении нагрузки агрегата понижается уровень температуры в топке и отсюда снижается концентрация N0. На величину выбросов окислов азота также сильно влияет единичная производительность котлоагрегата, как это показано на рис. 12.3. Что касается химического воздействия на факел присадками, то этот способ еще недостаточно разработан и не имеет широкого применения.

## 2.9 Лабораторная работа №9 Устройства очистки от нерастворимых и растворимых загрязнений, классификация методов и аппаратов очистки воды.

Физико-химические методы очистки.

Данные методы используют для очистки от растворенных примесей, а в некоторых случаях и от взвешенных веществ. Многие методы физико-химической очистки требуют предварительного глубокого выделения из сточной воды взвешенных веществ, для чего широко используют процесс коагуляции.

В настоящее время в связи с использованием оборотных систем водоснабжения существенно увеличивается применение физико-химических методов очистки сточных вод, основными из которых являются:

- флотация,
- сорбция,
- ионообменная и электрохимическая очистка,
- гиперфильтрация,
- нейтрализация,
- экстракция,
- эвапорация,
- выпаривание, испарение и кристаллизация.

Флотация

Флотация предназначена для извлечения из воды гидрофобных частиц (нефтепродукты) пузырьками газа, подаваемого в сточную воду. В основе этого процесса имеет место молекулярное слипание частиц масла и пузырьков тонкодиспергированного в воде газа. Образование агрегатов «частица — пузырьки газа» зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия содержащихся в воде веществ, избыточного давления газа в сточной воде и т. п.

Флотация — метод извлечения из жидкости диспергированных и коллоидных включений, основанный на способности частиц прилипать к газовым пузырькам (образуя флотокомплексы) и переходить вместе с ними в пенный слой. Сущность флотационного процесса заключается в специфическом действии молекулярных сил, вызывающих слипание частиц примесей с пузырьками газа, всплытие флотокомплексов и

образованию на поверхности жидкости пенного слоя, содержащего извлеченные вещества. Слипание пузырьков воздуха происходит только с гидрофобными частицами (несмачиваемыми водой) или частицами, имеющими гидрофобные участки поверхности. Следовательно, для интенсификации флотационного процесса рекомендуется использовать реагенты, которые, находясь в воде, сорбируются на поверхности частиц, понижая их смачиваемость, а значит, повышают гидрофобизацию загрязнений. Кроме того следует отметить, что понижение поверхностного натяжения повышает эффект флотационной очистки воды. Образование флотокомплексов (агрегатов «частица — пузырьки газа») зависит от интенсивности их столкновения друг с другом, химического взаимодействия содержащихся в воде веществ, избыточного давления газа в сточной воде и т. п.

В зависимости от способа образования пузырьков газа различают следующие виды флотации:

- напорную,
- пневматическую,
- механическую,
- электрофлотацию,
- пенную,
- химическую,
- вибрационную,
- биологическую и др,

В настоящее время на станциях очистки широко используют напорную, пневматическую и электрофлотацию.

Вид содержащихся в воде загрязнений определяет характер флотационной обработки: одним воздухом или воздухом в сочетании с различными реагентами, прежде всего коагулянтами. Использование коагулянтов позволяет значительно повысить эффективность флотационной очистки и удалять загрязнения находящиеся в воде в виде стойких эмульсий и взвесей, а также в коллоидном состоянии.

Важное значение имеют также условия и способы удаления пены.

Пена образуется на поверхности воды в результате всплыивания пузырьков воздуха, несущих на себе удаляемые из воды примеси. Она должна быть достаточно прочной и не допускать попадания загрязнений в воду. Кроме того, пена должна обладать определенной подвижностью при перемещении её к сбросным устройствам. Устойчивость и подвижность пены зависит от свойств и количества реагентов и загрязнений, вносимых в пенный слой. Стабилизации пены способствует наличие в воде хлопьев коагулянта, мелких частиц взвеси и поверхностно-активных веществ. Как правило, удаление пены из флотатора производят либо кратковременным подъемом уровня воды с отводом ее через лотки, расположенные равномерно по площади камеры, либо с помощью скребковых механизмов (пеногонов), перемещающих пену к сборным лоткам.

Метод пневматической флотации.

Метод пневматической флотации. Данный метод основан на подаче сжатого газа (воздуха) в аэрационно-распределительную систему флотокамеры.

Аэрационная система представляет собой мелкопузырчатые аэраторы различных типов – мембранные дисковые аэраторы, перфорированные резиновые шланги, пористые трубы и пластины и т.д. Газ под давлением проходит через отверстия аэраторов и в виде пузырьков одинакового диаметра выходит в очищаемую жидкость. Пузырьки под действием силы Архимеда всплывают, встречая на своем пути частицы загрязнений и образуя с ними довольно устойчивые комплексы.

За счет равномерной подачи воздуха и образования пузырьков с одинаковыми размерами обстановка во флотационной камере спокойная, что обеспечивает надежный подъем флотокомплексов и получение устойчивого пенного продукта.

#### Метод напорной флотации.

Метод напорной флотации. Сущность этого метода заключается выделении пузырьков газа из пресыщенного раствора при перепаде давления. Газ выделяется в виде микропузырьков, зарождающихся непосредственно на частицах загрязнения, образуя прочные флотокомплексы. В данном методе во флотационную камеру подается два потока воды: очищаемая вода и рабочая жидкость (вода насыщенная растворенным газом в количестве 10% от общего потока). Рабочая жидкость готовится в сатураторе – аппарате, где происходит растворение газа. Рабочее давление в сатураторе составляет 3-9 Бар, время растворения не более 5 минут. В качестве рабочей жидкости может использоваться или исходная вода, но при этом усложняется эксплуатация, или очищенная вода, при этом увеличиваются габариты флотокамеры.

Очищаемая вода равномерно вводится во флотокамеру. Поток рабочей жидкости вводится через форсунки с высокой скоростью - 15-20 м/с. В результате резкого снижения давления на частицах загрязнений выделяется газ и протекает флотационный процесс.

Способ напорной флотации позволяет путем регулирования давления легко изменять количество растворенного воздуха и размер пузырьков, вводимых в обрабатываемую воду, в зависимости от состава взвеси в исходной воде.

#### Основные достоинства и недостатки метода напорной флотации.

Процесс напорной флотации отличается высокой эффективностью захвата мельчайшими пузырьками воздуха частиц загрязнений за счет того, что пузырьки выделяются из раствора непосредственно на загрязнениях, образуя хорошо сохраняющиеся флотокомплексы. Прочность флотокомплексов обеспечивается за счет малости размеров пузырьков, а также за счет того, что на одной частичке может образоваться несколько пузырьков. Однако скорость подъема таких флотокомплексов довольно низкая, а порой мельчайшие пузырьки не могут поднять частицу и комплекс находится во взвешенном состоянии, что можно увидеть при помощи стереомикроскопа. Таким образом, при напорной флотации обеспечивается прочное слипание пузырьков с загрязнениями, но при этом наблюдается небольшая скорость подъема образующихся флотокомплексов.

#### Метод механической флотации.

Основным элементом в данном методе является импеллерный блок, включающий электродвигатель и импеллер в обсадной трубе.

За счет высокой скорости вращения создается воронка и разряжение в нижней части, через отверстия обсадной трубы подсасывается воздух и попадает под вращающиеся лопатки, которые его дробят на мелкие пузырьки. Именно эти пузырьки и распределяются по объему жидкости и благодаря им протекает процесс флотации. Мелкие флотокомплексы, не успевшие подняться, задерживаются в тонкослойном осветлителе.

Метод электрофлотации.

Сущность этого метода заключается выделении газовых пузырьков на электродах при прохождении электрического тока.

В настоящее время на станциях очистки широко используют электрофлотацию, так как протекающие при этом электрохимические процессы обеспечивают дополнительное обеззараживание сточных вод. Кроме того, применение для электрофлотации алюминиевых или стальных электролов обуславливает переход ионов алюминия или железа в раствор, что способствует коагулированию мельчайших частиц механических примесей сточной воды.

Для очистки сточных вод электрофлотацией нами разработаны опытные лабораторные и промышленные аппараты с вертикальным и горизонтальным расположением электролов. Аппарат с вертикальным расположением электролов состоит из корпуса и электролов, пространство между которыми заполнено очищаемой жидкостью. При подключении электролов к источнику питания происходит выделение газов на электродах: на аноде - кислорода, на катоде - водорода. Наряду с этим происходит растворение анода, изготовленного из дюралюминия (или стали). Образующийся гидроксид алюминия (железа) сорбирует частицы загрязнений с образованием хлопьев. Одновременно пузырьки кислорода и водорода слипаются с образующимися хлопьями. Флотокомплексы хлопья - пузырьки газов поднимаются вверх и образуют пенный слой.

### Сорбция

Сорбцию применяют для очистки жидкостей и газов от растворимых примесей. Процессы сорбции могут протекать:

- на поверхности (адсорбция);
- в объеме (абсорбция).

**Адсорбция** - называется процесс избирательного поглощения примесей из жидкостей или газов поверхностями твердых материалов - адсорбентов. Особенностью адсорбционных методов улавливания примесей является их относительно высокая эффективность в области малых концентраций примесей при значительных расходах перерабатываемых потоков.

Избирательное поглощение молекул поверхностью твердого адсорбента происходит вследствие воздействия на них неуравновешенных поверхностных сил адсорбента.

Различают два вида адсорбции:

- физическая адсорбция, протекает за счет сил молекулярного взаимодействия,
- химическая адсорбция (хемосорбция), протекает за счет вступления в химическую реакцию молекулы поглощаемого вещества с молекулами поверхности адсорбента.

Процесс физической адсорбции обратимый, поэтому на практике после стадии адсорбции часто проводят обратный процесс – десорбции. Необходимость десорбции обусловлена либо требованием регенерации адсорбента для его последующего использования в процессе адсорбции, либо необходимости выделить целевой компонент в чистом или концентрированном виде. В качестве адсорбентов используют любые мелкодисперсные материалы: золу; торф; цеолиты; силикагели; опилки; шлаки и глину. Наиболее эффективный сорбент — активированный уголь.

### **Активированный уголь**

Активированный уголь получают термической обработкой дерева, углей (каменного и бурого), антрацита и других углеродсодержащих веществ. Они изготавливаются и используются в виде гранул размером 2—5 мм. Угли, предназначенные для поглощения относительно крупных молекул примесей из жидкостей, должны иметь развитую структуру переходных пор. Активные угли, как правило, имеют хорошие адсорбционные свойства по отношению к молекулам органических веществ, но имеют низкую механическую прочность.

### **Силикагель**

Силикагель получают термообработкой аморфного кремнезема. Мелкопористые силикагели обладают высокой адсорбционной способностью по отношению к молекулам влаги и более высокой по сравнению с активными углями механической прочностью. Выпускаются мелко-, средне- и крупнопористые силикагели. Другим типом неорганических адсорбентов, широко применяемых для осушки различных сред и иных процессов избирательной адсорбции, является активный оксид алюминия и алюмогели, свойства и область использования которых близки к силикагелям.

### **Алюмогель**

Алюмогель - неорганический адсорбент, широко применяемый для осушки различных сред и иных процессов избирательной адсорбции, свойства и область использования алюмогеля близки к силикагелям.

### **Цеолиты**

Цеолиты представляют собой алюмосиликаты и отличаются регулярной пористой структурой. Из мелких кристалликов природных или синтетических цеолитов при помощи связующего или без него формируются гранулы размером 2-4 мм. Цеолиты широко применяются для улавливания паров воды, а также в нефтеперерабатывающей промышленности для очистки и регенерации масел, повышения степени очистки и качества жидких топлив. Как и другие адсорбенты, цеолиты используются для очистки продуктов пищевой промышленности, сточных вод и промышленных газовых выбросов от органических примесей. Цеолиты обладают ионообменными свойствами, которые в настоящее время широко используются в промышленности и сельском хозяйстве. Цеолиты имеют необычайно широкую сферу использования в промышленности и сельском хозяйстве. Они применяются в нефтехимии, как осушитель газов и сред, для очистки питьевых и технических вод, для извлечения радионуклидов, в качестве катализатора, в строительстве, для улучшения почвы, в качестве удобрения, для подкормки животных и т.д.

Промышленные адсорбенты за счет пористой структуры обладают развитой внутренней поверхностью, что позволяет поглощать значительные количества адсорбируемого компонента (до 0,3 кг/кг). Для адсорбционной очистки воды применяют в основном два типа фильтров: зернистые фильтры и патронные фильтры .

Абсорбция - называется процесс извлечения компонента из одной фазы и растворение его в другой фазе—в поглотителе.

Требования, предъявляемые к поглотителю:

- 1. высокая поглотительная способность (высокой поглотительной способностью обладают такие поглотители, для которых давление насыщенных паров компонента над его раствором в поглотителе при температуре абсорбции мало);
- 2. поглотитель должен легко десорбироваться (регенерироваться);
- 3. иногда должен обладать селективностью (т.е. поглощать только определенные компоненты);
- 4. должен обладать низкой летучестью (низким давлением паров);
- 5. он должен сохранять свои свойства в процессе работы;
- 6. он должен быть дешевым и доступным;
- 7. не должен оказывать коррозионного действия;
- 8. обладать высоким коэффициентом массопередачи.

Обычно один поглотитель не обладает всеми требуемыми свойствами, поэтому следует выбирать абсорбент по основным свойствам.

Абсорбера представляют собой колонны, в которых протекает поглощающая жидкость, через которую пробулькивает очищаемый газ. Для обеспечения надежного контакта газа с жидкостью, а также увеличения времени пребывания газа в аппарате, в колонне находятся специальные тарелки и насадки. Наиболее просты по конструкции провальные тарелки, их разновидность — гофрированные провальные тарелки. Диаметр сливных отверстий равен 4 - 8 мм. Иногда применяют клапанные провальные тарелки. Их достоинством является то, что когда газ не проходит через колонну жидкость не протекает, т.е. такие тарелки более экономичные.

### Ионообменный метод очистки воды

Ионообменный метод очистки воды применяют для обессоливания и очистки воды от ионов металлов и других примесей. Сущность ионного обмена заключается в способности ионообменных материалов забирать из растворов электролита ионы в обмен на эквивалентное количество ионов ионита.

Очистку воды осуществляют ионитами — синтетическими ионообменными смолами, изготовленными в виде гранул размером 0,2...2 мм. Иониты изготавливают из нерастворимых в воде полимерных веществ, имеющих на своей поверхности подвижный ион (катион или анион), который при определенных условиях вступает в реакцию обмена с ионами того же знака, содержащимися в воде. Различают сильно- и слабокислотные катиониты (в  $H^+$ - или  $Na^+$ - форме) и сильно- и слабоосновные аниониты (в  $OH^-$  или солевой форме), а также иониты смешанного действия. Основополагающим фактором кинетики процесса является скорость ионообмена между ионами воды и омываемой частицей смолы. На наружной поверхности омываемой частицы образуется неподвижная водяная пленка, толщина которой зависит от скорости потока очищаемой воды и размеров зерна смолы. Ион, который стремится попасть внутрь частицы смолы, в функциональную

группу, должен диффундировать из воды через пленку, пройти через граничную поверхность частицы и внутри смолы в растворе набухания устремиться к ассоциации с функциональной группой. Диффузия ионов через пленку является важнейшим этапом процесса.

Избирательное поглощение молекул поверхностью твердого адсорбента происходит вследствие воздействия на них неуравновешенных поверхностных сил адсорбента.

Ионообменные смолы имеют возможность регенерации. После истощения рабочей обменной емкости ионита он теряет способность обмениваться ионами и его необходимо регенерировать. Регенерация производится насыщенными растворами, выбор которых зависит от типа ионообменной смолы. Процессы восстановления, как правило, протекают в автоматическом режиме. На регенерацию обычно затрачивают около 2 часов, из них на взрыхление - 10 – 15 мин, на фильтрование регенерирующего раствора - 25 – 40 мин, на отмыкку - 30 - 60 мин. Ионообменную очистку реализуют последовательным фильтрованием воды через катиониты и аниониты.

В зависимости от вида и концентрации примесей в воде, требуемой эффективности очистки используют различные схемы ионообменных установок.

### Умягчение воды катионированием

Умягчение воды катионированием – один из методов умягчения (обессоливания) воды.

Катионирование – процесс обработки воды методом ионного обмена, в результате которого происходит обмен катионов. В зависимости от вида ионов ( $H^+$  или  $Na^+$ ), находящихся в объеме катионита, различают два вида катионирования:  $H$ -катионирование и  $Na$ -катионирование.

#### Натрий-катионитовый метод

Натрий-катионитовый метод применяют для умягчения воды с содержанием взвешенных веществ в воде не более 8 мг/л и цветностью воды не более 30 град. Жесткость воды снижается при одноступенчатом натрий-катионировании до значений 0,05 - 0,1 мг-экв/л, при двухступенчатом - до 0,01 мг-экв/л. Процесс  $Na$ -катионирования описывается следующими реакциями обмена:

Регенерация  $Na$ -катионита достигается фильтрованием через него со скоростью 3-4 м/ч 5-8% раствора  $NaCl$ .

Достоинства  $NaCl$  (поваренной соли) как регенерационного раствора:

- 1. дешевизна;
- 2. доступность;
- 3. продукты регенерации (хорошо растворимые  $CaCl_2$  и  $MgCl_2$ ) легко утилизируются.

#### Водород-катионитовый метод

Водород-катионитовый метод применяют для глубокого умягчения воды. Этот метод основан на фильтровании обрабатываемой воды через слой катионита, содержащего в качестве обменных ионов катионы водорода.

При Н-катионировании воды значительно снижается pH фильтрата за счет кислот, образующихся в ходе процесса. Углекислый газ, выделяющийся при реакциях умягчения, можно удалить дегазацией. Регенерация Н-катионита в этом случае производится 4 – 6% раствором кислоты (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

### Катиониты.

Иониты, в зернах которых при ионообменном процессе происходит обмен катионов, называют катионитами.

Энергия вхождения различных катионов в катионит по величине их динамической активности может быть охарактеризована для одинаковых условий следующим рядом: Na<sup>+</sup> < nh<sub>4</sub><sup>+</sup> < k<sup>+</sup> < Mg<sup>2+</sup> < Ca<sup>2+</sup> < Al<sup>3+</sup>

Каждый катионит обладает определенной обменной емкостью выражающейся количеством катионов, которые катионит может обменять в течение фильтроцикла. Обменную емкость катионита измеряют в грамм-эквивалентных задержанных катионов на 1 м<sup>3</sup> катионита, находящегося в набухшем (рабочем) состоянии после пребывания в воде, т. е. в таком состоянии, в котором катионит находится в фильтре. Различают полную и рабочую обменную емкость катионита.

Полной обменной емкостью называют то количество катионов, которое может задержать 1 м<sup>3</sup> катионита, находящегося в рабочем состоянии, до того момента, когда жесткость фильтрата сравнивается с жесткостью исходной воды.

Рабочей обменной емкостью катионита называют то количество катионов, которое задерживает 1 м<sup>3</sup> катионита до момента «проскока» в фильтрат катионов. Рабочая обменная емкость катионита зависит от вида извлекаемых из воды катионов, соотношения солей в умягчаемой воде, значения pH, высоты слоя катионита, скорости фильтрования, режима эксплуатации катионитовых фильтров, удельного расхода регенерирующего реагента и от других факторов.

Обменную емкость, отнесенную ко всему объему катионита, загруженного в фильтр, называют емкостью поглощения.

### Обессоливание воды ионным обменом.

Для очистки сточных вод от анионов сильных кислот применяют технологическую схему одноступенчатого Н-катионирования и ОН-анионирования с использованием сильнокислотного катионита и слабоосновного анионита.

Для более глубокой очистки сточных вод, в том числе от солей, применяют одно-или двухступенчатое Н-катионирование на сильнокислотном катионите с последующим двухступенчатым ОН-анионированием на слабо-, а затем на сильноосновном анионите.

При содержании в сточной воде большого количества диоксида углерода и его солей происходит быстрое истощение емкости сильноосновного анионита. Для уменьшения истощения сточную воду после катионито-вого фильтра дегазируют в специальных дегазаторах с насадкой из колец Рашига или в других аппаратах. При необходимости обеспечивать значение pH ~ 6,7 и очистки сточной воды от анионов слабых кислот вместо анионитовых фильтров второй ступени используют фильтр смешанного действия, загружаемый смесью сильнокислотного катионита и сильноосновного анионита.

Метод обессоливания воды ионным обменом основан на последовательном фильтровании воды через Н-катионитовый, а затем ОН-, НСО<sub>3</sub>- или СО<sub>3</sub>- анионитовый фильтр.

В Н-катионитовом фильтре содержащиеся в воде катионы, главным образом Са<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и Na<sup>+</sup>, обмениваются на водород-катионы

В ОН-анионитовых фильтрах, которые проходит вода после Н-катионитовых, анионы образовавшихся кислот обмениваются на ионы ОН-.

Образующийся в процессе разложения гидрокарбонатов СО<sub>2</sub> удаляется в дегазаторе.

Требования к воде, подаваемой на Н-ОН фильтры:

- взвешенные вещества – не более 8 мг/л;
- общее солесодержание – до 3 г/л;
- сульфаты и хлориды – до 5 мг/л;
- цветность – не более 30 градусов;
- окисляемость перманганатная – до 7 мгО<sub>2</sub>/л;
- железо общее – не более 0,5 мг/л;
- нефтепродукты – отсутствие;
- свободный активный хлор – не более 1 мг/л.

Если исходная вода не отвечает данным требованиям, то необходимо провести предварительную подготовку воды.

В соответствии с необходимой глубиной обессоливания воды проектируют одно-, двух- и трехступенчатые установки, но во всех случаях для удаления из воды ионов металлов применяют сильнокислотные Н-катиониты с большой обменной способностью.

#### Одноступенчатые ионообменные установки

Одноступенчатые ионообменные установки применяют для получения воды с солесодержанием до 1 мг/л (но не более 20 мг/л), это может быть:

- получение питьевой воды;
- получение воды, используемой в некоторых технологических процессах;
- подготовка воды перед стадией глубокого обессоливания;
- некоторые случаи при доочистке сточных вод.

В одноступенчатых ионитовых установках воду последовательно пропускают через группу фильтров с Н-катионитом, а затем через группу фильтров со слабоосновным анионитом; свободный оксид углерода(СО<sub>2</sub>) удаляется в дегазаторе, устанавливаемом после катионитовых или анионитовых фильтров, если они регенерируются раствором соды или гидрокарбоната. В каждой группе должно быть не менее двух фильтров. Через ионитовую установку пропускают лишь часть воды с тем, чтобы после смешения ее с остальной водой получить в опресненной воде солесодержание, отвечающее лимитам потребителя.

#### Цеолиты

Цеолиты представляют собой алюмосиликаты и отличаются регулярной пористой структурой. Из мелких кристалликов природных или синтетических цеолитов при помощи связующего или без него формируются гранулы размером 2-4 мм. Цеолиты широко применяются для улавливания паров воды, а также в нефтеперерабатывающей промышленности для очистки и регенерации масел, повышения степени очистки и качества жидкых топлив. Как и другие адсорбенты, цеолиты используются для очистки продуктов пищевой промышленности, сточных вод и промышленных газовых выбросов от органических примесей. Цеолиты обладают ионообменными свойствами, которые в настоящее время широко используются в промышленности и сельском хозяйстве. Цеолиты имеют необычайно широкую сферу использования в промышленности и сельском хозяйстве. Они применяются в нефтехимии, как осушитель газов и сред, для очистки питьевых и технических вод, для извлечения радионуклидов, в качестве катализатора, в строительстве, для улучшения почвы, в качестве удобрения, для подкормки животных и т.д.

Промышленные адсорбенты за счет пористой структуры обладают развитой внутренней поверхностью, что позволяет поглощать значительные количества адсорбируемого компонента (до 0,3 кг/кг). Для адсорбционной очистки воды применяют в основном два типа фильтров: зернистые фильтры и патронные фильтры .

Абсорбция - называется процесс извлечения компонента из одной фазы и растворение его в другой фазе—в поглотителе.

Требования, предъявляемые к поглотителю:

- 1. высокая поглотительная способность (высокой поглотительной способностью обладают такие поглотители, для которых давление насыщенных паров компонента над его раствором в поглотителе при температуре абсорбции мало);
- 2. поглотитель должен легко десорбироваться (регенерироваться);
- 3. иногда должен обладать селективностью (т.е. поглощать только определенные компоненты);
- 4. должен обладать низкой летучестью (низким давлением паров);
- 5. он должен сохранять свои свойства в процессе работы;
- 6. он должен быть дешевым и доступным;
- 7. не должен оказывать коррозионного действия;
- 8. обладать высоким коэффициентом массопередачи.

Обычно один поглотитель не обладает всеми требуемыми свойствами, поэтому следует выбирать абсорбент по основным свойствам.

Абсорбера представляют собой колонны, в которых протекает поглощающая жидкость, через которую пробулькивает очищаемый газ. Для обеспечения надежного контакта газа с жидкостью, а также увеличения времени пребывания газа в аппарате, в колонне находятся специальные тарелки и насадки. Наиболее просты по конструкции провальные тарелки, их разновидность — гофрированные провальные тарелки. Диаметр сливных отверстий равен 4 - 8 мм. Иногда применяют клапанные провальные тарелки. Их достоинством является то, что когда газ не проходит через колонну жидкость не протекает, т.е. такие тарелки более экономичные.

## 2.10 Лабораторная работа №10 Механические методы и средства очистки сточных вод.

### Лабораторная работа 10

Цель лабораторной работы: ознакомится с характеристиками аппаратов очистки сточных вод и нормативными требованиями к их проектированию.

Задачи лабораторной работы:

- провести расчеты отстойника;
- оценить эффективность отстойника.

#### 1. Общие сведения

**Механическая** очистка сточных вод является обязательной составной частью водоочистки и предваряет другие методы очистки. Благодаря ей из вод удаляются нерастворимые примеси, в том числе и те, которые находятся в коллоидном состоянии. Перед механической очисткой в сточные воды добавляют **коагулянты** (вещества, вызывающие укрупнение коллоидных частиц) и **флокулянты** (вещества, способствующие процессам флотации, т. е. выделению частиц из смеси за счет сил отталкивания от растворителя с последующим укрупнением). В качестве **флокулянтов** используют полиэтиленамин и некоторые другие высокомолекулярные вещества, а как **коагулянты** — сульфаты алюминия, железа и др. При выделении укрупненных частиц нерастворимых веществ применяют процессы **фильтрования** (на различных фильтрах и электрофильтрах), **отстаивания** (в отстойниках) и **центрифугирования** (на гидроциклах и центрифугах — здесь используют действие центробежных сил).

Химическая очистка основана на том, что растворимые примеси вступают в реакции с осадителями или веществами иного действия (окислителями, восстановителями), при этом образуются или нерастворимые вещества, которые потом удаляются механически, или нетоксичные вещества, не приносящие ущерба природе. В качестве **осадителей и нейтрализаторов** широко применяют известняк, известковое молоко (сuspензия гидроксида кальция) и другие щелочи, окисление активным хлором, кислородом или озоном и т. д. Однако необходимо отметить, что **окисление хлором** хоть и эффективно, но с экологической точки зрения небезопасно из-за образования экологически опасных хлорорганических соединений.

Из механических методов очистки промышленных стоков с целью осветления воды наиболее простым является ее отстаивание.

При расчете отстойной аппаратуры определяющей является скорость осаждения твердых или жидких частиц  $\dot{w}_0$ , зависящая от размеров частиц  $d$ , их формы, плотности  $\rho_{ce}$

и вязкости  $\mu_{ce}$  сточной воды, скорости движения воды и, условий обтекания и сопротивления среды. Скорость осаждения  $\omega_o$  для ламинарных, переходных и турбулентных режимов определяют по формуле

$$\omega_o = \frac{R_e}{d\rho_b/\mu_b} = \frac{Ar}{(18 + 0,61\sqrt{Ar}) \cdot d\rho_b/\mu_b} \quad (1)$$

где  $R_e$  — число Рейнольдса;

$Ar = d^3 \rho_e g (\rho_t - \rho_e) / \mu_e^2$  — число Архимеда;

$\rho_e, \mu_e$  — соответственно плотность и вязкость чистой воды,

$\rho_t$  — плотность твердой фазы.

Вязкость и плотность таких систем могут меняться и с учетом объемной концентрации  $C_o$  рассчитываются по формулам

$$\mu_{ce} = \mu_e \cdot (1 + 2,5C_o) \quad (2)$$

$$\rho_{ce} = \rho_e \varepsilon + \rho_t (1 - \varepsilon) \quad (3)$$

$$\varepsilon = V_{ж} / (V_{ж} + V_t) \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  — объемная доля жидкой фазы;

$V_{ж}$  и  $V_t$  — объем соответственно жидкой и твердой фаз.

Для реальных условий скорость стесненного осаждения монодисперсных сферических частиц рассчитывают по формуле Стокса:

$$\omega_{ce}^{cm} = d^2 g (\rho_t - \rho_e) R / 18 \mu_b \quad (5)$$

где  $R = \mu_b \varepsilon / \mu_{ст.}$ ;

В горизонтальных песколовках (прямоугольных резервуарах прямолинейным движением воды) осаждение песка близко к осаждению частиц в ламинарном режиме, и скорость его осаждения определяют по формуле Стокса.

Длину песколовки определяют по формуле

$$L = kH_p u / \omega_o \quad (6)$$

Коэффициент, учитывающий турбулентность потока:

$$k = \omega_o / \sqrt{\omega_o^2 - 0,5u},$$

где  $H_p$  — расчетная глубина песколовки, м;

$u$  — средняя скорость движения воды, м/с.

Площадь зеркала воды,  $\text{м}^2$ , глубину, м, и удельную нагрузку по воде,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ , определяют из зависимостей

$$F = Q/q_0 = BL; \quad H_p = Q/(Bu); \quad q_0 = -0,43\omega_o/\lg(1 - \Theta),$$

где  $Q$  — расход воды,  $\text{м}^3/\text{сут}$ ;

$B$  — ширина песколовки, м;

$\Theta$  — эффективность очистки.

Выход сточной воды происходит через водослив, размеры которого определяют по формулам:

$$P = (h_{\max} - k_q^{2/3}h_{\min})/k_q^{2/3} - 1; \\ b_c = q_{\max}/\left(m\sqrt{2q_0}\right)(P + h_{\max})^{3/2},$$

где  $P$  — перепад уровней воды между дном песколовки и порогом

водослива;

$h_{max}$ ,  $h_{min}$  — уровень воды, м, при максимальном  $q_{max}$  и минимальном  $q_{min}$

расходах и  $u = 0,3$  м/с;

$$k_q = q_{max}/q_{m-m} ;$$

$b_c$  — ширина водослива, м;

$m = 0,35 \dots 0,38$  — коэффициент расхода водослива.

Скорость движения воды  $u$  при диаметре частиц 0,2 — 0,3 мм принимается равной 0,3 м/с, а время пребывания воды в песколовке 30 с.

Из песколовок с круговым движением воды наиболее эффективны аэрируемые песколовки.

Горизонтальные аэрируемые песколовки работают при  $u = 0,08-0,12$  м/с,  $B/H = 1-1,5$ , общей глубине 0,7 - 3,5 м. гидравлической крупности песка - скорости осаждения частицы в спокойной воде  $\omega_0=18$  мм/с, интенсивности аэрации  $3 - 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

В песколовках с круговым движением воды объем аэрированной зоны изменяется от 25,8 до 170 м<sup>3</sup> при интенсивности аэрации  $3,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

Для увеличения скорости осаждения частиц примесей в промышленные стоки вводят коагулянты и флокулянты, которые образуют неустойчивые полидисперсные системы.

Продолжительность отстаивания определяют по формуле

$$T = \tau (H/h)^n,$$

где  $\tau$  — продолжительность осаждения;

$H$  — глубина проточной части отстойника;

$h$  — высота эталонного цилиндра;

$n$  — коэффициент, учитывающий свойства взвешенных частиц

( $n = 0,25; 0,4; 0,6$  для коагулянтов, мелкодисперсных

минеральных и структурных тяжелых веществ

соответственно).

Объем отстойной зоны  $V_0 = QT$ , а поверхность осаждения  $F_0 = Q/\omega_0$

Гидравлическую крупность определяют по зависимости

$$\omega_0 = \frac{1000kH}{\alpha\tau(kH/h)^a} - \omega,$$

где  $k = 0,5; 0,35; 0,45$  — коэффициент, характеризующий конструкцию

отстойника соответственно для горизонтального,

вертикального и радиального типа;

$a = 0,66 \dots 1,5$  — коэффициент, учитывающий влияние вязкости

воды на скорость осаждения при изменении температуры от 40

до 50 °C;

$\omega$  — вертикальная составляющая скорости движения воды в

отстойнике; при изменении  $u$  от 5 до 20 мм/с величина  $\omega$

изменяется от 0 до 0,5 мм/с.

Таблица 1

**Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воде водоемов хозяйственно-питьевого (I тип) и рыбохозяйственного (II тип) водопользования**

№ п/п	Вещество	ПДК, мг/л	
		Водоем	
		I типа	II типа
1	Аммиак	2	0,05
2	Бензол	0,5	0,5
3	Кадмий	0,001	0,005
4	Магний	-	40
5	Мышьяк	0,03	0,01
6	Нефть в виде эмульсии	0,1	0,05
1	Никель	0,1	0,01
8	Свинец	0,03	од
9	Фенолы	0,001	0,001
10	Хлор свободный	0	0
11	Хлорофос	0,05	0
12	Пинк	1	0,05
13	Нитриты, нитраты	10	-
14	Ртуть	0,0005	-
15	Формальдегид	0,01	-
	Хром:		

16	трехвалентный	0,5	—
17	шестивалентный	0,1	—
18	Бензин	0,1	-
19	Гексахлоран	0,02	-
20	ДДТ	0,1	—

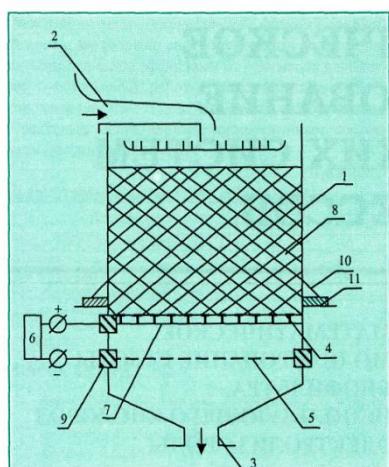
В существующих аппаратах и установках для биологической очистки сточных вод в аэробных условиях - биофильтрах и аэротенках - используется кислород воздуха для дыхания микроорганизмов активного ила или биопленки. Однако скорость потребления микроорганизмами кислорода воздуха в этих установках невысокая, из-за чего уменьшается степень поглощения органических веществ, или для заданной степени очистки повышают размеры оборудования или необходимое число установок определенной мощности.

Значительно возрастает скорость окисления и интенсивность очистки сточных вод в так называемых окситенках - аппаратах для биологической очистки, в которых для дыхания микроорганизмов активного ила или биопленки подается технический кислород. Однако в этом случае технологический процесс зависит от запасов технического кислорода, и эта зависимость существенно влияет на непрерывность и устойчивость работы окситенков.

Есть попытки использовать для дыхания микроорганизмов в установках для биологической очистки сточных вод кислород, образующийся при электролизе воды. Однако при этом образуется смесь пузырьков кислорода и водорода, значительно снижающая окислительную способность процесса. Кроме того, гремучая смесь кислорода и водорода, образующаяся при электролизе воды, повышает требования к вентиляции воздуха и охране труда обслуживающего персонала. Разделение катода и анода токопроницаемой мембраной позволяет селективно использовать кислород для биоокисления сточной воды в зоне аэрации, а водород для флотации.

Однако необходимость установки ионопроницаемой мембранны между анодом и катодом усложняет конструкцию аппарата и его эксплуатацию, связанную с очисткой, регенерацией или даже заменой мембранны.

В предлагаемой конструкции электробиофильтра по аналогии с электрофлотацией и электрокоагуляцией в качестве газовой фазы используются пузырьки электролитических газов, при этом пузырьки кислорода поднимаются вверх в зону активного ила или биопленки с микроорганизмами, а пузырьки водорода - вместе с очищенной водой уходят вниз под электродную систему в отстойники второй очереди.



Для селективного разделения пузырьков кислорода, образующихся на аноде и водорода, образующихся на катоде, их устанавливают в нижней части аппарата (рис. 1), причем анод над катодом с зазором  $\delta$ .

Рис. 1. Схема ЭБФ для очистки сточных вод: 1 – корпус; 2 – патрубок с распределителем очищаемой жидкости; 3 – патрубок для отвода очищаемой жидкости; 4 – сетка-анод; 5 – сетка катод; 6 – выпрямитель тока; 7 – опорная решетка для насадки; 8 – насадка; 9 – диэлектрический изолитор; 10 – опора; 11 – диэлектрическая прокладка.

Скорость всплывания пузырьков кислорода должна быть больше скорости течения воды, подаваемой сверху на насадку с иммобилизованным активным илом или биопленкой с микроорганизмами, а скорость всплывания пузырьков водорода должна быть меньше скорости течения воды

$$\vartheta_e < u < \vartheta_o \quad (1)$$

Согласно уравнению Стокса, неравенство (1) выполняется, если диаметр пузырьков водорода будет меньше диаметра пузырьков кислорода. Для биологической очистки воды она должна иметь нейтральную или слабощелочную реакции (рН 6,5...8,5).

В данном процессе экспериментально показано, что размеры пузырьков водорода и кислорода в значительной степени зависят от толщины проволоки электродов. Так, если сетка анода выполнена из проволоки диаметром 0,2 мм, то средний размер пузырьков кислорода составляет 61 мкм, а водорода - 23 мкм. При этом самые крупные пузырьки водорода будут иметь величину 46 мкм с фракционной долей 1,5 %, а самые мелкие пузырьки кислорода - 38 мкм с фракционной долей 4 %. Таким образом, принимая действительную скорость очищаемой воды и соответствующую скорость всплывания пузырьков газа диаметром  $d_n=40$  мкм

$$U_w = \frac{g \cdot d_s^2 \cdot \rho}{18\mu} = 9 \cdot 10^{-4} \text{ м/с} ,$$

а фиктивную скорость воды с учетом пористости насадки

$$U_\phi = u \varepsilon_a = 9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,4 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с} ,$$

где  $\varepsilon_a = 0,4$  - порозность насадки.

Получаем, что 96 % образующихся пузырьков кислорода на проволоке анода диаметром 1 мм будут всплывать вверх со средней относительной скоростью, соответствующей среднему диаметру пузырьков кислорода 61 мкм

$$\vartheta_o = 0,545 \cdot 10^6 d_k^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

или со средней абсолютной скоростью

$$u_o = \vartheta_0 - U_w = 1,12 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Применение кислорода вместо воздуха позволяет повысить эффективность использования кислорода с 8...9 % до 90...96 %, т.е. более чем в 10 раз и увеличить окислительную мощность в 5...6 раз.

Из закона Фарадея

$$k = \frac{A}{z \cdot F_a},$$

где A - атомная константа элемента;

z - валентность;

$F_a = 26,8 \text{ А·ч}$  - число Фарадея.

Получаем для кислорода электрохимический эквивалент

$$R_0 = \frac{16}{2 \cdot 26,8} = 0,3 \text{ г/А·ч},$$

тогда объемный электрохимический эквивалент

$$K_0 = \frac{k_0}{\rho_0} \frac{0,3 \cdot 22,4}{32} \cdot 10^{-3} = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{А·ч},$$

где  $\rho_0 = \frac{M}{22,4}$  - плотность электрохимического газа (кислорода при 0 °C и  $p=1,033$  атм.);  $M=32$  - молекулярная масса кислорода, кг/моль.

Окончательно получаем связь между расходом кислорода и током в виде

$$q_0 = K_0 \cdot J = 2,11 \cdot 10^{-4} J, \text{ м}^3/\text{А·ч}.$$

## 2. Алгоритм сравнительных расчетов БФ и ЭБФ

1. По интегральной кинетической кривой БФ (рис. 2, кривая 1) или на ЭВМ по табличным данным этой зависимости определяется необходимое время пребывания очищаемой воды  $t_w$  в насадке.
2. По интегральной кинетической кривой ЭБФ (рис. 2, кривая 2) или на ЭВМ по

табличным данным этой зависимости определяется БПК очищаемой воды на выходе их электробиофильтра.

3. По формуле (2) Стокса определяются скорости всплыивания пузырьков воздуха и кислорода.
4. Определяются действительная и фиктивная скорости очищаемой воды в насадке и в свободном сечении аппарата

$$U_w = \frac{H}{t_w}, \quad U_\phi = U_w \cdot \varepsilon_0.$$

5. Определяется площадь сечения обоих аппаратов по уравнению неразрывности

$$S = \frac{q_v}{3600 \cdot U_\phi}.$$

6. Определяется необходимый расход воздуха в БФ

$$q_b = \frac{q_\theta (L_h - L_k) \left( \frac{22,4}{M_0} \right) \left( \frac{273 + t_e}{273} \right)}{1000 \cdot \beta \cdot K_b}.$$

7. Определяется необходимый расход кислорода в ЭБФ

$$q_0 = \frac{q_\theta (L_h - L_{ko}) \left( \frac{22,4}{M_0} \right) \left( \frac{273 + t_e}{273} \right)}{1000 \cdot K_0}.$$

8. Определяется общий ток электролиза

$$J_0 = \frac{q_0}{K_\theta}.$$

9. Определяется плотность тока на горизонтальных сетках-электродах

$$j_0 = \frac{J_0}{S}.$$

10. Стоимость электрической энергии, затрачиваемой при электролизе на очистку 1 м<sup>3</sup> воды,

$$c = \frac{c_3 \cdot U \cdot J_0}{1000 \cdot q_\theta}.$$

11. Длина и ширина аппарата (БФ и ЭБФ) определяется как:

$$b = \sqrt{S}$$

12. Длина и ширина электродного модуля с учетом монтажного зазора

$$L = 0,9 \cdot b.$$

13. Площадь вертикальных сеток-электродов

$$F = \frac{J_0}{i_p}.$$

14. Общее число вертикальных сеток-электродов

$$n_s = \frac{1000 \cdot L}{\delta}.$$

15. Высота вертикальных сеток-электродов (пластин-анодов)

$$h_s = \frac{2 \cdot F}{(L \cdot n_s)},$$

$$n_a = \frac{n_s}{2}.$$

где число анодов

16. Скорость подъема пузырьков воздуха и кислорода в стекающей вниз по насадке воде определяется в виде

$$u = \vartheta - U_w.$$

17. Время подъема пузырьков воздуха и кислорода по насадке в биофильтре и электробиофильтре

$$t = \frac{H}{u}.$$

18. Степень очистки по ВПК в БФ и ЭБФ

$$\chi_b = 1 - \frac{L_k}{L_n}, \quad \chi_0 = 1 - \frac{L_{ko}}{L_n}.$$

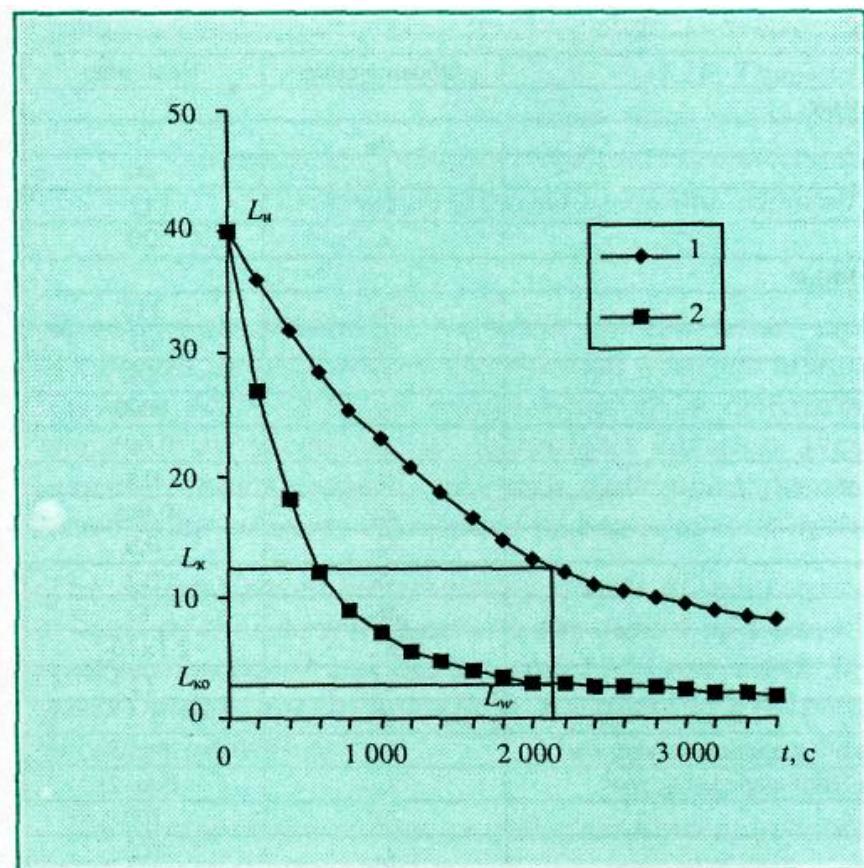


Рис. 2. Интегральные кинетические кривые зависимости БПК сточных вод от времени: 1 – для обычного БФ при расходе воздуха  $\beta_b=1,15 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ; 2 – для ЭБФ при удельном расходе кислорода  $\beta_0=0,0288 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Исходные и справочные данные и расчетные параметры систематизированы в таблице.

# Идентификаторы для сравнительного расчета БФ и ЭБФ

Параметр	Обозначение	Величина
<b>Исходные данные</b>		
Производительность по очищаемой воде, м <sup>3</sup> /ч	$q_b$	5
БПК очищаемой воды, подаваемой на очистку, г/м <sup>3</sup>	$L_{\text{п}}$	40
БПК воды после очистки в биофильтре (БФ), г/м <sup>3</sup>	$L_{\text{к}}$	12
Температура очищаемой воды, °С	$t_e$	20
<b>Справочные данные</b>		
Средний диаметр пузырьков воздуха в БФ, мк	$d_b$	113
Средний диаметр пузырьков кислорода в ЭБФ, мк	$d_o$	61
Высота насадки в БФ / (ЭБФ), м	$H$	2/2
Плотность очищаемой воды, кг/м <sup>3</sup>	$\rho$	1000
Динамическая вязкость очищаемой воды, Па·с	$\mu$	0,001
Порозность насадки, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\varepsilon_0$	0,4
Коэффициент использования О <sub>2</sub> воздуха в БФ, доли	$K_b$	0,085
Коэффициент использования кислорода в ЭБФ, доли	$K_o$	0,9
Объемная доля кислорода в воздухе, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	$\beta$	0,2
Молекулярный вес кислорода, кг/кмоль	$M_o$	32
Электрохимический коэффициент кислорода при электролизе воды, м <sup>3</sup> /(А·ч)	$K_b$	2,1×10 <sup>-4</sup>
Напряжение в промышленном ЭБФ, В	$U$	12
Стоимость 1 кВт·час электроэнергии, руб./кВт·ч	$c$	1,3
Интегральная зависимость БПК от времени обработки очищаемой жидкости в БФ в среде воздуха, г/м <sup>3</sup>	$L_b$	Рис. 2
Интегральная зависимость БПК от времени обработки очищаемой жидкости в ЭБФ в среде О <sub>2</sub> , г/м <sup>3</sup>	$L_o$	Рис. 2
Интервал разбиения по времени интегральных зависимостей БПК от времени, с	$\Delta t$	200
Рекомендуемая плотность тока, А/м <sup>2</sup>	$i_p$	100
Число точек разбиения по времени интегральных зависимостей БПК от времени	$n$	15
Рекомендуемый зазор между вертикально установленными электродами, обеспечивающими необходимую плотность тока и напряжение, м	$\delta$	10
<b>Расчетные параметры</b>		
Среднее время пребывания очищаемой воды в насадке с активным илом или биопленкой в БФ/ЭБФ, с	$t_w$	2 218 / 2 218
БПК очищаемой воды на выходе из ЭБФ, г/м <sup>3</sup>	$L_{\text{ко}}$	2,48
Скорость всплыивания пузырьков воздуха в неподвижной воде, м/с	$v_b$	6,96×10 <sup>-2</sup>
Скорость всплыивания пузырьков кислорода в неподвижной воде, м/с	$v_o$	2,03×10 <sup>-2</sup>
Средняя скорость очищаемой воды, стекающей вниз по насадке, м/с	$u_w$	9×10 <sup>-4</sup>
Фиктивная скорость стекания очищаемой воды (в свободном сечении аппарата), м/с	$u_{\Phi}$	3,6×10 <sup>-4</sup>
Площадь сечения БФ/ЭБФ, м <sup>2</sup>	$S$	3,85/3,85
Расход воздуха в БФ, м <sup>3</sup> /ч	$q_b$	6,19
Расход кислорода в ЭБФ, м <sup>3</sup> /ч	$q_o$	0,156
Ток, необходимый для обеспечения электролиза воды с образованием рассчитанного расхода О <sub>2</sub> , А	$J_o$	745,7
Плотность тока на горизонтальных сетчатых электродах, установленных в нижней части ЭБФ, А/м	$j_o$	193,6
Ширина и длина БФ и ЭБФ, м	$B$	1,96
Стоимость электроэнергии, затрачиваемой на 1 м <sup>3</sup> очищаемой воды, руб./м <sup>3</sup>	$c$	2,33
Длина вертикальных электродов в модуле, обеспечивающих рекомендуемую плотность тока, м	$l$	1,76
Необходимая площадь поверхности сеток анода, обеспечивающих рекомендуемую плотность тока, м <sup>2</sup>	$F$	7,45
Высота вертикальных сеток анода и катода, обеспечивающих рекомендуемую плотность тока, м	$h_o$	0,048
Общее число сеток анода и катода, обеспечивающих заданную плотность тока в ЭБФ	$n_o$	176
Скорость подъема пузырьков воздуха в стекающей вниз по насадке очищаемой воде, м/с	$u_b$	6,05×10 <sup>-3</sup>
Скорость подъема пузырьков кислорода в стекающей вниз по насадке очищаемой воде, м/с	$u_o$	1,12×10 <sup>-3</sup>
Время подъема пузырьков воздуха по насадке в биофильтре, с	$t_b$	330
Время подъема пузырьков кислорода по насадке в ЭБФ, с	$t_o$	1 775
Степень очистки по БПК в биофильтре	$\chi_b$	0,7
Степень очистки по БПК в ЭБФ	$\chi_o$	0,938

## 2.11 Лабораторная работа №11 Физико – химические методы и средства очистки сточных вод.

**Цель занятия:** Освоить физические и химические методы очистки сточных вод от растворенных и взвешенных примесей.

Для очистки сточных вод существуют два способа: отделение содержащихся в воде вредных примесей или их разложение; все остальные – это лишь разновидности этих двух принципиальных методов.

Отделяют примеси, в основном, с помощью фильтров, а разлагают разнообразными физическими, химическими и биологическими способами.

К физическим методам относятся: отстаивание, фильтрование, дистилляция, вымораживание.

К химическим – окисление, нейтрализация, осаждение, комплексообразование, адсорбция, коагуляция, экстракция и т.д.

К биологическим – аэробные процессы очистки (осуществляются в аэротенках, биологических фильтрах, биологических прудах, полях орошения и фильтрации), анаэробные процессы очистки (осуществляются в метан - септикенках, двухярусных отстойниках).

Выбор рационального процесса очистки воды задается ГОСТом или СНиПом в зависимости от состава природной или сточной воды, фазово-дисперсного состояния примесей и назначения воды (питьевая, хозяйствственно-бытовая, технологическая -питание котлов ТЭЦ, АЭС, охлаждающая вода и т.д.).

Классификация примесей воды по фазово-дисперсному состоянию (таблица 9), созданная академиком Л.А.Кульским, позволяет с единых позиций оценивать технологические процессы очистки воды, обеспечивать эффективную очистку в соответствии с современными требованиями к качеству воды.

Таблица 9

Классификация примесей воды  
по фазово-дисперсному состоянию и процессы, используемые для удаления примесей  
(сокращенный вариант)

С И С Т Е М А			
1	2	3	4
Гетерогенная		Гомогенная	

Взвеси (сусpenзии и эмульсии, обусловливающие мутность воды, а также микроорганизмы-планктон);	Коллоидные растворы и высокомолекулярные соединения, обусловливающие окисляемость и цветность воды, а также вирусы;	Молекулярные растворы (газы, растворимые в воде органические вещества, придающие ей запахи и привкусы);	Ионные растворы (соли, кислоты, основания, придающие воде минерализованность, кислотность или щелочность);
--	---	---	--

### Группа (размер частиц)

I	II	III	IV
$(10^{-2} - 10^{-4}$ см)	$(10^{-5} - 10^{-6}$ см)	$(10^{-6} - 10^{-7}$ см)	$(10^{-7} - 10^{-8}$ см)
Механическое безреагентное разделение;	Диализ; ультрафильтрация;	Аэрирование;	Гиперфильтрация;
Окисление хлором, озоном и др.;	Окисление хлором, озоном и пр.;	Окисление хлором, оксидом хлора(IV) озоном, KMnO <sub>4</sub> ;	Перевод ионов в малодиссоциированные соединения;
Адгезия на зернистых и на высокодисперсных материалах;	Адсорбция на гидроксидах алюминия и железа;	Адсорбция на активированном угле и др. материалах	Фиксация ионов на твердой фазе ионитов;
Флотация сусpenзий и эмульсий;	Коагуляция коллоидных систем;	Экстракция органическими растворителями;	Перевод ионов в малорастворимые соединения;
Бактерицидное воздействие.	Электрофорез.	Биохимическое разложение.	Выделение ионов металлов микроорганизмами.

Из таблицы 9 видно, что используя один метод, например, окисление хлором или адсорбцию, можно удалить из воды примеси нескольких групп.

## 5.2. Экспериментальная часть

**Задачи:** В пробе сточной воды N 1 удалить примеси 1 группы, используя механическое безреагентное разделение, осуществляющееся отстаиванием, фильтрованием, а также центрифугированием. Центрифугирование применяется для удаления низко- и высокодисперсных примесей. Для этого используются непрерывно действующие центрифуги, гидроциклоны. Степень очистки при этом методе составляет 80-90 %. Для

фильтрования используют сетки и ткани, бумагу, песок, керамзит, антрацит, пенополиуретан, пенополистирол и другие материалы.

### Опыт 1. Центрифугирование

В пробе сточной воды N 1 измерить мутность воды на ФЭК до и после 10-ти минутного центрифугирования. Сделать вывод о степени очистки воды с помощью центрифуги.

### Опыт 2. Фильтрование

В пробе воды N 1 измерить мутность воды до и после фильтрования через складчатый бумажный фильтр. Определить степень очистки воды, сравнить результаты с предыдущим методом очистки.

Результаты опытов представить в виде таблицы 10.

Таблица 10

#### Результаты исследования

N пробы	Центрифугирование		Фильтрование	
	Мутность, мг/л		Мутность, мг/л	
	до	после	до	после
1				

Удалить из воды примеси II группы, применяя химический метод коагулирования, основанный на введении в систему электролита. При этом происходит процесс укрупнения коаллоидных частиц, уменьшается степень дисперсности диспергированного вещества, т.е. коллоидные растворы разрушаются (коагулируют).

Вещество, коагулирующее дисперсную фазу коллоидной системы, называется коагулянтом. В практике водоподготовки в качестве коагулянта применяется, в основном, сульфат алюминия  $Al_2(SO_4)_3$ . Дозу коагулянта определяют по формуле:  $D_k = 3,5 \sqrt{M}$ , где  $M$ -мутность воды.

### Опыт 3. Коагуляция

В пробе сточной воды N 1 определить мутность на фотоэлектроколориметре и рассчитать дозу коагулянта -  $Al_2(SO_4)_3$ .

Так как для коагуляции примесей используется 10%-ный раствор сульфата алюминия, необходимо рассчитать объем  $Al_2(SO_4)_3$ , идущий на осаждение примесей по формуле:

$$V_{Al_2(SO_4)_3} = \frac{D_n \cdot V \cdot H_2O}{10000 \cdot C \cdot p} (л),$$

где  $\rho = 1,058$  мг/л - плотность 10%-го раствора  $Al_2(SO_4)_3$ ;  $V H_2O = 0,05$  л - объем сточной воды;  $C=10\%$  - концентрация коагулянта.

Внести пипеткой рассчитанный объем  $Al_2(SO_4)_3$  в 50 мл сточных вод, определив предварительно объем 1-й капли. (Для этого накапать пипеткой в цилиндр 1 мл раствора и по количеству капель рассчитать объем одной капли).

Через 10-15 минут наблюдать коагуляцию примесей. Профильтровав воду через бумажный фильтр, измерить мутность очищенной воды (мл) и определить степень очистки воды данным методом:

$$\Pi = \frac{M - M_1}{M} \cdot 100\% ,$$

где  $M$  - мутность исходной воды;  $M_1$  - мутность после коагуляции.

Результаты опыта представить в виде табл. 11.

Таблица 11

Результаты коагуляционной обработки воды

N про- бы	Коа- гулянт (хим. ф-ла)	Дк, мг/л	V $Al_2(SO_4)_3$ л	V <sub>капли</sub> мл	Кол-во капель $Al_2(SO_4)_3$	Время хлопьеобразо- вания, мин.	Мутность,мг/л	
							исходной воды	после коагуляции

### Методы очистки сточных вод (II часть)

#### Опыт 1. Адсорбция

Удалить из воды примеси III группы, учитывая, что при относительно высоком содержании в производственных сточных водах растворенных органических веществ, представляющих техническую ценность, например, фенолов и жирных кислот,

эффективным методом очистки является экстракция органическими растворителями - экстрагентами. Экстракционный метод очистки производственных сточных вод основан на распределении

загрязняющего вещества в смеси 2-х взаимонерастворимых жидкостей соответственно его растворимости в них.

Для удаления из сточной воды газов, ароматических органических веществ, например, красителей, использовали адсорбцию активированным углем и силикагелем.

В две пробирки налить раствор красителя (проба N 2). В одну поместить гранулы активированного угля (4-5 штук) и встряхивать 5-7 минут. Раствор отфильтровать от взвеси угля и сравнить его окраску с окраской исходного раствора в первой пробирке.

Сделать вывод об адсорбционной способности активированного угля.

## **Опыт2. Фильтрование через нейтрализующие материалы.**

Удалить из воды примеси 1У группы, принимая во внимание, что для удаления из воды ионов растворенных веществ используют методы осаждения, нейтрализации, перевод ионов в малодиссоциированные соединения, ионный обмен, окисление и др.

Гетерогенный ионный обмен - это процесс обмена между ионами, находящимися в растворе и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы - ионитами. При этом из воды извлекаются и утилизируются ценные примеси: соединения мышьяка, фосфора, а также хром, цинк, свинец, ртуть и т.д., ПАВ, радиоактивные вещества.

Большинство производственных сточных вод содержат щелочи и кислоты. С целью предупреждения коррозии очистных сооружений, трубопроводов, биохимических процессов в биологических окислителях и водоемах эти воды подвергают нейтрализации.

В сточной воде (V=50 мл) N 3 измерить pH на иономере до и после пропускания через колонку с загрузкой известняком (мелом, известью) (отфильтровать).

Измерить pH воды после 2-х кратного пропускания ее через колонку.

Результаты опыта представить в виде таблицы 12.

Таблица 12

Результаты исследований

№ пробы	Метод очистки	Загрузка	рН сточной воды		
			Исходный	После фильтрования	
			1 - го	2 - го	

### Опыт 3. Образование малорастворимых соединений

Ионы тяжелых и цветных металлов удаляют введением NaOH или CaO, что приводит к осаждению малорастворимых гидроксидов.

В 2-е пробирки налить 2 мл исследуемой воды, содержащей ионы Fe(Ш). В одну из них добавить 1-2 капли KNCS (реактив на ионы Fe(Ш)). Наблюдать характерное окрашивание. Написать уравнение реакции. В другую пробирку добавить микрошпатель CaO и встряхивать 1-1,5 мин. После центрифугирования, добавить в жидкую фазу KNCS, сравнить с окраской в пробирке 1. Сделать вывод о возможности очистки воды от тяжелых металлов данным методом.

### Контрольные вопросы

1. Чем определяется выбор рационального процесса очистки воды?
2. Перечислите методы безреагентного разделения примесей 1 группы.
3. Какие примеси воды можно удалить методом коагуляции, в чем суть этого метода?
4. Какие вещества называются экстрагентами, для чего их используют в процессах водоподготовки?
5. Что такое "иониты", какова область их применения?
6. Назвать все возможные способы нейтрализации щелочных сточных вод.
7. Как удалить из воды ионы тяжелых металлов?

## 2.12 Лабораторная работа №12 Очистка сточных вод в естественных и искусственных условиях.

Цель занятия: Освоить физические и химические методы очистки сточных вод от растворенных и взвешенных примесей.

Для очистки сточных вод существуют два способа: отделение содержащихся в воде вредных примесей или их разложение; все остальные - это лишь разновидности этих двух принципиальных методов.

Отделяют примеси, в основном, с помощью фильтров, а разлагают разнообразными физическими, химическими и биологическими способами.

К физическим методам относятся: отстаивание, фильтрование, дистилляция, вымораживание.

К химическим - окисление, нейтрализация, осаждение, комплексообразование, адсорбция, коагуляция, экстракция и т.д.

К биологическим - аэробные процессы очистки (осуществляются в аэротенках, биологических фильтрах, биологических прудах, полях орошения и фильтрации), анаэробные процессы очистки (осуществляются в метан - септикенках, двухярусных отстойниках).

Выбор рационального процесса очистки воды задается ГОСТом или СНиПом в зависимости от состава природной или сточной воды, фазово-дисперсного состояния примесей и назначения воды (питьевая, хозяйствственно-бытовая, технологическая - питание котлов ТЭЦ, АЭС, охлаждающая вода и т.д.).

Классификация примесей воды по фазово-дисперсному состоянию (таблица 9), созданная академиком Л.А.Кульским, позволяет с единых позиций оценивать технологические процессы очистки воды, обеспечивать эффективную очистку в соответствии с современными требованиями к качеству воды.

Таблица 9

Классификация примесей воды

по фазово-дисперсному состоянию и процессы, используемые для удаления примесей (сокращенный вариант)

СИСТЕМА			
1	2	3	4
Гетерогенная		Гомогенная	
Взвеси (сусpenзии и эмульсии, обусловливающие мутность воды, а также микроорганизмы-планктон);	Коллоидные растворы и высокомолекулярные соединения, обусловливающие окисляемость и цветность воды, а также вирусы;	Молекулярные растворы (газы, растворимые в воде органические вещества, придающие ей запахи и привкусы);	Ионные растворы (соли, кислоты, основания, придающие воде минерализованность, кислотность или щелочность);
Группа (размер частиц)			
I	II	III	IV

$(10^{-2} - 10^{-4}$ см)	$(10^{-5} - 10^{-6}$ см)	$(10^{-6} - 10^{-7}$ см)	$(10^{-7} - 10^{-8}$ см)
Механическое безреагентное разделение;	Диализ; ультрафильтрация;	Аэрирование;	Гиперфильтрация;
Окисление хлором, озоном и др.;	Окисление хлором, озоном и пр.;	Окисление хлором, оксидом хлора(IV) озоном, KMnO <sub>4</sub> ;	Перевод ионов в малодиссоциированные соединения;
Адгезия зернистых и высокодисперсных материалах;	Адсорбция на гидроксидах алюминия и железа;	Адсорбция на активированном угле и др. материалах	Фиксация ионов на твердой фазе ионитов;
Флотация суспензий и эмульсий;	Коагуляция коллоидных систем;	Экстракция органическими растворителями;	Перевод ионов в малорастворимые соединения;
Бактерицидное воздействие.	Электрофорез.	Биохимическое разложение.	Выделение ионов металлов микроорганизмами.

Из таблицы 9 видно, что используя один метод, например, окисление хлором или адсорбцию, можно удалить из воды примеси нескольких групп.

## 5.2. Экспериментальная часть

**Задачи:** В пробе сточной воды N 1 удалить примеси 1 группы, используя механическое безреагентное разделение, осуществляющееся отстаиванием, фильтрованием, а также центрифугированием. Центрифугирование применяется для удаления низко- и высокодисперсных примесей. Для этого используются непрерывно действующие центрифуги, гидроциклоны. Степень очистки при этом методе составляет 80-90 %. Для фильтрования используют сетки и ткани, бумагу, песок, керамзит, антрацит, пенополиуретан, пенополистирол и другие материалы.

### Опыт 1. Центрифугирование

В пробе сточной воды N 1 измерить мутность воды на ФЭК до и после 10-ти минутного центрифугирования. Сделать вывод о степени очистки воды с помощью центрифуги.

## Опыт 2. Фильтрование

В пробе воды N 1 измерить мутность воды до и после фильтрования через складчатый бумажный фильтр. Определить степень очистки воды, сравнить результаты с предыдущим методом очистки.

Результаты опытов представить в виде таблицы 10.

Таблица 10

Результаты исследования

N пробы	Центрифугирование		Фильтрование	
	Мутность, мг/л		Мутность, мг/л	
	до	после	до	после
1				

Удалить из воды примеси П группы, применяя химический метод коагулирования, основанный на введении в систему электролита. При этом происходит процесс укрупнения коаллоидных частиц, уменьшается степень дисперсности диспергированного вещества, т.е. коллоидные растворы разрушаются (коагулируют).

Вещество, коагулирующее дисперсную фазу коллоидной системы, называется коагулянтом. В практике водоподготовки в качестве коагулянта применяется, в основном, сульфат алюминия  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Дозу коагулянта определяют по формуле:  $\text{Дк} = 3,5 \sqrt{M}$ , где  $M$ -мутность воды.

## Методы очистки сточных вод (П часть)

### Опыт 1. Адсорбция

Удалить из воды примеси Ш группы, учитывая, что при относительно высоком содержании в производственных сточных водах растворенных органических веществ, представляющих техническую ценность, например, фенолов и жирных кислот, эффективным методом очистки является экстракция органическими растворителями - экстрагентами. Экстракционный метод очистки производственных сточных вод основан на распределении

загрязняющего вещества в смеси 2-х взаимонерастворимых жидкостей соответственно его растворимости в них.

Для удаления из сточной воды газов, ароматических органических веществ, например, красителей, использовали адсорбцию активированным углем и силикагелем.

В две пробирки налить раствор красителя (проба N 2). В одну поместить гранулы активированного угля (4-5 штук) и встряхивать 5-7 минут. Раствор отфильтровать от взвеси угля и сравнить его окраску с окраской исходного раствора в первой пробирке.

Сделать вывод об адсорбционной способности активированного угля.

### Опыт 2. Фильтрование через нейтрализующие материалы.

Удалить из воды примеси 1У группы, принимая во внимание, что для удаления из воды ионов растворенных веществ используют методы осаждения, нейтрализации, перевод ионов в малодиссоциированные соединения, ионный обмен, окисление и др.

Гетерогенный ионный обмен - это процесс обмена между ионами, находящимися в растворе и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы - ионитами. При этом из воды извлекаются и утилизируются ценные примеси: соединения мышьяка, фосфора, а также хром, цинк, свинец, ртуть и т.д., ПАВ, радиоактивные вещества.

Большинство производственных сточных вод содержат щелочи и кислоты. С целью предупреждения коррозии очистных сооружений, трубопроводов, биохимических процессов в биологических окислителях и водоемах эти воды подвергают нейтрализации.

В сточной воде ( $V=50$  мл) N 3 измерить pH на иономере до и после пропускания через колонку с загрузкой известняком (мелом, известью) (отфильтровать).

Измерить pH воды после 2-х кратного пропускания ее через колонку.

Результаты опыта представить в виде таблицы 12.

Таблица 12

### Результаты исследований

N пробы	Метод очистки	Загрузка	pH сточной воды		
			Исходный	После фильтрования	
				1 - го	2 - го

Опыт 3. Образование малорастворимых соединений

Ионы тяжелых и цветных металлов удаляют введением NaOH или CaO, что приводит к осаждению малорастворимых гидроксидов.

В 2-е пробирки налить 2 мл исследуемой воды, содержащей ионы Fe(III). В одну из них добавить 1-2 капли KNCS (реактив на ионы Fe(III)). Наблюдать характерное окрашивание. Написать уравнение реакции. В другую пробирку добавить микрошпатель CaO и встряхивать 1-1,5 мин. После центрифугирования, добавить в жидкую фазу KNCS,

сравнить с окраской в пробирке 1. Сделать вывод о возможности очистки воды от тяжелых металлов данным методом.

#### Контрольные вопросы

1. Чем определяется выбор рационального процесса очистки воды?
2. Перечислите методы безреагентного разделения примесей 1 группы.
3. Какие примеси воды можно удалить методом коагуляции, в чем суть этого метода?
4. Какие вещества называются экстрагентами, для чего их используют в процессах водоподготовки?
5. Что такое "иониты", какова область их применения?
6. Назвать все возможные способы нейтрализации щелочных сточных вод.
7. Как удалить из воды ионы тяжелых металлов?

### 2.13 Лабораторная работа №13 Механическая, химическая, биологическая, анаэробная биохимическая очистка стоков.

Ввиду того, что в сточных водах содержатся сложные смеси твердых и растворенных веществ, их удаление и нейтрализация происходят в несколько этапов. Для этого применяются очистные станции, где в зависимости от специфики загрязнений используют разнообразные методы очистки.

**Основными методами очистки сточных вод, при помощи которых идет удаление загрязнений и вредных веществ, считаются: механические, химические, биохимические и биологические.**

Каждое из перечисленных очистных мероприятий включает в себя множество различных этапов, в ходе которых применяется специальное оборудования и химические реагенты.

#### Химические методы очистки сточных вод

**Химическая очистка включает в себя процессы нейтрализации, окисления и восстановления.**

Для очищения сточных вод от различных кислот и щелочей применяют метод нейтрализации. Этот процесс может иметь несколько типов очистки.

Самыми распространенными считаются методы смешивания кислотных и щелочных стоков, фильтрование кислых вод с использованием нейтрализующих материалов, различных реагентов и т. д.



В большинстве случаев нейтрализации подвергают кислотные и щелочные сточные воды производственных предприятий, которые нельзя без предварительной обработки сливать в канализационную магистраль.

**Важно!** В процессе нейтрализации кислот в сточных водах применяют известняк, мел, соду, едкий натр, а также щелочные отходы. Для этого на многих предприятиях устанавливаются специальные механизмы и фильтры.

Фото: процесс нейтрализации кислот в сточных водах

Метод окисления подходит в случае, когда все другие способы очистки не приводят кциальному результату. Используют хлорную известь  $\text{CaC1(C1O)}$ , гипохлорит кальция  $(\text{Ca}(\text{ClO})_2)$  и натрия  $(\text{NaOCl})$ , перманганат калия  $(\text{KMnO}_4)$ , бихромат калия  $(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ , кислород и др.

Если в сточных водах присутствуют легко восстанавливаемые вещества, применяют очистку восстановлением: из стоков удаляются соединения мышьяка, ртути, хрома.

Для этого используются сульфат железа, водород, гидросульфит натрия, диоксид серы и другие химические элементы.

Биохимические ↑

**Биохимическая очистка (окисление) применяется как для промышленных стоков, так и для сточных вод бытового характера.**

Этот метод хорошо подходит для удаления из стоков растворенных органических и неорганических соединений. Для такого способа окисления сооружаются специальные очистные сооружения.

**Аэробные – включают в себя биологические пруды, поля фильтрации и орошения.**

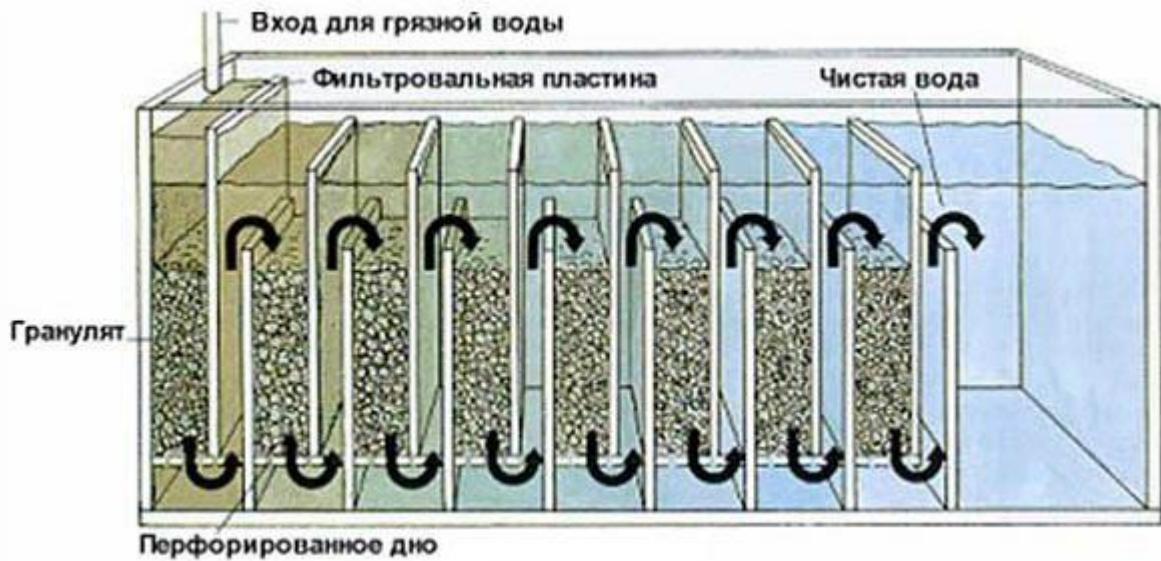


**Анаэробные – в состав таких сооружений входят различные септики, отстойники, устройства для анаэробного брожения – метантенки.**



**Биофильтры – сооружения, в которых стоки проходят через фильтрующие элементы, состоящие из гравия, шлака, керамзита и других материалов.**

Пленка, покрывающая весь загрузочный материал, состоит из колоний микроорганизмов, окисляющих органические вещества.



Аэрофильтры и аэротенки. В отличие от биологического аналога, аэрофильтр может иметь фильтрующий слой до 4-х метров и имеет в своей конструкции устройство подачи воздуха, что позволяет в несколько раз повысить окислительный процесс.



В аэротенках процесс окисления веществ органического происхождения происходит в среде активного ила, который образуют колонии микроорганизмов.

#### Биологические

**Метод заключается в разрушении опасных соединений в сливных стоках при помощи микроорганизмов, которые перерабатывают загрязнения в безвредные вещества.**

При этом образуется активный ил, в котором есть все условия для поддержания жизнедеятельности бактерий. Стоит отметить, что при данном методе достигается наиболее эффективный и высокий уровень очистки.

В биологическом методе применяют аэробный и анаэробный процессы, принцип которых основан на соединении различных микроорганизмов.

В случаях, когда сточные воды имеют органическую составляющую, очень часто применяется метод биологического окисления. Для этого процесса строят специальные аэротенки.

Важно! В этих сооружениях используется большое количество активного ила, а в некоторых модификациях – кислород. В связи с тем, что аэротенки способны очистить сточные воды до 98%, нет необходимости в дополнительных мероприятиях.

Очищенная вода может прямо из этого сооружения поступать на полив и другие хозяйствственные нужды.

Принцип работы аэротенка заключается в смешивании активного ила и сточной жидкости в специальных резервуарах. Для более активного процесса смешивания (аэрации) применяются различные приспособления или сжатый воздух.



**Для биологической очистки стоков существуют специально созданные пруды и поля фильтрации, где под воздействием все тех же микроорганизмов и протекает процесс очищения.**

Но минусом таких сооружений является сезонный принцип работы, опасность попадания загрязнений в грунтовые воды и, конечно же, необходимость в больших земельных площадях.

#### Физико-химические методы очистки

**Физико-химические методы играют важную роль в процессе очистки сточных вод производственных предприятий. С каждым годом область применения данных способов расширяется.**

Все процессы могут производиться как самостоятельно, так и в совокупности с другими методами очистки – химическими, биологическими и механическими.

Самые распространенные методы физико-химической очистки – это коагуляция, ионный обмен, флотация, экстракция, выпаривание, обратный осмос и др.

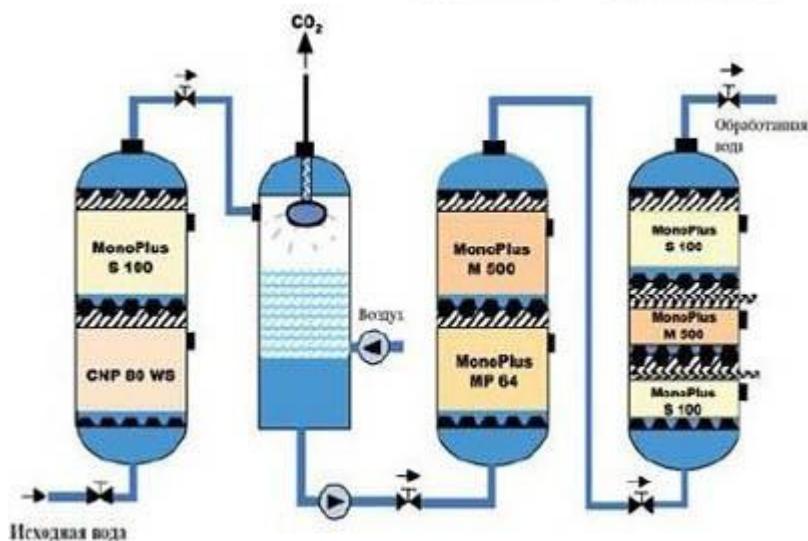
1 – емкость; 2 – дозатор; 3 – смеситель; 4 – КХО; 5 — отстойник

Для процесса очистки методами коагуляции подготавливают специальные растворы, содержащие коагулянты и флокулянты.

Водный раствор, полученный в ходе этого смещивания, добавляют в обрабатываемую сточную воду определенными дозами. В ходе химической реакции образуются хлопья, которые удаляются механическим путем.

Суть ионообменного метода заключается в отборе из раствора электролита ионов в обмен на аналогичное количество ионов ионита.

В качестве «забирающей» стороны выступают ионообменные материалы. Сам обменный процесс является обратимым и в основном применяется для смягчения воды.



Метод флотации применяют для очищения стоков, в составе которых присутствуют примеси нефтепродуктов.

Суть метода основана на способности прилипания частиц к воздушным пузырькам, которые подаются непосредственно в сточную воду.



В результате происходит образование поверхностного слоя пены. Если же частицы не имеют свойств прилипания к пузырькам воздуха или же эта способность слишком мала, в процесс флотации включают реагенты, повышающие их гидрофобность – несмачиваемость водой.

В дальнейшем слой пены удаляют методом поднятия уровня воды: пена отводится через специальные лотки, либо механическим путем – скребки (пеногоны) отводят пену к тем же лоткам.

Метод флотации имеет несколько видов: механическую, пневматическую, пенную, напорную, биологическую и др.

#### Механические и физические методы

Механические методы очистки применяются для удаления из сточных вод нерастворенных примесей и крупных плавающих загрязнений.

В большинстве случаев этот способ является предварительным мероприятием, в процессе которого удаляются наиболее крупные и взвешенные вещества. Для механического типа очищения стоков используют процеживание, фильтрование и отстаивание.

Метод процеживания применяется для удаления из стоков крупных и частично взвешенных загрязнений. Для этой процедуры существуют специальные решетки и сита, встраиваемые в канал или резервуар с перерабатываемыми стоками.

**Фильтрование используется для улавливания наиболее мелких частиц в сточной воде. Фильтрами могут быть тканевые материалы (сетки), пористые и мелкозернистые материалы.**

Также для фильтрации применяют барабаны, называемые микропроцеживателями, в которых происходит задержка загрязнений фильтрующей сеткой. Частицы, не

прошедшие фильтрацию, смываются в бункер при помощи специально оборудованных насадок.

Для удаления из стоков минеральных и органических загрязнений существует метод отстаивания. Для этого создают песковки и отстойники различных модификаций – динамические, трубчатые, статические и т. д.



Принцип работы песковок основан на действии силы тяжести и скорости потока. Применение отстойников характерно для больших производственных предприятий и служит для улавливания как оседающих, так и всплывающих загрязнений.



Какой кислотой прочистить канализацию.

Какие бывают ошибки при сварке полипропиленовых труб.

В современном мире, когда экологическая безопасность занимает одно из приоритетных мест, правильно и грамотно организованные мероприятия по очистке сточных вод имеют большое значение.

Применение новейших технологий и методов по удалению загрязнений позволяет достичь максимального эффекта в сфере переработки и утилизации отходов.

## 2.14 Лабораторная работа №14 Расчет выпусков и разбавление сточных вод.

### Лабораторная работа 14

#### 1 Понятие о ПДС

Под предельно допустимым сбросом (ПДС) вещества в водный объект понимается масса вещества в сточных водах максимально допустимая к отведению в данном створе водоема, с целью обеспечения норм качества воды в пунктах водопользования ниже по течению реки. ПДС (г/час) для каждого загрязнителя устанавливается расчетным путем с учетом ПДК веществ в местах водопользования и ассимилирующей способности водного объекта. Методика расчета ПДС содержится в "Методических указаниях по установлению ПДС веществ, поступающих в водные объекты со сточными водами" (№ 13-3-05/190 от 01.02.82 г. Минводхоз СССР).

Проекты ПДС утверждаются местными органами Минводхоза, Минэкологии и согласовываются с центрами санэпиднадзора и органами рыбоохраны. Проекты ПДС содержат также экономическую оценку ущерба от загрязнения водоема и программу водоохранных мероприятий. Программа включает мероприятия по уменьшении; удельного водопотребления, организации повторного использования сточных вод, оборотного и бессточного водоснабжения, извлечению ценных отходов из сточных вод, использованию очищенных сточных вод в технических водопроводах или на земледельческих полях орошения. **Эти мероприятия подробно описаны в рекомендуемых учебных пособиях (2), (3) и (5).**

Полностью запрещается сброс сточных вод в заповедные водные объекты и сточных вод, содержащих вещества, для которых не установлены ПДК или ОБУВ.

ПДС рассчитывают как для отдельных вредных веществ, так и для интегральных показателей загрязнения воды.

Интегральные показатели характеризуют суммарное загрязнение воды группой вредных веществ. К интегральным показателям относят суммарное содержание взвешенных нерастворимых веществ; биохимическое потребление кислорода (БПК<sub>5</sub>) и содержание в воде растворенного кислорода, характеризующие количество легкоокисляемых вредных веществ органического происхождения; pH воды (водородный показатель), характеризующий кислотность и щелочность воды; температуру воды, характеризующую сброс нагретых сточных вод.

Расчет ПДС проводят с учетом фонового загрязнения водоема. Если фоновая концентрация вредного вещества в речной воде выше по течению предполагаемого створа сброса сточных вод выше ПДК сброс сточных вод не разрешается.

ПДК при расчете ПДС выбирают в зависимости от целей водопользования в расчетном створе (ниже по течению реки). ПДК разработаны для трех целей водопользования: хозяйствственно-питьевое (для забора питьевой воды водопроводом),

культурно-бытовое (для купания, спорта и отдыха) и рыбохозяйственное (для ведения промыслового рыбного хозяйства) - таблицы 1 и 2.

ПДС вычисляют в граммах на час (г/час), поскольку расход сточных вод может меняться во времени.

Величина фактического сброса загрязнителей (взвешенные вещества, ВПК<sub>5</sub>, кислотность, вредные вещества) определяется по формуле

$$M = q \cdot C_{cm}, \quad (1)$$

где  $M$  - величина фактического сброса загрязнителя, г/час;

$q$  - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/час;

$C_{cm}$  - концентрация загрязнителя в сточных водах, г/м<sup>3</sup>.

Величина ПДС определяется по формуле

$$ПДС = q \cdot C_o, \quad (2)$$

где  $C_o$  - расчетная допустимая концентрация загрязнителя в сточной воде

после очистки, г/м<sup>3</sup>;

ПДС - величина ПДС загрязнителя, г/час.

Полученные величины  $M$  и  $ПДС$  (в г/час) переводят в тонны в год путем умножения на 24 часа, на 365 дней и деления на 10<sup>6</sup>. Затем вычисляют экономический ущерб от загрязнения водоема и размер ежегодных платежей в региональный экологический фонд. Расчет проводят по единой для всей страны методике, которая приведена в учебном пособии, выпущенном в 1998 году в ОГУ - Будко В.А., Цыцера А.А., Греков И.И., Зинюхин Г.Б. "Основы экологических знаний" в главе "Платежи за загрязнение окружающей среды".

## 2. Нормирование и регулирование сбросов вредных веществ со сточными водами в водные объекты

### **Расчет степени разбавления сточных вод речной водой**

При сбросе сточных вод происходит их разбавление речной водой. Степень разбавления определяется по формуле

$$n = \frac{\gamma \cdot Q + q}{q}, \quad (3)$$

где  $n$  - степень разбавления, характеризующая степень смешения сточных

вод с речной водой до створа ближайшего пункта водопользования;

$\gamma$  – коэффициент смешения (степень перемешивания) сточных вод и

речной воды до створа реки, где находится ближайший пункт

водопользования. Зависит от скорости течения речной воды,

глубины реки, извилистости фарватера и других факторов.

$Q$  - расход речной воды в месте сброса сточных вод (табл. 5),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$q$  - расход сточных вод (табл. 6),  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Таблица 1

Санитарные требования к отдельным показателям качества воды водоемов (ПДК)

Показатели	Категории водопользования	
	Для хозяйствственно-питьевого водоснабжения и пищевых предприятий	Для купания, спорта и отдыха населения (культурно-бытовое)
1. Взвешенные вещества, $\text{мг}/\text{л}$	Не должно увеличиваться больше, чем на:	
	0.25	0.75
2. Температура, градусы $^{\circ}\text{C}$	Вместе сброса нагретых сточных вод не должна повышаться более чем на $3^{\circ}$ по сравнению со среднемесячной температурой речной воды самого жаркого месяца года за последние 10 лет	
3. pH	Не должна выходить за пределы 6.5 - 8.5	
4. Растворимый кислород, $\text{мг}/\text{л}$	Содержание не менее 4 $\text{мг}/\text{л}$ в любой период года в пробе, отобранный до 12 часов дня	

5. Биохимическое потребление кислорода (БПК <sub>5</sub> ), мг/л	не более 3 мг/л	не более 6 мг/л
6. Фенолы, мг/л	0.001	0.001
7. Нитраты, мг/л	10.0	10.0
8. Медь, мг/л	0.1	0.1
9. Свинец, мг/л	0.1	0.1
10. Фтор, мг/л	1.5	1.5
11. Аммонийный азот, мг/л	2.0	2.0
12. Цинк, мг/л	1.0	1.0
13. Нефтепродукты, мг/л	0.1	0.1

Таблица 2

ПДК некоторых вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов

Вещество	ПДК, мг/л
Аммонийный азот	0.1
Фенолы	0.001
Нитраты	10.0
Медь	0.01
Свинец	0.1
Фтор	1.5
Цинк	0.01
Нефтепродукты	0.05

**Расчет необходимой степени очистки и ПДС сточных вод по содержанию взвешенных веществ**

Допустимое содержание взвешенных веществ после механической очистки в отстойниках или фильтрах рассчитывается с учетом степени последующего их разбавления речной водой по формуле

$$C_o^{\text{взб}} = C_e^{\text{взб}} + n \cdot C_{\text{нок}}^{\text{взб}}, \quad (4)$$

где  $C_o^{\text{взб}}$  - расчетное допустимое содержание взвешенных веществ

после очистки сточных вод (перед сбросом в водоем), мг/л;

$n$  - степень разбавления сточных вод речной водой определенная по

формуле (3);

$C_o^{636}$  - содержание взвешенных веществ в речной воде до створа сброса

сточных вод (табл. 5), мг/л;

$C_{ПДК}^{636}$  - предельно-допустимое увеличение содержания взвешенных веществ в речной воде после сброса сточных вод (таблица 1), определяемое по цели использования воды водоема в расчетном створе (таблица 7) мг/л.

Необходимая степень очистки сточных вод от взвешенных веществ рассчитывается, исходя из найденного расчетного допустимого их содержания  $C_o^{636}$  после очистки и перед сбросом в водоем по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{cm}^{636} - C_o^{636}}{C_{cm}^{636}} \cdot 100, \% , \quad (5)$$

где  $\mathcal{E}$  - необходимая степень механической очистки в отстойниках или фильтрах, проценты.

$C_{cm}^{636}$  - содержание взвешенных веществ в сточных водах (табл.6), мг/л.

Программа водоохранных мероприятий включает выбор метода очистки (механический метод в данном случае) и очистных аппаратов, технические характеристики которых могут обеспечить найденную расчетным методом необходимую степень очистки (в процентах) сточных вод от взвешенных веществ (отстойники, гидроциклоны, песчаные фильтры и т.д.).

## Расчет необходимой степени очистки и ПДС сточных вод по содержанию легкоокисляемых вредных веществ органического происхождения

Суммарное содержание в воде легкоокисляемых вредных веществ органического происхождения (белки, аминокислоты, жирные кислоты, углеводы и продукты их распада) оценивается по величине биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>), расходуемого на окисление этих загрязнителей в одном литре воды за 5 суток.

При расчете необходимой степени очистки сточных вод от органических загрязнителей учитывают не только степень их разбавления в речной воде, но и процесс самоочищения речной воды, который заключается в окислении и разрушении органических загрязнителей микробами, водорослями и кислородом речной воды. Чем выше температура речной воды и чем дольше вода течет до створа ближайшего водопользования, тем большее количество органических загрязнителей будет окислено и разрушено.

Допустимое суммарное содержание органических загрязнителей (БПК<sub>5</sub>) после биологической очистки в биологических прудах или биофильтрах, аэротенках, окситенках и перед сбросом в водоем рассчитывается по формуле

$$C_o^{\text{БПК}} = \frac{n-1}{10^{-k \cdot t}} \cdot (C_{\text{ПДК}}^{\text{БПК}} - C_e^{\text{БПК}}) + \frac{C_{\text{ПДК}}^{\text{БПК}}}{10^{-k \cdot t}}, \text{мг/л}, \quad (6)$$

где  $C_o^{\text{БПК}}$  - расчетное допустимое значение БПК<sub>5</sub> после очистки сточных вод,

мг/л;

$C_e^{\text{БПК}}$  - БПК<sub>5</sub> речной воды до створа сброса сточных вод (табл. 5), мг/л;

$C_{\text{ПДК}}^{\text{БПК}}$  - предельно допустимое значение БПК<sub>5</sub> для речной воды (табл. 1),

определенное по категории водопользования (табл. 7), мг/л;

$n$  - степень разбавления сточных вод речной водой, определенная по

формуле (3);

$t$  - время протекания речной воды от места сброса сточных вод до

створа ближайшего водопользования (табл. 6), сутки.

Величина  $10^{-kt}$  в целом определяется по таблицам 3 и 4.

Необходимая степень очистки сточных вод (в процентах) от органических загрязнителей (по величине  $BPK_5$ ) рассчитывается, исходя из найденного расчетного допустимого значения  $C_o^{BPK}$  после очистки по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C_{cm}^{BPK} - C_o^{BPK}}{C_{cm}^{BPK}} \cdot 100, \%, \quad (7)$$

где  $C_{cm}^{BPK}$  - биохимическая потребность кислорода сточных вод (табл. 6),

мг/л.

Метод очистки - биологический. Очистные сооружения и аппараты - биопруды, биофильтры, аэротенки, окситенки.

Таблица 3

Значение К при разных температурах речной воды (характеризует скорость окисления загрязнителей)

$T^{\circ}C$	$K_1$	$T^{\circ}C$	$K_1$	$T^{\circ}C$	$K_1$
0	0.04	15	0.08	24	0.12
5	0.05	18	0.09	26	0.13
9	0.06	20	0.1	28	0.14
12	0.07	22	0.11	29	0.15

Таблица 3.4

Значение величины  $10^{-kt}$  при переменных  $k$  и  $t$

K	Значение величины $10^{-kt}$ при $t$ суток, равных:									
	0.25	0.5	1	1.5	2	2.5	3	4	5	6
0.04	0.98	0.95	0.91	0.87	0.83	0.79	0.75	0.69	0.63	0.57
0.06	0.96	0.93	0.87	0.81	0.76	0.70	0.66	0.57	0.50	0.48
0.08	0.95	0.91	0.83	0.76	0.69	0.63	0.75	0.48	0.40	0.33
0.1	0.94	0.89	0.79	0.70	0.63	0.57	0.60	0.39	0.31	0.25
0.12	0.83	0.87	0.75	0.66	0.57	0.50	0.43	0.33	0.25	0.19
0.14	0.92	0.85	0.72	0.61	0.52	0.44	0.33	0.27	0.20	0.14
0.16	0.91	0.83	0.69	0.57	0.47	0.39	0.33	0.29	0.15	0.11
0.18	0.90	0.81	0.66	0.53	0.43	0.35	0.28	0.19	0.12	0.08
0.2	0.89	0.79	0.63	0.50	0.39	0.31	0.25	0.16	0.10	0.06
0.22	0.88	0.77	0.60	0.47	0.36	0.28	0.21	0.13	0.07	0.04

0.24	0.87	0.75	0.57	0.43	0.33	0.25	0.19	0.11	0.06	0.03
0.26	0.86	0.74	0.55	0.40	0.30	0.22	0.16	0.09	0.05	0.02
0.28	0.85	0.72	0.52	0.38	0.27	0.19	0.14	0.07	0.05	0.02
0.3	0.84	0.70	0.50	0.33	0.25	0.17	0.12	0.06	0.03	0.01
0.4	0.79	0.63	0.39	0.25	0.15	0.10	0.06	0.02	0.01	0.01
0.5	0.75	0.56	0.31	0.17	0.10	0.05	0.03	0.01	0.01	0.01

### Расчет необходимой степени очистки сточных вод от легкоокисляемых органических загрязнителей по кислородному режиму водоема

Допустимое содержание растворенного кислорода в сточных водах после их очистки и перед сбросом в водоем определяется по формуле:

$$C_o^{O_2} = \frac{n-1}{0,4} \cdot (C_e^{C_2} - 0,4 \cdot C_e^{БПК} - C_{ПДК}^{O_2}) - \frac{C_{ПДК}^{O_2}}{0,4}, \text{ мг/л}, \quad (8)$$

где  $C_o^{O_2}$  - расчетное допустимое содержание растворенного кислорода в сточных водах после их очистки, мг/л;

$n$  - степень разбавления;

$C_e^{O_2}$  - содержание растворенного кислорода в речной воде в створе до сброса сточных вод (табл. 5), мг/л;

$C_e^{БПК}$  - биохимическая потребность кислорода речной воды в створе до сброса сточных вод (табл. 5), мг/л;

$C_{ПДК}^{БПК}$  - ПДК растворенного кислорода (табл. 1), мг/л.

Необходимая степень очистки сточных вод (в процентах) от органических загрязнителей по кислородному режиму определяется по формуле:

$$\vartheta = \frac{C_{cm}^{БПК} - C_o^{O_2}}{C_{cm}^{БПК}} \cdot 100, \% , \quad (9)$$

где  $C_{cm}^{БПК}$  - биохимическая потребность кислорода сточных вод (табл. 6),

мг/л.

Метод очистки - биологический. Очистные сооружения и аппараты - биопруды, биофильтры, аэротенки, окситенки.

### **Расчет необходимой степени очистки сточных вод по величине pH**

Допустимую кислотность сточных вод после химической очистки и перед сбросом в водоем находят по формуле

$$C_o^K = (n-1) \cdot C^K, \text{МГ - экв. / л} , \quad (10)$$

где  $C_o^K$  - допустимая кислотность сточных вод после очистки, мг-экв./л;

$n$  - степень разбавления;

$C^K$  - максимальное количество кислоты, которое может быть добавлено к 1 литру речной воды (рисунок 1), мл норм. щелочи.

Для нахождения  $C^K$  по графику на рисунке 1 необходимо знать pH и щелочность речной воды (таблица 5). Значения  $C^K$  указаны по оси ординат справа. Например, при  $pH=6,75$  и щелочности  $B=8$  значение  $C^K=2,0$ .

Необходимую степень очистки сточных вод (в процентах) от кислоты определяют по формуле

$$\mathcal{Z} = \frac{C_{cm}^K - C_o^K}{C_{cm}^K} \cdot 100, \% , \quad (11)$$

где  $C_{cm}^K$  - кислотность сточных вод (табл. 6), мг-экв./л.

Метод очистки - химический (реакция нейтрализации раствором щелочи). Очистные сооружения - смесители, реакторы, отстойники.

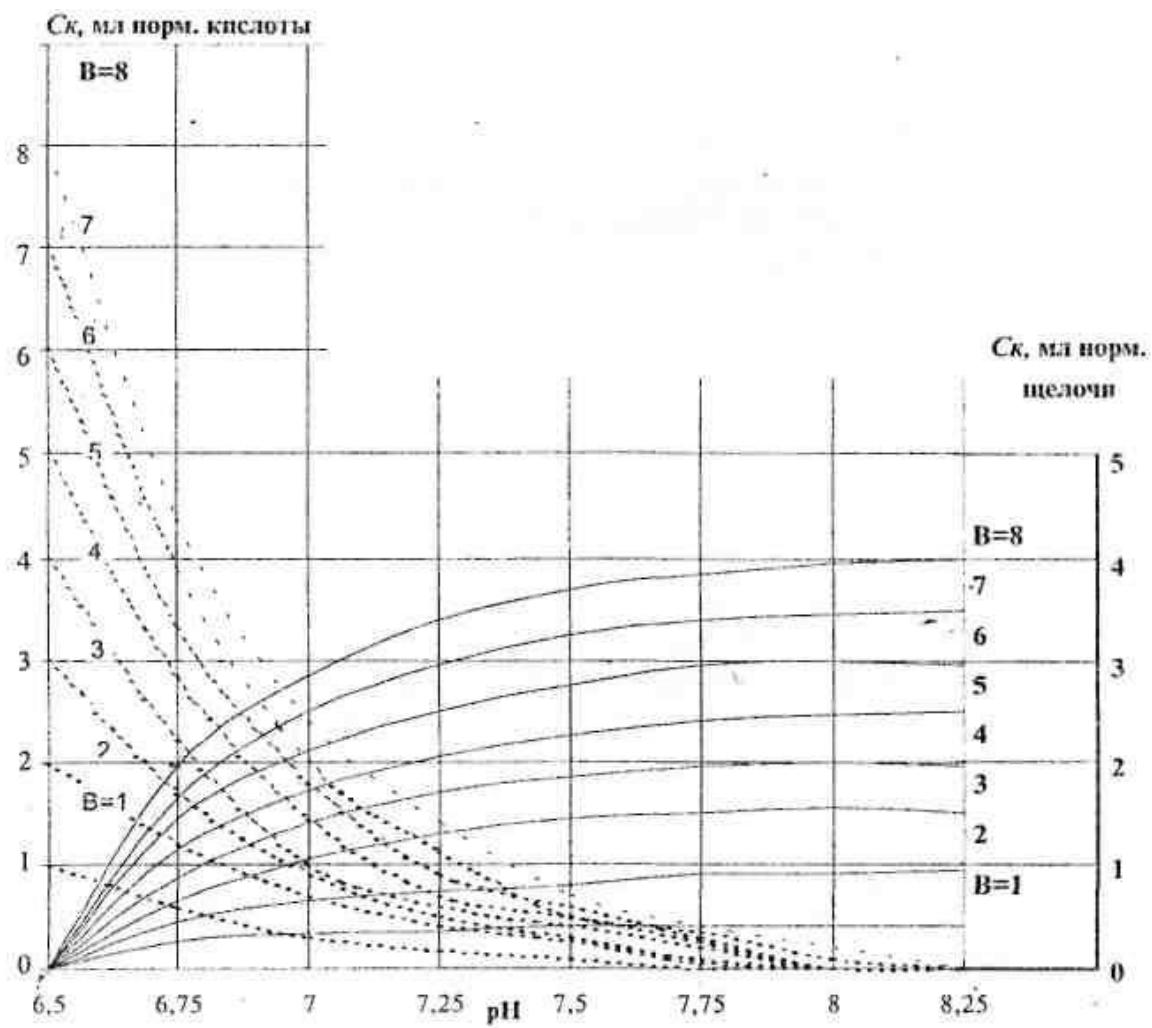


Рисунок 1 Данные для расчета необходимой степени очистки сточных вод по величине pH.

#### Расчет необходимой степени уменьшения температуры сточных вод перед сбросом их в водоем

Максимальную допустимую температуру сточных вод ( $t_o^{\text{ct}}$ ), спечивающую летом отсутствие перегрева речной воды более чем  $\Delta$  °C в месте сброса стоков рассчитывают по формуле

$$t_o^{\text{ct}} = \left( \frac{\gamma \cdot Q}{q} + 1 \right) \cdot t_{\text{рдк}} + t_s^{\text{max}},$$

у - коэффициент смешения сточной воды и речной воды в расчетном створе;

Q - расход речной воды, м<sup>3</sup>/с; q - расход сточной воды, м<sup>3</sup>/с;

$t_{\text{ПДК}}$  - допустимое повышение температуры речной воды после сброса нагретых сточных вод (таблица 3.1) градусы, °С;  $t_{\text{в}}^{\text{макс}}$  - максимальная температура речной воды в наиболее теплый летний месяц до сброса сточных вод (таблица 3.5), градусы °С.

Если найденное расчетное значение температуры  $t_{\text{o}}^{\text{ст}}$  меньше температуры сточных вод (табл. 3.6), то охлаждение их перед сбросом не требуется. Если больше - проводят охлаждение сточных вод в дюнках, брызгательных бассейнах и т.п. до величины  $t_{\text{o}}^{\text{ст}}$ .

Расчет необходимой степени очистки сточных вод и ПДС по содержанию отдельных вредных веществ

Допустимое содержание вредных веществ (фенолы, нитраты, медь и т.д.) после очистки рассчитывается с учетом степени их пос-ующего разбавления в речной воде по формуле

$$C_{\text{o}}^i = \frac{\gamma \cdot Q}{q} \cdot (C_{\text{ПДК}}^i - C_{\text{ст}}^i) \text{ мг/л}$$

$C_{\text{o}}^i$  - расчетное допустимое содержание i-го вредного вещества после очистки сточных вод, мг/л;

У - коэффициент смешения сточной и речной воды в расчетном створе;

Q - расход речной воды, м<sup>3</sup>/с; q - расход сточной воды, м<sup>3</sup>/с;

$C_{\text{ПДК}}^i$  - ПДК i-го вредного вещества в речной воде (табл. 3.1 ч 3.2), мг/л;

$C_{\text{в}}^i$  - содержание i-го вредного вещества в речной воде выше створа сброса сточных вод (табл. 3.5), мг/л.

Если  $C_{\text{в}}^i > C_{\text{ПДК}}^i$  - сброс сточных вод не разрешается. Необходимая степень очистки (в процентах) сточных вод от i-го вредного вещества находится по формуле

$$\mathcal{E}^i = \frac{C_{\text{ст}}^i - C_{\text{o}}^i}{C_{\text{ст}}^i} \cdot 100, \%$$

где  $\mathcal{E}^i$  - искомая степень очистки сточных вод от i-го вредного вещества, процент;

$C_{\text{ст}}^i$  - содержание i-го вредного вещества в сточных водах (табл. 3.6), мг/л.

Программа водоохранных мероприятий включает выбор метода очистки и очистных аппаратов, обеспечивающих необходимую степень очистки по каждому вредному веществу или их группе.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Дать определение ПДС, единицы измерения ПДС.

Написать формулу определения необходимой степени очистки сточных вод.

Что понимают под "фоновым" загрязнением гидросреды? Когда запрещается сброс сточных вод в водоем?

Дать понятия об обратном водоснабжении и повторным использованием сточных вод.

Нарисовать схему бессточного водоснабжения предприятия.

Написать формулу для определения экономического ущерба от загрязнения водных объектов сточными водами.

Перечислить аппараты и сооружения для механической очистки сточных вод.

Перечислить аппараты и сооружения для биологической очистки сточных вод.

Перечислить аппараты и сооружения для физико-химической очистки сточных вод.

## ГЛАВА 4. ЗАДАЧИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПДС И ПЛАТЕЖЕЙ ЗА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Исходные данные для решения задач приведены в таблицах 3.5 и 3.6. ПДК вредных веществ выбираются в зависимости от цели водопользования в расчетном створе, которая указана в таблице 3.7.

Протокол выполненной работы оформляется в виде реферата и включает в себя:

- исходное задание;
- формулы и результаты расчетов степени очистки сточных вод, М и ПДС;
- программу (перечень) конкретных водоохранных мероприятий, очистных сооружений и аппаратов;
- схему обратного водоснабжения предприятия;
- расчет ежегодных платежей за загрязнение водоема в региональный экологический фонд при фактической массе сброса (тонн/год) и на период достижения ПДС (тонн/год) за счет водоохранных мероприятий (по каждому вредному веществу и в сумме, руб./год);
- письменные ответы на девять вопросов самопроверки.

Таблица 3.5 Характеристика речной воды в створе до сброса сточных вод

Параметры для характеристики речной воды	Номер											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Расход воды в реке (Q), м/с	32	16	112	72	136	329	454	523	135	45	30	60
2. Коэффициент смешения сточной и речной	0.2	0.3	0.4	0.3	0.5	0.6	0.7	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4
3. Содержание взвешенных веществ ( $C_{B3B}$ ), мг/л	8	12	17	11	23	25	14	16	19	13	9	15
4. Биохимическая потребность кислорода	2.4	1.5	2.0	2.6	2.1	3.0	2.8	2.3	2.5	1.8	2.0	1.6
5. Содержание растворенного кислорода	8	9	6	9	7	6	6	6	10	10	7	8
6. pH воды	7,2	7.0	6,75	7.75	7.25	6,75	8,25	8,0	6,5	7,75	7,0	7.75
7. Щелочность воды, мг/л	3	4	6	2	8	5	3	4	7	3	4	3
8. Максимальная температура воды в наиболее теплый летний месяц, градусы, °C	5	18	12	20	15	9	18	18	20	12	16	20
9.												
9.1 Фенолы	0,0005	0,0004	2	0,0006	0,0005	0,0004	0,0002	0,0001	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001
9.2 Нитраты	4	2	5	3	1	2	8	6	4	6	5	3
9.3 Медь	0,005	0,002	0,003	0,001	0,006	0,004	0,003	0,008	0,002	0,005	0,004	0,002
9.4 Свинец	0,04	0,06	0,01	0,03	0,008	0,005	0,004	0,002	0,001	0,004	0,003	0,005
9.5 Фтор	1,0	0,5	0,3	0,8	1,1	0,7	0,6	0,1	0,3	0,2	0,8	0,9
9.6 Аммонийный азот	0,05	0,01	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,08	0,03	0,02	0,06

9.7 Цинк	0.006	0.001	0,003	0,008	0.001	0.002	0.003	0.007	0.005	0.009	0.007	0.005
9.8 Нефтепродукты	0.01	0,03	0.08	0,02	0.04	0,01	0,02	0,04	0,01	0,03	0,02	0.01

Таблица 3.6 Характеристика сточных вод предприятия

Номер варианта задания

№	Параметры для характеристики	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Расход сточных вод (q), м <sup>3</sup> /с	2	3	4	3	5	16	17	18	4	2	3	4
2	Содержание взвешенных веществ (C <sub>ст</sub> <sup>взб</sup> ). мг/л	200	194	202	187	254	185	215	234	190	220	190	190
3	Время протекания воды от места сброса стоков до расчетного створа реки (t), сутки	0,25	3,0	0,5	1,0	2,0	2,5	4,0	6,0	2,0	5,0	0,5	2,0
4	Биохимическая потребность кислорода сточной воды (БПК <sub>ст</sub> ), мг/л	93	150	250	800	300	450	700	350	120	200	90	140
5	Содержание кислоты в сточной воде, мг-экв/л	84	400	50	40	250	80	300	60	200	90	80	350
6	Температура сточной воды, градусы °	40	25	30	20	22	45	38	35	32	23	35	30
7	Содержание вредных веществ. мг/л												
7.1	Фенолы	0,01	0,08	0,02	0,04	0,06	0,03	0,07	0,04	0,06	0,02	0,08	0,03
7.2	Нитраты	80	60	20	110	150	80	70	120	190	125	86	93
7.3	Медь	0,15	0,18	0,21	0,11	0,21	0,13	0,18	0,22	0,25	0,2	0,8	0,4
7.4	Свинец	16	20	11	3	6	8	15	25	9	7	4	40
7.5	Фтор	16	20	И	3	6	8	15	25	9	7	4	40
7.6	Аммонийный азот	3	5	1	11	8	4	7	5	12	2	4	10
7.7	Цинк	0,15	0,11	0,2	0,4	0,8	0,2	0,7	0,9	0,8	0,2	0,3	0,7
7.8	Нефтепродукты	0,5	0,9	0,4	0,3	0,7	0,9	1,0	0,4	0,1	0,3	0,5	0,9

Для каких целей используется вода водоема в расчетном створе

Номер варианта	Категория водопользования
1	Хозяйственно-питьевое
2	Культурно-бытовое
3	Хозяйственно-питьевое
4	Хозяйственно-питьевое
5	Рыбохозяйственное
6	Снабжение водой хлебозавода
7	Для спорта и отдыха населения
8	Снабжение водой пищевого предприятия
9	Рыбохозяйственное
10	Хозяйственно-питьевое
11	Хозяйственно-питьевое
12	Культурно-бытовое

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буцко В.А., Цыцера А.А., Греков И.И., Зинюхин Г.Б. Основы экологических знаний. Учебное пособие. Оренбургский государственный университет. Оренбург, 1998.-99 с.
2. Охрана окружающей среды: Учебное пособие /Под ред. С.В.Белова. - М.: Высшая школа, 1991.-319с.
3. Яковлев СВ., Карелин Я.А., Ласнов Ю.М., Воронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод. - М.: Стройиздат, 1985.-460 с.
4. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987.-94 с.
5. Охрана окружающей среды: Справочник. Сост. Л.П.Шариков. -Л.: Судостроение, 1978.-382 с.

### 2.15 Лабораторная работа №15 Особенности применения методов очистки воды в системах водоподготовки.

#### Цели:

1. Образовательная: научиться очищать воду от механических примесей и уметь определять содержание примесей в воде. Закрепить навыки написания уравнений химических реакций диссоциации солей.

2. Развивающая: развивать навыки решения задач, логическое мышление и творческое воображение. Формирование умений пользоваться теоретическими и экспериментальными методами химической науки для обоснования выводов по изучаемой теме.

3. Воспитательная: развитие самостоятельности, взаимопомощи.

**Оборудование:** штатив, реактивы (1М раствор соляной кислоты, 0,1М раствора нитрата серебра, 0,5 М раствора тиоцианата калия (KNCS)), химическая посуда (пробирки, пипетки), спиртовая горелка.

### **Контрольные вопросы допуска**

1. Назовите виды загрязнения воды.
2. Дайте определение химического загрязнения воды.
3. Перечислите существующие методы определения степени загрязнения воды.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Закрепить на штативе (или держателе) пробирки с анализируемой водой.

Опыт № 1. Обнаружение ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ .

К 3 мл анализируемой воды добавьте 2-3 капли 1М раствора соляной кислоты, нагрейте до кипения и прибавьте 0,5 мл хлорида бария. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Опыт № 2. Обнаружение ионов  $\text{Cl}^-$ .

К 3 мл анализируемой воды прилейте по каплям 0,1М раствора нитрата серебра. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Опыт № 3. Обнаружение ионов  $\text{Fe}^{3+}$ .

К 0,5 мл анализируемой воды прилейте 1мл 0,5М раствора тиоцианата калия (KNCS). Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

Опыт № 4. Обнаружение органических примесей.

К 3 мл анализируемой воды прилейте по каплям 0,1М раствора перманганата калия и прокипятите. Что наблюдаете? Напишите уравнение реакции.

2. Оформляем отчет в виде таблицы:

№ опыта	Что делали?	Что наблюдали?	Уравнение реакции
---------	-------------	----------------	-------------------

Опыт 1			
<b>Вывод 1:</b>			
Опыт 2			
<b>Вывод 2:</b>			
Опыт 3			
<b>Вывод 3:</b>			
Опыт 4			
<b>Вывод 4:</b>			

### 3. Общий вывод

#### **Контрольные вопросы**

1. Как получить дистиллированную воду, и почему она вредна для организма?
2. Почему не проводят исследование воды на все химические примеси?

**Форма отчета о работе:** оформленная таблица и выводы в тетради для лабораторных работ.

**Лабораторный анализ воды** является процедурой, которая состоит из комплексного ряда тестов и анализов, в ходе которых определяется наличие в воде тех или иных примесей, а также устанавливается уровень содержания различных загрязнителей. Если уровень содержания ни одного из распространенных сегодня загрязнителей не превышает установленных ГОСТом норм, то необходимость устанавливать дополнительное водоочистительное оборудование отпадает, однако подобное случается крайне редко, в противном же случае рекомендуется установить специальные фильтры для удаления из воды тех загрязнителей, количество которых превышает допустимые уровни.

#### **1. Нерастворенные механические примеси**

Самое элементарное объяснение необходимости применения фильтров механической очистки воды — это защита системы водоснабжения, ее отдельных узлов и оборудования от засорения, что может проявляться в уменьшении потока воды, а также в нарушении работы запорной и регулирующей арматуры и снижении ее эксплуатационного периода. Вторая не менее важная причина — это предотвращение коррозии, возникающей вследствие электрохимической активности взвешенных частиц, что может привести к сквозной коррозии металлических труб и фитингов. Основными методами удаления нерастворимых механических примесей являются:

- отстаивание в специальных ёмкостях с применением или без применения химических реагентов, вводимых в зависимости от состава исходной воды;
- коагуляция, т.е. введение в обрабатываемую воду солей алюминия, железа или полиэлектролитов, для укрупнения взвешенных и коллоидных частиц и перевода их в фильтруемую форму;
- механическая очистка воды с помощью фильтрования с использованием различных сетчатых либо картриджных фильтров, а также засыпных фильтров механической очистки.

Данные методы очистки способны достаточно эффективно удалять из воды нерастворённые механические примеси всех имеющихся типов и размеров. При практическом применении выбор того или иного метода определяется показателями исходной воды, требованиями к готовому продукту и необходимыми объёмами.

## 2. Железо и марганец

Вода с повышенным содержанием железа и марганца первоначально либо в процессе отстаивания приобретает желтовато-бурую окраску, что становится причиной ржавых подтеков на сантехнике, вызывает зарастание внутренних поверхностей труб и оборудования, вода приобретает характерный «железистый» привкус. Даже достаточно невысокое превышение концентраций железа и марганца делает воду непригодной для использования.

Решение проблемы очистки воды от железа и марганца является довольно сложной и комплексной задачей. В связи с этим невозможно описать все многообразие методов, применяемых в технологии обезжелезивания и деманганации. Схема очистки воды избирается индивидуально для каждого случая с учётом развёрнутого анализа воды и может включать в себя как один так и комплекс применяемых методов обезжелезивания и деманганации таких как: окисление растворённого железа до нерастворимой формы с применением различных окислителей, фильтрование через специальные загрузки, ионный обмен, некоторые мембранные методы.

- Окисление (кислородом воздуха или аэрацией, хлором, перманганатом калия, перекисью водорода, озоном) с последующим осаждением (с коагуляцией или без неё) и фильтрацией;
- Каталитическое окисление с последующей фильтрацией. Суть метода заключается в том, что реакция окисления железа происходит на поверхности гранул специальной фильтрующей среды, обладающей свойствами катализатора (ускорителя химической реакции окисления);
- Ионный обмен. Одно из достоинств ионного обмена в обезжелезивании воды заключается в том, что он «не боится» верного спутника железа — марганца, сильно осложняющего работу систем, основанных на использовании методов окисления. Главное же преимущество ионного обмена в том, что из воды могут быть удалены железо и марганец, находящиеся в растворенном состоянии.

Все перечисленные выше методы, а так же их сочетания могут применяться для обезжелезивания воды во всех существующих системах водоснабжения от муниципального водопровода, до подготовки воды из индивидуальной скважины в загородном доме.

- Мембранные технологии достаточно широко используются в водоподготовке, однако удаление железа отнюдь не главное их предназначение, скорее побочный эффект. Этим и объясняется тот факт, что применение мембран пока не входит в число стандартных методов борьбы с присутствием в воде железа. Тем не менее, микрофильтрационные мембранны пригодны для удаления уже окисленного трехвалентного железа, ультрафильтрационные и нанофильтрационные мембранны также

способны удалять коллоидное и бактериальное железо, а обратноосмотические мембранны удаляют даже растворенное органическое и неорганическое железо.

#### **4. Неприятный привкус, запах и цветность**

На эти три параметра, которые принято называть органолептическими показателями, могут оказывать влияние находящиеся в воде органические вещества, сероводород и другие газы. Реактивом, позволяющим определить наличие в растворе хлорид-ионов, (т.е. хлороводородную кислоту и растворимые хлориды) является раствор нитрата серебра. При этом выпадает характерный белый творожистый осадок хлорида серебра.

Повышенное содержание сероводорода в воде делает воду неприятной для использования.

- Очистка воды на активированном угле чаще всего применяется на одной из последних ступеней очистки и является одним из классических способов получения питьевой воды. Такую дополнительную очистку воды необходимо применять в тех случаях, когда требуется устраниить незначительные нарушения показателей цветности, вкуса и запаха воды. Активные угли также используются для очистки муниципальной водопроводной воды от хлора и хлорсодержащих соединений.

- Удаление запаха с помощью аэрации. Аэрация представляет собой обработку водного потока воздухом, при аэрации происходит отдувка из воды летучих примесей, в том числе токсичных и обладающих неприятным запахом, например сероводорода. Метод широко применяется и системах водоподготовки предприятий и загородных домов.

#### **5. Повышенное содержание в воде нитратов**

Опасность нитратов обусловлена их токсичным воздействием на человека. Обладая способностью накапливаясь в организме человека, нитраты образуют метгемоглобин, который в отличие от гемоглобина не переносит кислород, что приводит к кислородному голоданию тканей. В результате ухудшается самочувствие, появляется вялость, одышка, тахикардия, может произойти потеря сознания и даже смерть. Нитраты губительно воздействуют на нервную, сердечно-сосудистую систему, желудочно-кишечный тракт и другие органы. Особую опасность нитраты представляют для маленьких детей, у которых еще не сформирована восстанавливающая ферментная система.

- Ионообменный метод, когда удаление нитратов из воды производится в специальных фильтрах засыпного типа, в которые загружается высокоосновная нитрат-селективная анионообменная смола макропористого типа. Данный метод позволяет удалять из воды до 90-95% нитратов. Широко используется для очистки воды хозяйствственно-бытового и производственного назначения.

- Мембранный метод, основан на продавливании исходной (загрязнённой) воды через полупроницаемые обратноосмотические мембранны. Через микроскопически малые поры этих мембран (размер порядка 0,0001 микрона), способны пройти только молекулы воды и кислорода, а микроорганизмы, органические соединения, растворенные в воде соли, в том числе и нитраты задерживаются мембраной. Настоящий метод позволяет удалить до 99,9% содержащихся в воде нитратов. Используется в основном для очистки питьевой воды и подготовки воды в специальных целях.

#### **5. Бактериологическая загрязненность**

Вызвана наличием в воде различных микробов, вирусов и бактерий. Некоторые из них могут представлять непосредственную угрозу здоровью и жизни человека. Причем даже сравнительно безопасные бактерии в процессе своей жизнедеятельности выделяют органические вещества, которые не только влияют на органолептические показатели воды, но и, вступая в химические реакции, способны создавать ядовитые и канцерогенные соединения.

Обычными методами обеззараживания при очистке воды являются:

- Хлорирование путем добавления хлора, диоксида хлора, гипохлорита натрия или кальция. Архаичный метод очистки воды, практически не применяемый в подготовке воды для хозяйствственно-бытовых и производственных целей.

- Озонирование воды получает всё большее распространение в мире для подготовки воды муниципальными службами. При наличии определённых факторов довольно эффективный метод, применяемый для обеззараживания больших объёмов воды. Из-за особенностей применения данный метод не получил широкого распространения в локальных системах водоподготовки.

- Ультрафиолетовое облучение на сегодняшний день является наиболее прогрессивным методом обеззараживания воды. Этот метод очистки воды основан на обработке воды ультрафиолетом. Его основным преимуществом является то, что его применение не связано с воздействием на воду какими бы то ни было химическими реагентами. Ультрафиолетовые лучи уничтожают все формы вирусов и бактерий, не изменяя химического состава исходной воды. Метод ультрафиолетового облучения получает всё большее распространение во всех сферах деятельности человека связанных с обеззараживанием воды.

Другие способы обеззараживания (воздействие ионов благородных металлов, ультразвук, радиоактивное излучение) крайне редко применяются в подготовке воды. Конкретный способ обеззараживания воды определяется с учетом производительности и затрат.

## **2.16 Лабораторная работа №16 Механические методы очистки, гидромеханические методы очистки, замкнутые водооборотные циклы сточных вод.**

**Цель:** ознакомиться с механическими методами очистки, гидромеханическими методами очистки и замкнутыми водооборотными циклами сточных вод.

### **Механические методы очистки.**

#### **1. Процеживание.**

Основные приспособления – различные решетки и сита для задержания крупных элементов и некоторого количества взвешенных частиц.

Технологическая схема очистки сточных вод методом процеживания элементарна:

сначала стоит специальная сетка, задерживающая крупные вещества и волокнистые соединения;

предварительно очищенная вода попадает к мелкому ситу, останавливающему более маленькие частицы;

на выходе могут стоять микропроцеживатели, которые задерживают микроскопические нерастворенные элементы.

## 2. Отстаивание.

Метод выделения из сточных вод взвешенных частиц с большей или меньшей плотностью. Для механической очистки данным способом оборудуют специальные объекты – отстойники. Отстаивание чаще всего используют с целью улучшения воды в замкнутой системе водоснабжения. Поэтому этот способ активно применяется в химической, рудной и металлургической промышленности.

Существуют различные установки очистки сточных вод методом отстаивания:

песколовки («собирают» тяжелые частицы);

жироловки;

маслоуловители;

нефтоловушки;

смелоуловители;

шлакоотстойники;

сгустители и другие.

## 3. Фильтрование.

Активно применяется для очистки воды от мельчайших частиц разной природы. Основное приспособление – фильтры. Сточные воды, проходя через фильтрующий материал, оставляют в нем все ненужные взвеси.

Для различных предприятий необходимы различные виды фильтров. Так, в бумажной промышленности широко используются сетчатые и вакуумные фильтры. Для более активной очистки подходят центрифуги и гидроциклоны. Последние представляют собой конические сосуды из железа, на стенках которых под влиянием центробежной силы скапливаются тяжелые частицы.

## Сооружения для механической очистки сточных вод

### 1. Решетки.

Задерживают крупные элементы, содержащиеся в сточной воде. Их устанавливают по направлению тока жидкости. Решетки представляют собой укрепленные на металлической рамке металлические стержни, наклонно или вертикально установленные. В пазухах решетки – подвижные зубцы граблей. Они закреплены на шарнирно-

пластинчатой цепи, которая приводится в движение через привод с шестеренчатой передачей.

Грабли снимают с металлической стенки решетки отбросы и поднимают их на подвижную ленту. Далее взвешенные частицы направляются для размельчения в специальную дробилку.

Существуют также решетки-дробилки, задерживающие твердые элементы и одновременно перемалывающие их. Эту установку монтируют в камеру с круговым движением сточных вод. Электродвигатель через коробку передач приводит в движение барабан решетки-дробилки. Он задерживает отходы, содержащиеся в сточной воде, и передает их к режущим гребням. Последние перемалывают твердые элементы, которые после такой обработки вновь поступают в сточную воду.

## 2. Песколовки.

Задерживают минеральные примеси. Удельный вес частиц больше удельного веса воды. Поэтому по мере движения жидкости в резервуаре минеральные элементы выпадают на дно. Работа песколовок зависит от скорости движения воды. Обычно установки рассчитаны на задержание частиц более 0,25 мм. Оседание более мелких минеральных загрязнений крайне нежелательно. По этой причине важна скорость движения воды.

Оптимальная скорость при горизонтальном токе – от 0,15 до 0,3 м/с. Горизонтальные установки монтируются там, где сточные воды движутся в горизонтальном направлении, прямолинейно или по кругу. Такие песколовки состоят из двух основных элементов:

рабочего, через который движется поток;

осадочного, который собирает и хранит выпавший песок.

Способы очищения песколовок:

насосом (при незначительном расходе сточных вод);

гидроэлеватором, шнеками, скребками и т.п. (на специальных очистных станциях).

Песколовки способны задерживать до 75% минеральных примесей, содержащихся в сточной воде.

## 3. Отстойники.

Используются для выделения механических примесей из сточных вод. Существуют несколько видов отстойников.

По назначению:

первичные (устанавливаются перед станциями биологической очистки);

вторичные (устанавливаются после сооружений биологической обработки).

По конструктивным особенностям:

горизонтальные;

вертикальные;

радиальные (разновидность горизонтальных отстойников).

#### 4. Иловые площадки.

Используются для сушки влажного осадка, сбрасываемого из отстойников, метантенков и других подобных сооружений (на выходе из них осадок имеет влажность до 97%). Иловая площадка подсушивает до влажности 75% (средняя величина). В результате объем отбросов уменьшается в 3-8 раз.

Иловая площадка представляет собой участок земли, окруженный земляными валками. Осадок наливается слоями. Часть жидкости испаряется, а часть попадает в грунт. Подсущенный осадок погружают на машины и вывозят. Иловую воду перекачивают на очистные сооружения.

Перечислены основные сооружения для механической очистки сточных вод. В зависимости от вида деятельности, количества сточных вод, типа загрязнений предприятие может использовать и другие установки.

#### **Гидромеханические методы очистки. Замкнутые водооборотные циклы сточных вод.**

Создание замкнутых водооборотных систем — важнейшее направление охраны гидросфера от загрязнения. Для рационального использования воды на предприятиях наиболее перспективными являются следующие мероприятия:

- внедрение безводных (или маловодных) технологических процессов;
- устранение протечек и потерь воды вследствие брызг в системе водоснабжения за счет совершенствования технологических- процессов и оборудования, а также за счет правильной организации производства;
- использование тепла химических реакций;
- использование вторичных материальных и энергетических ресурсов (регенерация кислот, щелочей, солей и т. п.);
- использование воды для очистки уходящих газов в тех случаях, когда из газов извлекают ценные вещества;
- внедрение местных систем обезвреживания стоков;
- создание замкнутых водооборотных циклов предполагает сбор и использование не только очищенных стоков, но и ливневых вод.

Водооборотный цикл — это многократное использование одной и той же воды при минимальном восполнении потерь (подпитке). На рис. 1 приведена простейшая схема оборотного водоснабжения. Из схемы видно, что насосная станция подает техническую воду на производство, затем она очищается и через насосную станцию

вновь возвращается на производство. Перед насосной станцией происходит восполнение потерь воды, которые, к сожалению, неизбежны, а из очистных сооружений ил (твёрдый осадок) удаляется либо на очистку, либо на захоронение. Расход свежей воды из источника на подпитку составляет  $1,4 \text{ м}^3/\text{т}$  нефти; расход оборотной воды —  $51 \text{ м}^3/\text{т}$  нефти.

Таким образом, оборотное водоснабжение позволяет снижать расход воды в десятки раз и создает возможность организации бессточного производства.



Рис. 1 - Схема оборотного водоснабжения

## 2.17 Лабораторная работа №17 Принцип комплексности использования сырьевых ресурсов.

Комплексное использование природных ресурсов - это удовлетворение потребностей общества в определенных видах природных ресурсов, основанное на экономически и экологически оправданном использовании всех их полезных свойств. Этот принцип составляет основу рационального использования природных богатств, максимального ограничения возможных негативных последствий антропогенного воздействия на окружающую среду.

Сущность комплексного использования заключается в последовательной переработке сырья сложного состава в различные ценные продукты с целью наиболее полного использования всех компонентов сырья. Это чрезвычайно важно для сохранения окружающей среды.

Примером комплексного использования органического сырья является термическая переработка топлива - угля, нефти, сланцев. Так, при коксации угля кроме целевого продукта - металлургического кокса - получают коксовый газ и смолу, перерабатывая которую выделяют сотни ценных веществ; ароматические углеводороды, фенолы, пиридин, амиак, водород, этилен и др.

Уровень комплексности использования минерального сырья можно оценить коэффициентом комплексности  $K_k$ , представляющим собой отношение суммарной стоимости извлеченных в товарную продукцию полезных компонентов к суммарной

стоимости компонентов в сырье. Уровень комплексности использования месторождений оценивается числом добываемых на месторождении полезных ископаемых и полезных компонентов, а также степенью их полноты извлечения и реализации.

Практически все месторождения твердых полезных ископаемых являются комплексными; они содержат, как правило, несколько различных минералов и химических элементов, одни из которых считаются основными, другие - попутными (сопутствующими, или совместно залегающими) полезными ископаемыми. Проблема комплексного использования минеральных ресурсов рассматривается в трех аспектах: 1) комплексное использование месторождений полезных ископаемых; 2) комплексное использование добываемого минерального сырья, 3) использование отходов производства.

Экономическая эффективность комплексного использования месторождений заключается в основном в том, что одноразовые затраты на геологоразведочные работы, вскрытие и в значительной степени на подготовительные и очистные работы распределяются на большую массу добываемых полезных ископаемых, снижая при этом стоимость единицы продукции.

Комплексное использование месторождений в процессе их разработки в настоящее время имеет наибольшее распространение на горнодобывающих предприятиях цветной металлургии, в связи с тем, что руды цветных металлов, как правило, являются сложными и многокомпонентными. В этих рудах наряду с основными - медью, свинцом, никелем и другими металлами - содержатся многочисленные попутные полезные компоненты: золото, серебро, платиноиды, олово, вольфрам, молибден, кобальт, мышьяк, сера, железо, барий, кадмий, селен, теллур, индий, рений и др. При этом нередко ценность сопутствующих полезных компонентов превышает ценность основных.

Горно-металлургические предприятия цветной металлургии помимо 12 основных металлов выпускают сырье и готовую продукцию из 62 элементов.

Большинство железорудных месторождений характеризуются также многокомпонентностью полезных ископаемых. К наиболее важным из сопутствующих элементов относятся: ванадий, медь, кобальт, никель, германий, фосфор, сера, бор, tantal, ниобий и цирконий.

Интереснейшим объектом комплексного использования месторождений является шахта Ярега Ухтинского нефтяного бассейна. На этом предприятии производится шахтная добыча, так называемой "тяжелой" нефти, заключающаяся в нагнетании по скважинам в пласты нефтеносных песчаников перегретого пара и дренировании потерявшей вязкость нефти через эксплуатационные скважины в подземные горные выработки. Между разрабатываемыми нефтяными залежами находятся некоторые запасы ценных титановых руд. В настоящее время построена и эксплуатируется полупромышленная обогатительная фабрика, на которой отрабатывается технология обогащения руд.

Одним из наиболее ярких примеров использования отходов производства может служить - металлургия.

В доменной печи образуются - за счет пустой породы руды и золы кокса - шлаки. В зависимости от соотношения компонентов шлаки могут быть основные, нейтральные и кислые. Шлак ценнейшее сырье для строительной и дорожно-строительной отраслей. Шлаковый щебень в 1,5 - 2 раза дешевле природного, шлаковая пемза втрое дешевле керамзита и требует меньше удельных затрат. Использование гранулированного шлака в цементной промышленности увеличивает выход цемента, снижает себестоимость и удельные затраты на его производство по сравнению с естественным сырьем цементным клинкером. Применение шлаков при вторичной переработке металлов для раскисления стали, сокращает расход дефицитного ферросилиция. Допустимо даже применение металлургических шлаков в качестве абразивного материала для очистки днищ судов. Конвертерные шлаки могут использоваться в гидротехническом строительстве для обсыпки дамб вместо грунта.

Шахтные породы часто содержат большое число микроэлементов, необходимых для питания растений, поэтому могут применяться в качестве удобрений почв, разбалансировка которых происходит в результате интенсификации и химизации сельского хозяйства.

Отходы углеобогащения, содержащие большое количество горючей массы, могут быть подвергнуты дополнительному обогащению с получением кондиционного по зольности твердого топлива или непосредственно использованы для сжигания и газификации. Возможно сжигание высокозольных отходов углеобогащения в пылеватом состоянии на электростанциях.

С помощью биологических методов можно извлекать из углей и части угольных отходов пиритную и органическую серу, различные металлы (Mn, Ni, Co, Zn, Ca, Al, Cd) золу, кислород- и азотсодержащие соединения. Очистка угля может осуществляться за 6 суток на 93 % при применении термофильных бактерий и 18 суток мезофильными бактериями.

Из отходов нефтепереработки возможно использование кислых гудронов, которые можно применять совместно с нефтяными шлаками в дорожном и коммунальном строительстве.

## **2.18 Лабораторная работа №18 Комплексное управление, сбор и временное хранение отходов.**

Отходы, которые образуются в результате антропогенной деятельности, разнообразны и по происхождению, и по агрегатному состоянию (Приложение 1)

Из общей массы городских отходов выделяют две обширные группы - отходы производства и отходы потребления.

Отходами производства называют остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, химических соединений, образовавшихся при производстве продукции и выполнении работ (услуг) и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства.

Структура промышленных отходов сильно различается по городам и странам и зависит от специализации производства и самого технологического процесса.

Отходами потребления называют изделия и материалы, которые утратили свои потребительские свойства в результате износа - физического и морального.

Объем ТБО зависит от численности городского населения (Приложение 2), а удельные объемы существенно различаются по странам. Так, например, во Франции ежедневно образуется 0,8 кг ТБО/чел., в Европе в целом - 1,3 кг ТБО/чел., а в США - 1,8. Норматив накопления ТБО, согласно расчетам специалистов, для России составляет чуть меньше 1 кг/сут. Чел.

В таблице 1 приведены оценочные нормативы для наиболее распространенных объектов ЖКХ.

Таблица 1

Вид объекта ЖКХ	Нормы накопления на 1 человека	
	кг/сут	кг/год
Жилые дома благоустроенные	0,58 - 0,62	210 - 225
Жилые дома неблагоустроенные	0,99 - 1,24	360 - 450
Гостиницы (на 1 место)	0,33	120
Детсад, ясли	0,26	95
Учебное заведение	0,05	19
Театр, кинотеатр (на одно место)	0,08	30
Учреждение	0,13	40
Продуктовый магазин (на 1 м <sup>2</sup> )	0,44	160
Промтоварный магазин (на 1 м <sup>2</sup> )	0,08	30
Рынок (на 1 м <sup>2</sup> )	0,05	18
Санаторий, пансионат	0,68	250
Общая норма для городов с населением более 100 тыс. человек	0,71 - 0,82	260 - 300

Оценив данные в таблице, можно сделать вывод о том, что количество бытовых отходов в расчете на одного человека увеличивается примерно на 1 - 4 %, а по массе на 0,2 - 0,4 % в год и в настоящее время составляет (кг/год): в благоустроенных зданиях - 210 - 225, в неблагоустроенных зданиях - 360 - 450.

Промышленные отходы (или отходы производства) - это остатки сырья, металлов, полуфабрикатов, образовавшихся при производстве продукции или выполнении работ и

утратившие полностью или частично потребительские свойства (ГОСТ 25.916-83). К указанным отходам, условно, можно отнести и отходы потребления.

Развитие промышленного и сельскохозяйственного производства, строительства, транспорта, сферы услуг сопровождается непрерывным ростом объемов и усложнением состава отходов, образующихся в сферах, а также при потреблении (эксплуатации) соответствующих товаров, работ, услуг. В последние годы возросло количество опасных (токсичных) отходов, которые способны вызывать отравление или иное поражение живых существ. К ним, прежде всего, относятся различные ядохимикаты, неиспользованные в сельском хозяйстве, отходы промышленных производств, содержащие канцерогенные и мутагенные вещества, и другие. В США 41 % ТБО классифицируют как "особо опасные", в Венгрии - 33,5 %, в то время как во Франции - 6%, Великобритании - 3 %, а в Италии и Японии - только 0,3 %.

#### **городской отход антропогенный управление**

В настоящее время на территории РФ в отвалах и хранилищах накопилось около 80 млрд. тонн твердых отходов. Это количество ежегодно увеличивается на 7 млрд. тонн, из которых утилизации подвергается менее 30 %. Общая площадь занятых отходами земель превышает 2 тыс. км<sup>2</sup>. Более 0,6 тыс. км<sup>2</sup> занято шламонакопителями и хвостохранилищами; более 1 тыс. км<sup>2</sup> - отвалами, терриконами, золошлакоотвалами. Площадь под полигонами по обезвреживанию и захоронению отходов составляет около 6,5 твс. Га, под санкционированными свалками - около 0,35 тыс. км<sup>2</sup>. При этом практически отсутствуют отвечающие современным требованиям полигоны для промышленных и твердых бытовых отходов. Повсеместно малоопасные отходы смешиваются с токсичными, после чего вместе захораниваются на полигонах ТБО.

Обостряется проблема обращения с ТБО, количество которых ежегодно увеличивается на 160 млн м<sup>3</sup>. До сих пор 97 % ТБО вывозятся на полигоны или сжигаются. 50 - 60 % объема ТБО составляют упаковочные отходы; при этом от 40 - 50 % до 100 % упаковочных отходов представляют собой ценное вторичное сырье.

Не решена проблема технологического обеспечения утилизации медицинских отходов (0,6 - 1 млн. т/год), а также лекарственных препаратов с простроченными сроками реализации, фальсифицированных фармацевтических препаратов, лекарственных средств, конфискованных при осуществлении таможенных процедур.

Острым также является вопрос о так называемых "химических ловушках" - давно забытых захоронениях опасных отходов, на которых построили жилые дома и другие объекты. Они со временем дают о себе знать, в частности, появлением необычных заболеваний среди местного населения.

#### **Проблема повышения эффективности управления отходами**

Требуемую степень экологизации производств можно достичь путем рационального использования ресурсов, целенаправленного совершенствования технологических

процессов по переработке, утилизации и обезвреживанию отходов, то есть созданием малоотходных и безотходных производств.

Решение вопросов использования промышленных отходов возможно только при учете территориальных аспектов управления, образования, сбора, транспортировки, обработки, переработки, утилизации и обезвреживания отходов. Иначе говоря, рациональной территориальной организацией управления процессами переработки отходов на локальном (предусматривает переработку утилизируемых и обезвреживание неутилизируемых отходов непосредственно в местах образования), региональном (определяет кооперативные связи по сбору, обработке, транспортировке, переработке, утилизации и обезвреживанию отходов между отдельными предприятиями или группами предприятий, функционирующих в регионе), государственном и межгосударственном уровнях.

В развитых странах реализовывались в разное время два подхода к решению проблемы отходов. Один из них известен как управление отходами "на конце трубы", а другой - как концепция чистого (ресурсосберегающего) производства - потребления.

При управлении по принципу "на конце трубы" мероприятия в отношении отходов планируются и реализуются только после непосредственного образования отходов и их выделения. А согласно второй концепции, а именно, чистого производства - потребления, на всех этапах жизненного цикла продукта различными способами добиваются минимизации объемов образования и уровня опасности отходов.

В целом основные методы системы управления отходами приведены в приложении 3

На полигоны ТБО ежегодно попадает 1 млн. тонн стали, 200 тыс. тонн алюминия, 4 тыс. тонн олова. Каждый год под полигоны отводятся около 10 тыс. га пригодных для использования земель. Считать ли полигоны "окультуренными" свалками или хранилищами ценного сырья для будущих поколений - ответ, более чем, очевиден. Поэтому и относиться к ним следует не как к могильникам, а как к территории, где создаются рукотворные "месторождения" своего рода полезных ископаемых недалекого будущего.

Важнейшей задачей в области утилизации ТБО является подготовка специалистов для данной области хозяйства, которая в какой-то степени начала осуществляться в нашей стране только после 2000 г. С пониманием того, что специалисты в этой области необходимы, ранее низкооплачиваемая и непrestижная работа, постепенно стала превращаться в доходную и важную деятельность, которая остро нуждается в кадрах соответствующего направления. Необходимо отметить, что, по данным экономистов, сфера обращения ТБО - одна из доходных отраслей в мире, одна из самых рентабельных и стабильных. Тем более, что в России для подобного бизнеса имеется огромное поле деятельности.

### ***Порядок организации сбора, хранения, утилизации и вывоза отходов производства и потребления***

#### **1. Общие положения**

1.1. Настоящий Порядок разработан в соответствии с Федеральным законом "Об отходах производства и потребления", Федеральным законом "Об охране окружающей среды", Санитарными правилами «Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов» с целью организации деятельности в области обращения с отходами на территории промышленных площадок предприятия.

1.2. Настоящий Порядок определяет систему обращения с отходами производства и потребления в Обществе в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую природную среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

1.3. Целью настоящего Порядка является снижение неблагоприятного воздействия отходов производства и потребления на здоровье населения и среду обитания человека путем:

- внедрения современных малоотходных и безотходных технологий в процессе производства;
- минимизации их объема и снижение их опасности при первичной обработке;
- использования полупродуктов и отходов основных цехов предприятия в качестве вторичного сырья в производственных циклах вспомогательных цехов или на специальных предприятиях по переработке;
- предупреждения их рассеивания или потерь в процессе перегрузки, транспортировки и промежуточного складирования.

## **2. Организация обращения с отходами**

Процесс обращения с отходами в Обществе включает в себя следующие этапы: образование, накопление, первичная обработка (сортировка, прессование, тарирование и др.).

Обращение с каждым видом отходов производства и потребления зависит от их происхождения, агрегатного состояния, физико-химических свойств субстрата, количественного соотношения компонентов и степени опасности для здоровья населения и среды обитания человека.

На промышленной площадке Общества процесс обращения с отходами включает в себя этапы: образование (не является лицензируемым), накопление и временное хранение, первичную обработку (сортировку, прессование, тарирование) и передача (транспортировка) транспортом Исполнителя, имеющим разрешительную документацию для транспортировки и дальнейшего обращения с отходами: использование, обезвреживание, утилизацию, захоронение, вторичную переработку.

Степень (класс) опасности отходов определяется в соответствии с действующим нормативным документом расчетным и экспериментальным путем.

\*\*\*В результате производственно-хозяйственной деятельности предприятия образуется  
видов отходов производства и потребления.

I класс – .....наименование (отработанные люминесцентные лампы);

II класс –.....наименование (аккумуляторы с неслитым электролитом);

III класс –.....наименования (отработанные масла, масла трансмиссионные, отходы органических галогенсодержащих растворителей, их смесей и других галогенированных жидкостей (шлам химчистки), ветошь, лом и отходы металлов (фильтр масляный);

IV класс –..... наименований (промасленная ветошь, мездра, изношенные шины, шлак сварочный, мусор от бытовых помещений, отходы ЛОС, пыль .....ая);

V класс – ..... наименований (лом черных и медных сплавов, мусор от уборки территории, отходы полипропилена, пищевые отходы, отходы шерсти, абразивные круги отработанные, полиэтиленовая тара, опилки натуральной чистой древесины).

\*\*\* Для временного накопления отходов на территории предприятия выделено несколько специально оборудованных площадок, отработанные люминесцентные лампы хранятся в специально предусмотренном закрытом помещении.

2.1. Организация обращения с отходами на территории предприятия представляет собой комплекс мероприятий по рациональному сбору, хранению и передаче отходов.

## **2.2. Сбор отходов**

2.2.1. *Организация сбора отходов* - деятельность по удалению отходов из мест их образования и накоплению их в местах временного хранения, предназначенных для сбора отходов.

2.2.2. *Места, предназначенные для сбора отходов.* Сбор отходов производится:

- в контейнеры для твердых бытовых отходов и уличного смета;
- на специальные площадки для крупногабаритных отходов (металлолом, отработанные покрышки, аккумуляторы);
- в специализированные помещения для хранения (ртутные лампы);
- на территориях цехов, складируются отходы производства;
- в иные места (помещения) для временного хранения отходов.

2.2.3. *Требования к конструкции контейнеров* для сбора твердых бытовых отходов и к их установке:

2.2.3.1. Сбор твердых бытовых отходов (далее - ТБО) производится в контейнеры емкостью до 1,2 м<sup>3</sup>, исключающие попадание атмосферных осадков и раздувание отходов.

2.2.3.2. На контейнеры наносится информация способом, обеспечивающим ее механическую стойкость:

- вид отходов;
- инвентарный номер контейнера;
- владелец контейнера;
- наименование (номер контейнерной площадки).

2.2.3.3. На контейнерной площадке размещается информация:

- наименование (номер контейнерной площадки);
- владелец контейнерной площадки;
- график вывоза отходов;

2.2.4. *Порядок размещения контейнерных площадок:*

2.2.4.1. Места размещения контейнерных площадок и иных мест временного хранения отходов, специальных площадок для крупногабаритных отходов, определены руководством предприятия и обозначены на карте-схеме.

2.2.4.2. При увеличении объемов образования отходов может увеличиваться количество контейнеров на существующей контейнерной площадке, но не более допустимого в соответствии с действующими санитарными нормами и правилами.

2.2.5. *Расчет потребности в контейнерах для сбора ТБО*

2.2.5.1. Расчет потребности в контейнерах для ТБО осуществляется по следующим формулам:

Суточное образование отходов:

$$C = P \times N \times K_n, \text{ где}$$

С - суточная норма накопления ТБО;

Р - количество работающих на предприятии, человек (всего – 180);

Н - суточная норма накопления ТБО на 1 человека;

$K_n = 1,25$  - коэффициент неравномерности накопления ТБО.

$$C = 180 * 0,002 * 1,25 = 0,45 \text{ м}^3/\text{сутки}$$

Необходимое количество контейнеров:

$$P_{\text{сб}} = (C \times T \times K_p) / (V \times K_3), \text{ где}$$

$$P_{\text{сб}} = (0,45 * 3 * 1,05) / (1,2 * 0,75) = 1,575 = 2 \text{ контейнера.}$$

Т - периодичность вывоза (количество суток между очередными вывозами), сут.;

$K_p = 1,05$  - коэффициент повторного заполнения отходами контейнеров в результате уборки контейнерной площадки после разгрузки контейнеров;

$V$  - объем одного контейнера;

$K_z = 0,75$  - коэффициент заполнения контейнеров.

2.2.5.2. На территории предприятия устраивают специальные бетонированные или асфальтированные площадки для размещения контейнеров. Площадка должна быть с водонепроницаемым покрытием.

2.2.5.3. Подъезды к местам, где установлены контейнеры, должны освещаться и иметь дорожные покрытия с учетом разворота машин и выпуска стрелы подъема контейнеровоза или манипулятора.

#### *2.2.6. Требования к конструкции и к размещению других мест сбора отходов.*

2.2.6.1. Для предотвращения засорения территории предприятия отходами устанавливаются урны емкостью не менее 10 л.

У каждого входа в производственные цеха должно быть расположено не менее 1 урны.

Места размещения урн на территории предприятия определяются руководством в зависимости от интенсивности использования территории.

2.2.6.2. Контейнеры-накопители для мусора, образующегося при уборке помещений, рекомендуется изготавливать из полиэтилена емкостью 50 л, оборудовать колесиками диаметром не менее 100 мм и ручками-захватами для перемещения контейнера по территории цехов и при выгрузке в контейнер ТБО.

2.2.6.3. Для хранения отработанных люминесцентных ламп выделено специализированное место, оборудованное в соответствии с санитарными правилами.

2.2.6.4. Для хранения отходов, обладающих пожароопасными свойствами (отработанные масла, ветошь, масляные фильтры) организуются специальные места хранения (обособленное помещение, выполненное из металлических листов), исключающие возможность самопроизвольного возгорания.

2.2.6.5. Специальные площадки для сбора и временного хранения крупногабаритных отходов должны иметь твердое покрытие, ограждение, препятствующее развалу отходов, свободный подъезд к площадке для погрузки. Рекомендуется совместное расположение площадок для крупногабаритных отходов различных наименований. Отходы на площадках складируются на деревянных поддонах.

Места временного хранения металломата, аккумуляторов и отработанных покрышек располагаются в помещении склада сырья.

2.2.6.6. Контейнер для сбора пищевых отходов должен иметь крышку, окраску, защищающую материал, из которого изготовлен контейнер от агрессивного воздействия, как самих отходов, так и от химических растворов при проведении регламентных работ по дезинфекции контейнеров.

Расчет потребности в контейнерах для пищевых отходов должен предусматривать их наполнение: не более 2/3 объема контейнера в период наибольшего образования пищевых отходов. (На одно посадочное место – 0,0032 м<sup>3</sup>/сутки).

В сутки на предприятии образуется 0,576 м<sup>3</sup> пищевых отходов, следовательно, объем контейнера должен быть не менее 1,2 м<sup>3</sup>.

Временное хранение (до утилизации) пищевых отходов должно осуществляться только в охлаждаемых местах.

На контейнере должна быть сделана маркировка "Пищевые отходы". Утилизация пищевых отходов – ежедневная.

2.2.6.7. Отходы от производственной деятельности складируются на территории производственных цехов, упаковываются в тюки размером 0,5 м<sup>3</sup>, в конце рабочей смены организуется их вывоз автотранспортом предприятия.

2.2.6.8. Места временного хранения отходов на территории предприятия (оборудованные контейнерные площадки, иные места (помещения) для временного хранения отходов) определяются руководством по согласованию с контролирующими организациями и отражены в «Проекте нормативов образования отходов и лимитов на их размещение».

## 2.2.7. Особенности сбора отходов на отдельных территориях.

2.2.7.1. Сбор отработанных люминесцентных ламп организуется службой инженера-энергетика. Отработанные лампы упаковываются в картонные упаковки и хранятся в специализированном помещении, без доступа посторонних лиц.

2.2.7.2. Сбор отходов на стоянке автотранспорта организуется механиком, отходы от эксплуатации автотранспорта размещаются на оборудованных площадках.

Отработанные горюче-смазочные материалы собираются в 60-литровые, герметично закрывающиеся бочки и хранятся в специально отведенных и оборудованных местах для обязательной последующей транспортировки в соответствии с действующим законодательством.

Объем заполнения бочек – 80%. Собираемые маслосодержащие отходы не должны иметь механических примесей.

Отработанные аккумуляторы складируются на деревянных поддонах, сверху накрываются полиэтиленовой пленкой. Списывают аккумуляторные батареи в соответствии с РД 3112199-1089-02, с составлением акта установленной формы.

2.2.7.3. Сбор осадка после очистки сточных вод, организуется операторами ЛОС в пластмассовую или металлическую герметичную тару, которая размещается на поддонах и складируется в помещении до времени транспортировки.

2.2.7.4. Сбор строительных отходов при осуществлении строительства, реконструкции, ремонта, восстановлении, сноса объектов недвижимости производится в соответствии с проектной документацией.

При производстве работ на объектах ремонта и реконструкции без отведения строительной площадки или при отсутствии специально обустроенных мест складирования отходы допускается хранить в специальных емкостях или мешках на улице около объекта ремонта и реконструкции. Хранение отходов до их вывоза допускается не более 3-х суток.

*2.2.8. Применяются следующие способы складирования отходов в местах временного накопления:*

- временное хранение на производственных территориях на открытых площадках или в специальных помещениях (в цехах, складах, на открытых площадках, и др.);
- временное складирование на промежуточных (приемных) пунктах сбора и накопления.

## **2.3. Вывоз отходов**

*2.3.1. Организация вывоза отходов* - деятельность по перемещению отходов с мест их сбора и временного накопления к месту их утилизации, хранения или захоронения на договорной основе.

Вывоз отработанных люминесцентных ламп производится в ООО «ЛАМПА» г. Прокопьевск для обезвреживания транспортом Исполнителя;

Вывоз аккумуляторов с неслитым электролитом производится в ООО «ЭЛЕКТРОЛИТ» для обезвреживания транспортом Исполнителя. Аккумуляторы вывозятся с оформленными актами на списание;

Вывоз отработанных масел осуществляется в ООО «МАСЛА» транспортом Исполнителя для дальнейшего использования;

Вывоз твердых бытовых отходов и отходов производства (V класс опасности) производится на организованный полигон по захоронению ТБО ГМУП «СВАЛКА» г. Кольчугино для захоронения транспортом Исполнителя;

Вывоз отработанных покрышек и осадка после ЛОС производится на организованный полигон промышленных отходов ЗАО «ОТХОД» г. Кольчугино для захоронения транспортом Исполнителя;

Вывоз металлома, сварочных электродов осуществляется в ЗАО «СварЭЛД» транспортом Исполнителя для использования;

Вывоз картона и полиэтиленовой упаковки осуществляется ГМУП «СВАЛКА» транспортом Исполнителя для использования;

Вывоз шлама химчистки осуществляется в ООО «ТОКСИКА» транспортом Исполнителя.

Утилизация пищевых отходов должна производиться ежедневно в соответствии с требованиями санитарных норм и правил.

*2.3.2. Периодичность вывоза отходов*

Вывоз отходов осуществляется:

- ТБО - не реже 1 раза в трое суток (при температуре минус 14 С° и ниже) и ежедневно в теплое время (при температуре выше 14 С°);
- отходы производства вывозятся по мере формирования транспортной партии;
- отработанные люминесцентные лампы вывозятся по мере достижения лимита накопления;
- отработанные масла, покрышки, аккумуляторы, отходы ЛОС вывозятся по мере накопления товарной партии (но не более установленных лимитов).

## **2.4. Утилизация отходов**

2.4.1. Организация утилизации отходов определяется применением в системе обращения с отходами на территории области, обеспечивающей их сортировку и брикетирование.

2.4.2. Отработанные моторные, трансмиссионные масла сдаются ООО «МАСЛА» транспортом Исполнителя для очистки и последующего использования.

## **3. Сбор бытовых отходов**

3.1. Периодичность вывоза бытовых отходов устанавливается п.2.3.2 настоящего Положения.

3.2. Размер контейнерных площадок должен быть рассчитан на установку необходимого числа контейнеров, но не более 6.

3.3. Металлические сборники отходов в летний период необходимо промывать (при "несменяемой" системе не реже одного раза в 10 дней, "сменяемой" - после опорожнения). Окраска всех металлических мусоросборников должна производиться не менее двух раз в год - весной и осенью.

3.4. Выбор вторичного сырья (картон, упаковочная бумага, полиэтиленовая пленка, металлом) из сборников отходов, а также из мусоровозного транспорта не допускается. Для этого необходимо предусмотреть отдельные контейнеры и мусоросборники, предназначенные для сбора каждого вида отходов отдельно.

3.4.1. Упаковочный картон, упаковочная бумага складируются на поддоны, установленные в помещениях цехов. По мере накопления предельной высоты паллеты (1,7 м по высоте, вместе с поддоном) отходы картона вывозятся на склад сырья и размещаются в районе погрузочно-разгрузочной рампы. При предельном накоплении, формируется товарная партия (36 м3), вызывается представитель Исполнителя, который вывозит отходы, для вывоза оформляется накладная.

3.4.2. Макулатура, образующаяся от деятельности административно-управленческого персонала, складируется в картонные коробки, установленные в каждом кабинете. По мере заполнения коробок, технические персонал (уборщики), удаляют макулатуру из коробок и складывают в специальный ящик (надпись на нем «Макулатура») на складе сырья в районе погрузочно-разгрузочной рампы, макулатура вывозится вместе с отходами картона.

3.4.3. Упаковочная полиэтиленовая пленка, образующаяся при раскрытии транспортировочных паллет с нитками, снимается, складируется в специальные ящики с надписью «Пленка» (запрещается складировать черную и белую пленки вместе), по мере заполнения ящиков, пленка из них удаляется, связывается в тюки размером 1,0 м<sup>3</sup>, которые вывозятся на склад сырья и размещаются в районе погрузочно-разгрузочной рампы. По мере накопления товарной партии, вывозится вместе с картоном.

#### **4. Временное складирование и транспортировка отходов**

4.1. Временное складирование и транспортировка отходов производства и потребления определяется проектом нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

4.2. Допускается временное складирование отходов производства и потребления по согласованию с контролирующими органами:

- на производственной территории;
- в производственных или вспомогательных помещениях;
- на площадках временного накопления;
- на открытых, специально оборудованных для этого площадках.

4.3. Временное хранение отходов на производственной территории предназначается:

- для селективного сбора и накопления отдельных видов отходов;
- для использования отходов в последующем технологическом процессе и утилизации на вспомогательных производствах.

4.4. Хранение сыпучих и летучих отходов в помещениях в открытом виде не допускается.

4.5. В закрытых складах, используемых для временного хранения отходов I-II классов опасности, предусмотрена пространственная изоляция и раздельное хранение их на поддонах.

4.6. Накопление и временное хранение отходов производства на производственной территории осуществляется по цеховому принципу, отходов от вспомогательных производств и автотранспорта – централизованно.

4.7. Условия сбора и накопления определяются классом опасности отходов, способом упаковки и отражаются в Техническом регламенте и Инструкциях по обращению с отдельными видами отходов с учетом агрегатного состояния и надежности тары.

4.8. При этом хранение твердых промышленных отходов I класса разрешается исключительно в картонных упаковках; II – на поддонах накрытыми полиэтиленовой пленкой, во избежание рассеивания паров кислоты; III - в металлических контейнерах; IV – на поддонах, в герметичной таре, в металлических контейнерах, V – увязанными в тюки.

4.9. При временном хранении отходов в нестационарных складах, на открытых площадках без тары (навалом, насыпью) или в негерметичной таре необходимо соблюдать следующие условия:

- временные склады и открытые площадки располагать с подветренной стороны по отношению к жилой застройке;
- поверхность хранящихся насыпью отходов или открытых приемников-накопителей должна быть защищена от воздействия атмосферных осадков и ветров (укрытие брезентом, оборудование навесом и т.д.);
- поверхность площадки должна иметь искусственное водонепроницаемое и химически стойкое покрытие (асфальт, керамзитобетон, полимербетон, керамическая плитка и др.);
- по периметру площадки предусмотреть обваловку; допускать ее присоединение к локальным очистным сооружениям в соответствии с техническими условиями.

4.11. Хранение мелкодисперсных отходов в открытом виде (навалом) на промплощадке без применения средств пылеподавления не допускается.

4.12. Предельное накопление количества отходов на территории предприятия, которое единовременно допускается размещать на его территории, определяется проектом нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

4.13. Предельное количество отходов при открытом хранении определяется по мере накопления массы отходов в установленном порядке (п.2.2.5.1.).

4.14. Периодичность вывоза накопленных отходов с территории предприятия регламентируются установленными лимитами накопления промышленных отходов, которые определены в составе проекта нормативов образования отходов и лимитов на их размещение.

4.15. Немедленному вывозу с территории подлежат отходы при нарушении единовременных лимитов накопления или при превышении гигиенических нормативов качества среды обитания человека (атмосферный воздух, почва, грунтовые воды).

4.16. Перемещение отходов на территории промышленного предприятия должно соответствовать санитарно-эпидемиологическим требованиям, предъявляемым к территориям и помещениям промышленных предприятий. При перемещении отходов в закрытых помещениях следует использовать автопогрузчики.

4.17. Транспортировка промышленных отходов вне предприятия осуществляется автомобильным транспортом Исполнителя.

4.18. Перевозки отходов на полигоны складирования осуществляются специально оборудованным транспортом Исполнителя, имеющим разрешительную документацию.

4.19. Конструкция и условия эксплуатации специализированного транспорта должны исключать возможность аварийных ситуаций, потерь и загрязнения окружающей среды по пути следования. Все виды работ, связанные с загрузкой, транспортировкой и разгрузкой отходов, должны быть механизированы и по возможности герметизированы.

## **5. Обезвреживание отходов**

5.1. Захоронение ТБО производится согласно договора на полигоне ТБО ГМУП «СВАЛКА» г. Кольчугино. Вывоз отходов в несанкционированные места категорически запрещается.

5.2. Промышленные, не утилизируемые на производстве отходы вывозят согласно договора в специализированные организации транспортом Исполнителя.

Устройство неконтролируемых и несанкционированных полигонов (свалок) бытовых отходов и отходов промышленных запрещается.

5.3. В период листопада опавшие листья необходимо своевременно убирать. Собранные листья следует вывозить раздельно или вместе с ТБО на полигон ТБО транспортом ГМУП «СВАЛКА» г. Кольчугино. Сжигать листья на территории предприятия запрещается.

## **6. Требования к размещению, устройству и содержанию объектов**

6.1. Объекты складирования отходов производства и потребления предназначаются для временного их накопления при условии обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности населения и охраны окружающей среды.

6.2. Помещения для размещения токсичных отходов должны располагаться на территориях с уровнем залегания подземных вод на глубине более 20 метров с коэффициентом фильтрации подстилающих пород не более 10(-6) см/с; на расстоянии не менее 2 метров от земель сельскохозяйственного назначения, не используемых для производства продуктов питания.

6.3. Хранение отходов на территории предприятия осуществляется с учетом классов опасности, агрегатного состояния, водорастворимости.

6.4. Промышленные отходы, допускаемые для совместного складирования с ТБО, должны отвечать следующим технологическим требованиям - не быть взрывоопасными, самовозгорающимися, токсичными и с влажностью не более 85%.

### **2.19 Лабораторная работа №19 Морфологический и физико-химический состав ТБО для разных климатических зон.**

**Морфологический состав.** ТБО по морфологическому признаку подразделяются на компоненты: бумагу, картон; пищевые отходы; дерево; металл (черный и цветной); текстиль; кости; стекло; кожа; резина; камни; полимерные материалы, прочие (неклассифицируемые части); отсев (менее 15 мм). По единой методике, принятой странами СЭВ, при необходимости добавляется компонент «садовые отходы». При проектировании предприятий по переработке ТБО необходимы сведения о морфологическом составе ТБО различных климатических зон (табл. 1.3).

Таблица 1.3. Морфологический состав ТБО для различных климатических зон, % массы

Компонент	Климатическая зона		
	средняя	южная	северная

Бумага, картон	25...30	20...28	21...24
Пищевые отходы	30...38	35...45	28...36
Дерево	1.5...3	1...2	2...4
Металл черный	2...3,5	1,5...2	3...4,5
» цветной	0,2...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3
Текстиль	4...7	4...7	5...7
Кости	0,5...2	1...2	2...4
Стекло	5...8	3...6	6... 10
Кожа, резина	2...4	1...3	3...7
Камни	1...3	1...2	1...2
Пластмасса	2...5	1,5...2,5	2...4
Прочее	1...2	1...2	1...3
			7... 13
Отсев (менее 15 мм)	7...13	10...18	

Для решения вопроса о целесообразности использования утильных компонентов ТБО проводят более подробный анализ состава отходов, дифференцируя:

- бумагу на условно чистую (утильную) и загрязненную;
- металл — на изделия из железа, консервные банки и цветной;
- пластмассу — на упаковочную и изделия из пластмасс.

Сезонные изменения состава ТБО характеризуются увеличением содержания пищевых отходов с 20...25 % весной до 40...55 % осенью, что связано с большим употреблением овощей и фруктов в рационе питания (особенно в городах южной зоны). Зимой и осенью сокращается содержание мелкого отсева (уличного смета) с 20 до 7 % в городах южной зоны и с 11 до 5 % в средней зоне.

Существенно влияет на состав ТБО организация сбора в городе утильной бумаги, пищевых отходов, стеклотары. Опыт показывает, что с течением времени состав ТБО несколько меняется. Увеличивается содержание бумаги, полимерных материалов. С переходом на централизованное теплоснабжение в крупных городах СССР резко сократилось (практически до нуля) содержание в ТБО угля и шлака.

**Фракционный состав ТБО** (процентное содержание массы компонентов, проходящих через сите с ячейками различного размера) оказывает влияние как на технологию и организацию сбора и транспорта, так и на параметры оборудования мусороперерабатывающих заводов,

В табл. 1.4 приведен фракционный и морфологический состав ТБО, дающий более полную информацию о свойствах материала. В таблицу не вошли данные о крупногабаритных отходах (старая мебель, холодильники, стиральные машины, обрезки деревьев, крупная упаковочная тара), т. е. ТБО, не вмещающихся в стандартные (075 м<sup>3</sup>)

контейнеры и собираемых отдельно. Фракционный состав ТБО, как и морфологический, резко меняется по сезонам года и отличается в разных климатических зонах.

Таблица 1.4. Средний морфологический и фракционный состав ТБО Москвы, % общей массы ТБО

Состав	Размер фракций, мм				
	Более 250	250...150	150...100	100...50	Менее 50
Бумага	3...8	9...11	9...11	7...9	2...5
Пищевые отходы	-	0...1	2...10	7...13	17...22
Дерево	0,5...1	0...0,5	0...0,5	0,5...1	0...0,5
Металл	-	0...1	0,5...1	0,8...1,6	0,3...0,5
Текстиль	0,2...1,3	1...1,5	0,5...1	0,3...1,8	0...0,6
Кости	-	-	-	0,3...0,5	0,5...0,9
Стекло	-	0...0,3	0,...1	1...2	1,5...3
Кожа, резина	-	0...1	0,5...2	0,5...1,5	0...0,3
Камни	-	-	0,2...1	0,5...1,5	0,5...2
Пластмасса	0...0,2	0,3...0,8	0,2...0,5	0,2...0,5	0,2...0,5
Прочее	-	0...0,5	0...0,3	0...0,4	0...1
Отсев (менее 15 мм)	-	-	-	-	7...10
Всего	4...10	11...15	18...22	20...30	30...40

**Химический состав ТБО.** Качество получаемого в процессе переработки ТБО органического удобрения или биотоплива зависит от химического состава исходных ТБО (табл. 1.5).

Таблица 1.5. Химический состав ТБО, % сухой массы

Показатель	Предел изменения для климатической зоны		
	средней	южной	северной
Органическое вещество	56...72	56...80	55...60
Зольность	28...44	20...44	40...45
Общий азот	0,9...1,9	1,2...2,7	1,2...1,6
Кальций	2...3	4...5,7	2,1...4,8
Углерод	30...35	28...39	28...30
Фосфор	0,5...0,8	0,5...0,8	0,4...0,5
Общий калий	0,5...1	0,5...1,1	0,4...0,5
Сера	0,2...0,3	0,2...0,3	0,2...0,3

Реакция среды, рН	5...6,5	5...6,5	5...6,5
Влажность, % общей массы	40...50	40...70	43...48

## 2.20 Лабораторная работа №20 Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов.

### Обезвреживание и захоронение токсичных отходов

Обезвреживание и захоронение токсичных промышленных отходов является экологической необходимостью. Это сложное дело, требующее больших капитальных и эксплуатационных затрат. В развитых странах количество токсичных отходов на одного человека в год составляет 70 кг, а стоимость обезвреживания одной тонны 500 долл. США. Обезвреживание и захоронение производятся на специальных полигонах, которые предусматриваются при разработке планов и проектов территорий, расположенных вблизи крупных городов.

Строительство полигона должно производиться на основе долевого участия предприятий и организаций, где имеются отходы. Размеры долевого участия определяются пропорционально затратам на уничтожение и захоронение отходов.

Заказчиком полигона является предприятие, отходы которого требуют наибольших затрат на обезвреживание и захоронение. Построенные полигоны передаются для эксплуатации соответствующим коммунальным хозяйствам. К сожалению, проценты использования отходов, особенно их полного обезвреживания, в настоящее время крайне низки.

Строительство и эксплуатация полигона осуществляются в соответствии с «Санитарными правилами проектирования, строительства и эксплуатации полигонов захоронения неутилизируемых отходов» и Санитарными нормами и правилами (СНиП 1.02.28-85) «Основные положения по составу проекта полигона по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов».

Полигоны для обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов являются природоохранными сооружениями. Они предназначены для регулярного централизованного сбора, удаления, обезвреживания и захоронения неиспользуемых токсичных отходов и некондиционных продуктов (веществ) промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций и учреждений, расположенных в одной или нескольких промышленных зонах.

В состав полигона должны входить три основные группы объектов.

1. Завод (или ряд установок) по обезвреживанию токсичных промышленных отходов, предназначенных для сжигания или физико-химической переработки отходов с целью их полного обезвреживания или снижения токсичности (класса опасности), перевода в нерастворимые формы, обезвоживания или сокращения объёма отходов, подлежащих захоронению.

2. Участок для захоронения отходов, представляющий собой специально выбранную и подготовленную территорию, на которой располагаются оборудованные котлованы, где складируются группы токсичных твердых отходов.

3. Гараж специализированного парка автомашин, предназначенных для транспортировки токсичных отходов.

Полигон должен размещаться в обособленных, свободных от застройки, хорошо проветриваемых местах таким образом, чтобы можно было легко осуществить мероприятия, исключающие загрязнение окружающей среды населенных пунктов, зон массового отдыха людей и источников питьевого водоснабжения (открытых водоемов, водохранилищ и подземных вод).

При создании полигона особое внимание уделяется проектированию дождевой и хозяйственно-бытовой канализации, а также дренажа. Общая система канализации полигона должна быть бессточной. На полигон не принимаются вещества, которые можно обезвредить средствами предприятия, радиоактивные отходы (для них существуют специальные хранилища) и нефтепродукты, которые можно регенерировать.

Способ обезвреживания и захоронения отходов зависит от агрегатного состояния, водорастворимости и класса опасности веществ и их соединений. Класс опасности отходов, подлежащих захоронению, определяется в соответствии с методическими рекомендациями, разработанными Минздравом России.

Существует четыре класса опасности веществ и их соединений:

1-й класс - чрезвычайно опасные, 2-й - высокоопасные, 3-й - умеренно опасные, 4-й - малоопасные.

К 1-му классу относятся такие вещества, как сурьма, ртуть, бенз-а-пирен, хром, оксид мышьяка, цианистый калий, треххлористая сурьма; ко 2-му - хлористая медь, азотнокислый свинец, трёхокись сурьмы и др. Оксид свинца, никель, сульфат меди, четырёххлористый углерод составляют 3-й класс; сульфат марганца, фосфаты, хлориды - 4-й класс.

На все отходы, ввозимые на полигон, должны быть представлены паспорт с указанием состава отходов и краткое описание требований безопасности при обращении с ними на полигоне (захоронении или сжигании). На полигоне отходы взвешивают и отбирают пробы для определения их состава. На контрольном талоне паспорта ставится штамп «Отходы приняты». Контрольный талон возвращается на предприятие, а паспорт остается на полигоне как документ для финансовых расчётов и статистический материал для определения количества и состава принятых отходов.

Схема работы полигона должна предусматривать следующие основные мероприятия, позволяющие регулярно и организованно, с соблюдением мер безопасности удалять неутилизируемые токсичные отходы, обезвреживать их и надежно захоранивать, обеспечивая защиту окружающей среды:

- организацию сбора неутилизируемых токсичных отходов на предприятиях-поставщиках,

- организацию транспортировки токсичных отходов на полигон;
- организацию приема токсичных отходов на полигоне, их обезвреживание и захоронение.

В настоящее время наиболее распространенными методами обезвреживания токсичных отходов являются:

для отходов органического происхождения — сжигание при высоких температурах (при снижении температуры процесса возможно выделение суперэкотоксикантов);

для неорганических отходов — физико-химическая обработка в несколько стадий, которая способствует образованию безвредных, в большинстве случаев нейтральных и нерастворимых в воде соединений.

## 2.21 Лабораторная работа №21 Переработка и утилизация промышленных отходов по полной заводской технологии.

За последнее время в развитых промышленных странах Западной Европы, Японии и США переработка основной массы ПО ведется централизованно, по полной заводской технологии. При этом практически исключается процесс захоронения или складирования отходов на территории предприятий за исключением золы, шлака и обезвоженных гальванишламов, которые по мере накопления вывозятся на переработку в строительные материалы или для других целей.

Одним из образцовых предприятий такого типа является завод «Коммуникеми» в г. Ниборге (Дания). Завод расположен в центре страны и занимает площадь 5 га. Приемный пункт завода имеет подъездные автомобильные дороги и железнодорожную ветку, вдоль которой на длине 170 м построена платформа, предназначенная для разгрузки бочек и товарных вагонов. Специальное место выделено для разгрузки железнодорожных цистерн.

Доставка отходов на завод «Коммуникеми» осуществляется фирмой «Трансхимия». Для опорожнения цистерн, привозящих нефтеотходы, растворители, жидкие токсичные отходы, на заводе применяется трубопроводный транспорт, так что, начиная с места разгрузки и до обезвреживающей установки, персонал не имеет непосредственного контакта с токсичными отходами.

Пастообразные отходы химической промышленности, использованные консистентные смазки, жироподобные вещества привозят в бочках, которые устанавливают на движущийся рольганг, вскрывают специальными ножами и транспортируют дальше к месту сжигания.

В состав основного технологического оборудования, смонтированного на заводе «Коммуникеми», входят:

- установка для обработки отработанных масел;
- установка для обработки загрязненных растворителей, включая оборудование для опорожнения бочек, содержащих пожаро-взрывоопасные вещества;

- установка для обработки неорганических химических загрязнений;
- установка с барабанной печью для сжигания и прокаливания промышленных твердых, жидких и пастообразных отходов;
- котел-утилизатор и система очистки дымовых газов;
- специальная циклонная печь с мокрой очисткой дымовых газов для термического обезвреживания галогенсодержащих углеводородов.

Значительное место на заводе занимают наземные резервуары для хранения жидких химических отходов и нефтепродуктов. Для складирования твердых отходов на время ремонта или технического обслуживания оборудования предназначено специальное хранилище. У въезда на завод размещается административный корпус, который кроме административных помещений включает также лабораторию, зал заседаний, душевые, гардероб, столовую.

На заводе «Коммуникеми» (рис. 3.7) от одной станции контроля и приемки отходов, поступающих по железной дороге и автотранспортом, ответвляются *две линии сжигания* для галогенсодержащих и всех остальных отходов. Доставленные на завод *отработанные масла и нефтесодержащие отходы* подвергаются обработке путем нагрева до 90...100 °C и последующего отстаивания в вертикальных резервуарах, где они *разделяются на четыре фракции*:

- *осадок*, перекачиваемый на сжигание двухпоршневыми насосами и предварительно проходящий через дробилки;
- *воду*, подаваемую в камеру дожигания;
- *масло*, идущее потребителям для вторичного использования;
- *легковоспламеняющиеся отходы*, которые собираются в верхней части резервуара и направляются в конденсатор, а затем в жидким виде смешиваются с растворителями, привозимыми отдельно, и направляются на сжигание.

*Растворители служат топливом* для барабанной печи, являющейся основным оборудованием завода для обезвреживания отходов.

*Загрузка отходов в печь* может осуществляться следующими способами: скраповым подъемником для твердых отходов; лифтом для металлических бочек и барабанов вместимостью до 200 л; поршневыми насосами для подачи сгущенных нефтесодержащих осадков, собранных после отстаивания загрязненных масел и растворителей.

Подача высококалорийных растворителей, служащих основным топливом для работы барабанной печи и обезвреживания отходящих газов в камере дожигания, осуществляется насосами через форсунки. Загрузочное отверстие барабанной печи снабжено качающимся шибером, предотвращающим подсос воздуха во время подачи отходов. Шлаковая подушка, образующаяся в нижней части печи в процессе горения отходов, предотвращает кирпичную футеровку от разрушения при падении в печь тяжелых металлических бочек. Оба подъемника (для твердых отходов и бочек) во избежание несчастного случая блокированы друг против друга.

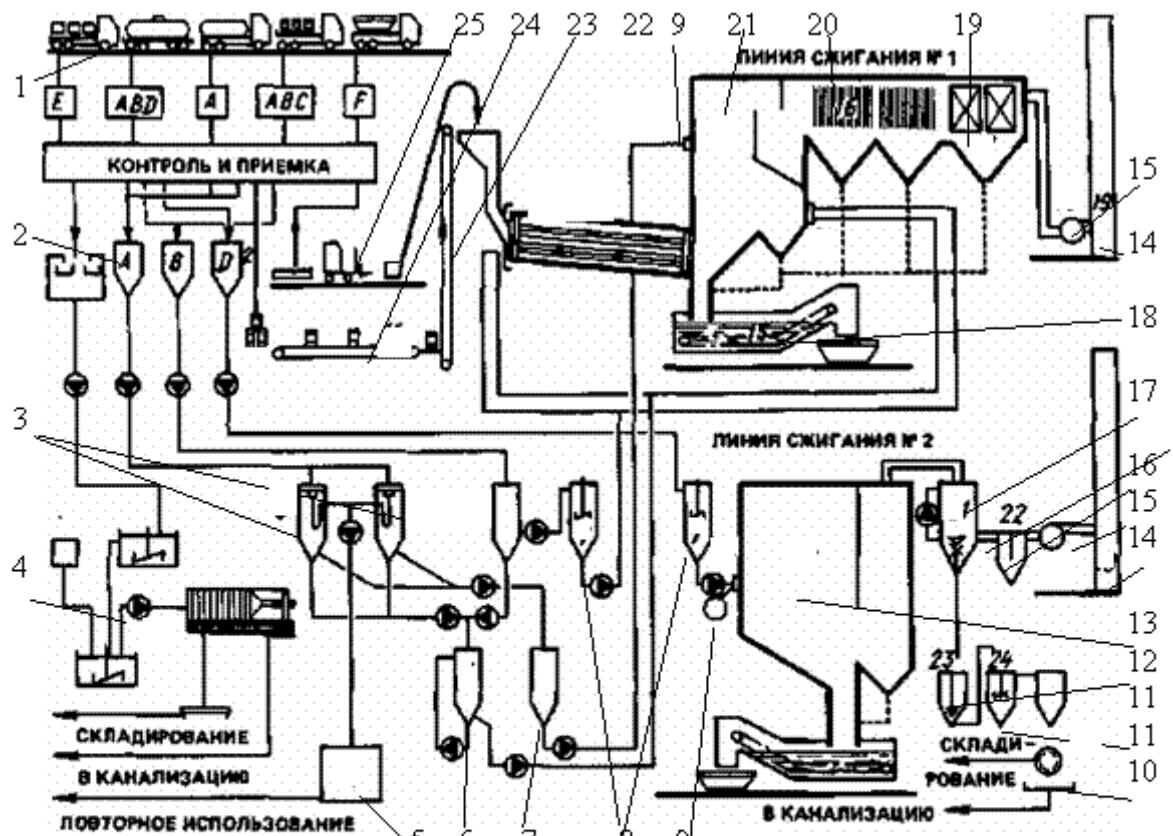


Рис. 3.7. Технологическая схема для линии сжигания «комплекса»: 1 – разгрузочная платформа; 2 – приемные резервуары; 3 – разделочные резервуары; 4 – фильтр-пресс; 5 – бак-накопитель; 6, 7 – расходные баки; 8 – мешалки; 9 – форсунки; 10...12, 16, 17 – система мокрой очистки газов; 13 – камерная печь; 14 – труба; 15 – дымосос; 18 – шлакоудаление; 19 – электрофильтр; 21 – камера дожигания; 20 – котел-утилизатор; 22 – барабанная печь; 23...25 – загрузочные устройства

Дозировка подачи твердых отходов производится изменением числа ходов подъемников. Дозировка остальных веществ осуществляется в результате изменения подачи соответствующих насосов.

Поступающие на сжигание через загрузочные узлы ПО перемешиваются и сгорают в барабанной печи 22. Оптимальный режим ее работы обеспечивается регулированием частоты вращения барабана. Твердые и жидкие шлаки на выходе из барабанной печи попадают в мокрый шлаковый бункер 18 и транспортируются на склад. Несгоревшие частицы и отходящие газы поступают в камеру дожигания 21, где поддерживается температура 900...1000 °C. Если вследствие низкой теплоты сгорания отходов или неполного сгорания температура в барабане понижается, то через расположенную сбоку горелку подается дополнительное топливо, что способствует повышению температуры и полному сгоранию отходов. Для обеспечения полного выгорания отходящих газов в камеру вторичного сжигания 21 с большой скоростью вдувают вторичный воздух. Правильно выбранная протяженность и направленность потока отходящих газов обеспечивает их полное дожигание и равномерную нагрузку котла.

Расположенный после камеры дожигания паровой котел обеспечивает тепловой энергией нужды завода, а избыток пара используется для подогрева воды в системе

теплоснабжения г. Ниборга. Температура перегретого пара составляет около 240 °С, температура выходящих из котла газов колеблется в пределах 280...300 °С.

В летнее время часть пара охлаждается в воздушных конденсаторах, а образовавшийся конденсат возвращается на рециркуляцию. Для покрытия потерь воды в термической системе станции построена установка водоподготовки для полного обессоливания воды производительностью 4 м<sup>3</sup>/ч.

**Отходящие газы очищаются в электрофильтре 19.** Пыль оседает на вертикально установленные коронирующие электроды и осадительные пластины, которые периодически очищаются ударным способом с помощью падающего молота. Вся установка для сжигания работает под пониженным давлением, которое создается дымососом 15.

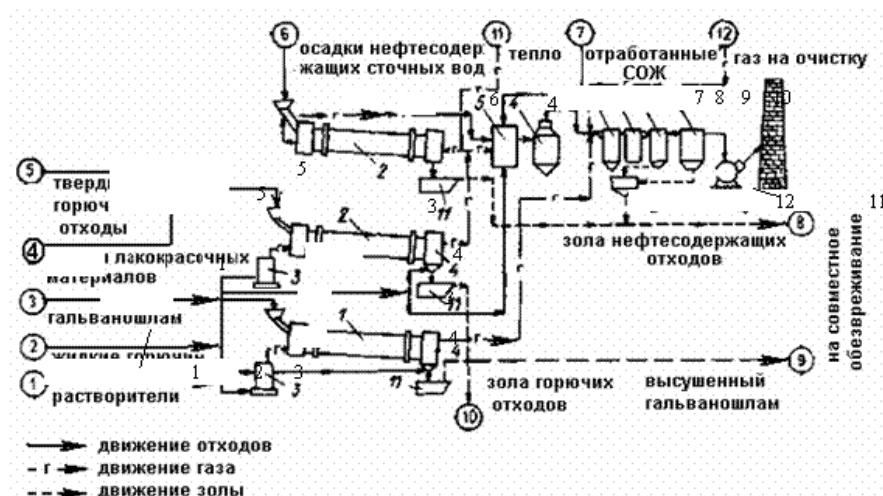


Рис. 3.8. Технологическая схема термической обработки ПО: 1 – тонка для жидкого отхода; 2 – барабанная сушилка; 3 – выгрузка золы; 4 – камера дожигания; 5 – барабанная печь; 6 – выпарная установка; 7 – циклон; 8 – котел-утилизатор; 9 – электрофильтр; 10 – мокрая очистка газов; 11 – дымосос; 12 – сборник золы

Шлаки и обезвоженные гальванические шламы вывозят в определенное место и складируют с соблюдением осторожности. Линия сжигания для галогенсодержащих отходов значительно меньше линии, предназначеннной для сжигания всех остальных отходов. Специфика отходящих токсичных газов требует их мокрой очистки в скруббере. Образующуюся сточную воду нейтрализуют известью, а обезвоженные дымовые газы объемом 30 000 м<sup>3</sup>/ч через трубу 14 выбрасываются в атмосферу. Очищенную сточную воду сливают в систему городской канализации, а обезвоженный шлам направляют на площадку хранения и для дальнейшего использования. Расчетная производительность завода – 80 000 т промышленных отходов в год. Общие затраты на строительство завода составили 70 млн. датских крон (9 млн. руб. по курсу того времени), из них 40 млн. крон (5 млн. руб.) составили затраты на оборудование.

Большой опыт по заводской переработке ПО накоплен и в других странах.

Определенные сдвиги наметились и в отечественной практике. С целью решения проблемы обезвреживания ПО институтом Научно-исследовательский и проектный институт Генплана Москвы совместно с рядом институтов разработан проект очистки Москвы от ПО. МосводоканалНИИпроектом разработан централизованный комплекс

по обезвреживанию и переработке по заводской технологии нефтесодержащих и близких к ним по свойствам отходов и осадков с очистных сооружений промышленных предприятий, а также твердых отходов (рис. 3.8).

В состав комплекса входят производственные отделения:

- приема и подготовки к сжиганию жидких горючих отходов;
- приема и хранения растворителей и отходов лакокрасочных материалов;
- приема и подготовки к термической обработке осадков нефтесодержащих сточных вод;
- термической обработки отходов (нагретые газы от сжигания жидких и твердых горючих отходов используют для сушки и прокаливания негорючих отходов);
- очистки отходящих газов;
- очистки промышленных сточных вод комплекса;
- складирования обезвреженных материалов.

Кроме того, предусматриваются обслуживающие отделения, ремонтно-механическое, служебно-бытовое, вспомогательных служб.

Все отходы, поступающие на комплекс, проходят предварительную подготовку перед термической обработкой: обезвоживание, дробление, сортировку. Обезвоженные жидкие горючие отходы нефтепродуктов и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), растворители и отходы лакокрасочного производства, производственный мусор сжигают, и тепло отходящих газов используют для обжига осадков нефтесодержащих сточных вод и сушки гальваношламов. Сточные воды, образующиеся в технологическом процессе обработки отходов, а также ливневые воды после очистки от механических примесей и нефтепродуктов используют для мойки автомашин комплекса, гашения золы, приготовления реагентов.

Дымовые газы подвергаются двухступенчатой сухой и мокрой очистке и через дымовую трубу выбрасываются в атмосферу. Часть полученного котельного пара подается на отопление и горячее водоснабжение. Проектирование комплекса осуществляется на базе отечественного оборудования.

В настоящее время в России эксплуатируются 4 мусоросжигательных завода и 4 мусороперерабатывающих (табл. 3.3). Все мусоросжигательные заводы укомплектованы импортным оборудованием, все мусороперерабатывающие – отечественным.

Таблица 3.3

Технико-эксплуатационные показатели мусоросжигательных заводов России

Показатель	Местонахождение мусоросжигательного завода			
	Москва № 2	Москв	Пятиг	Мурм

		а № 3	орск	анск
Год пуска в эксплуатацию	1975	1983	1985	1986
Мощность по приему ТБО, тыс. м3/г. (тыс. т./г.)	370(75)	1500(300)	750(150)	600(120)
Изготовитель технологического оборудования	Франция	Дания	Чехия	Чехия
Количество вырабатываемого тепла, ГДж/год	335	1090	330	830
Число агрегатов, шт.	2	4	3	2
Производительность агрегата по ТБО, т/ч	8,3	12,5	15	15
Тип колосниковой решетки	Обратно-переталкивающая	Наклонно-переталкивающая с дожигательным барабаном	Валковая	Валковая
Занимаемая площадь, га	2,1	3,5	5,1	3,7

Главный недостаток мусоросжигательных заводов – трудность очистки выходящих в атмосферу газов от вредных примесей, особенно от диоксинов и оксидов азота. На мусоросжигательных заводах используется одноступенчатая схема очистки газов, что не позволяет реализовать их полную очистку и может вызвать загрязнение воздушного бассейна. В настоящее время разрабатываются технологии более глубокой очистки газов. На всех мусоросжигательных заводах обеспечивается утилизация тепла и извлечение черного металлом. В процессе сгорания ТБО на мусоросжигательном заводе наряду с дымовыми газами образуются еще два вида отходов: шлак и зола. Важной задачей при эксплуатации мусоросжигательных заводов является утилизация или захоронение токсичных золы и шлака, масса которых составляет до 30 % сухой массы ТБО. Проблема утилизации золы и шлака в настоящее время решена и находится в стадии внедрения.

При переработке на заводах из ТБО извлекаются лом черных и цветных металлов и другие утильные фракции, для чего предприятия оснащаются комплектом специального оборудования: сепараторами черного и цветного металла, стекла, пластмассы, а также грохотами, дробилками и др.

Наряду с полезными компонентами (органикой, азотом, фосфором, калием, кальцием и др.) в компосте присутствуют микроэлементы металлов, поэтому при его внесении в почву необходимо учитывать фоновые концентрации этих элементов в почве, с тем, чтобы не превысить значения ПДК в почве и в сельскохозяйственной продукции. Целесообразность применения того или иного из перечисленных методов обращения с ТБО зависит от размера города, состава и свойств ТБО данного города

или региона, потребности в утильных фракциях, тепловой энергии или удобрении, климатических условий и многих других факторов.

При выборе технологии обезвреживания ТБО обосновываются следующими критериальными оценки:

- 1) экологическая приемлемость по сокращению загрязнения атмосферы, водных источников, земли;
- 2) санитарная и эпидемиологическая безопасность всей системы сбора, транспортирования, обезвреживания и утилизации отходов;
- 3) выполнение законодательных норм по выбросу загрязняющих веществ в окружающую среду из комплексов по обезвреживанию отходов (экологическая безопасность), включая системы газоочистки, удаления золы, шлака и очистки сточных вод;
- 4) эффективность технологических и конструктивных решений, включающих:
  - ÿ производительность технологии;
  - ÿ уровень ее автоматизации;
  - ÿ степень защищенности от аварийных ситуаций и залповых выбросов;
  - ÿ коэффициент использования энергоносителей, применяемых в технологии;
- 5) капитальные вложения и сроки реализации капитальных вложений, приведенные стоимостные удельные затраты на обезвреживание единицы массы ТБО.

За последние 15 лет как в промышленно развитых странах, так и в России стратегия в области управления отходами подвергается существенным изменениям. Главными причинами таких изменений явились увеличение загрязнений природной среды и их негативное влияние на здоровье населения, а также произошедшие изменения в экологической политике и законодательстве.

В 1998 году в России принят федеральный закон «Об отходах производства и потребления», определяющий правовые основы обращения с бытовыми и промышленными отходами в целях предотвращения вредного воздействия отходов на здоровье человека и окружающую природную среду, а также вовлечения таких отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья.

Основными задачами управления отходами в России являются:

- ÿ максимальное использование селективного сбора ТБО с целью получения вторичных ресурсов и сокращения объема обезвреживаемых отходов;
- ÿ оптимальная эксплуатация полигонов ТБО с учетом последующей рекультивации территорий;
- ÿ дальнейшее строительство высокомеханизированных комплексных мусороперерабатывающих предприятий.

Таким образом, политика в сфере управления отходами главным образом ориентирована на снижение количества образующихся отходов и на развитие методов их максимального использования. При такой постановке задачи одним из важнейших элементов является селективный сбор и сортировка отходов перед их удалением с целью извлечения полезных и опасных для сжигания или компостирования компонентов. Однако в настоящее время в стране централизованная государственная система учета, сбора и использования вторичных ресурсов отсутствует. При переходе к рыночной системе хозяйствования не были созданы условия, которые стимулировали бы использование вторичных ресурсов. Специализированные предприятия, занимавшиеся переработкой вторичных материалов, при акционировании частично перешли на другие виды деятельности.

Разрушение централизованной системы сбора и переработки отходов и общее падение промышленного производства резко снизили объемы сбора и использования вторичного сырья. Проблема сбора и сортировки ТБО осложняется отсутствием нормативно-правовой основы для практического внедрения системы.

Несмотря на то, что отходы из жилого фонда являются существенным источником вторичного сырья, практическая реализация селективного сбора ценных компонентов представляет собой сложную проблему, связанную с организацией сбора и переработки загрязненного материала, а также с уровнем цен на сырье соответствующего качества. Поэтому на первом этапе развития системы обращения с ТБО наибольший интерес представляет сбор вторичного сырья из отходов общественных и коммерческих организаций и учреждений, количество и качество которого выше качества вторсырья, содержащегося в ТБО жилого фонда.

Существующая система учета и контроля за образованием и размещением отходов не позволяет из-за своей децентрализации получить достоверную информацию о фактических объемах образования отходов как в целом по России, так и по отдельным регионам, а также исключить несанкционированное их размещение. Это привело к образованию многочисленных стихийных несанкционированных свалок. Сложившаяся ситуация с размещением отходов негативно влияет на состояние природной среды и санитарно-эпидемиологическую обстановку как в целом по стране, так и вблизи крупных городов особенно.

Для мегаполисов в наибольшей степени подходит проектирование и строительство комплексных заводов, обеспечивающих использование отходов как источника энергии и вторичного сырья. Построение промышленной технологии именно по принципу комбинации различных методов переработки ТБО нивелирует недостатки каждого метода, взятого в отдельности. Именно комплексная переработка ТБО обеспечивает в совокупности малую отходность производства, его максимальную экологическую и экономическую целесообразность. При использовании технологии «сортировка + сжигание» количество шлака снижается до 15 % исходного ТБО, а золы – до 1 %, причем шлак может вовлекаться в промышленную переработку (производство строительных материалов по известным технологиям). При этом предварительная сортировка улучшает и ускоряет процесс компостирования органических веществ ТБО, облегчает очистку компоста от примесей, снижает потребную производительность оборудования для термической и биотермической обработки ТБО, улучшает состав отходящих газов, облегчает ведение процесса термообработки в оптимальном режиме.

Для городов с населением 100...200 тыс. жителей целесообразна разработка упрощенной технологии обезвреживания и утилизации ТБО. Для городов с населением около 100 тыс. жителей, расположенных в южных районах, целесообразно применение полевого компостирования ТБО с предварительным отбором утильных фракций.

Складирование отходов на полигонах остается пока основным методом обезвреживания отходов. Для сокращения площадей под полигоны разработаны методы **многоярусного складирования** с многократным уплотнением, что позволяет значительно увеличить нагрузку на единицу площади. **При высотной схеме** ТБО укладываются на высоту более 20,0 м.

Опыт строительства и эксплуатации полигонов для ТБО требует: разработки экономичных и эффективных материалов для промежуточной изоляции и противофильтрационных экранов в основании полигонов ТБО; разработку и внедрение специальных катков-уплотнителей; разработку оборудования для сбора и очистки фильтрата, сбора и утилизации биогаза.

Сложившаяся в Российской Федерации система обезвреживания ТБО основана на захоронении подавляющего большинства отходов (около 98 %) на полигонах и неорганизованных свалках. Из-за отсутствия раздельного сбора ТБО в общий контейнер, а нередко рядом с ним, вместе с бумагой, полимерной, стеклянной и металлической тарой, пищевыми отходами выбрасываются лекарства с просроченным сроком годности, разбитые ртутьсодержащие термометры и люминесцентные лампы, тара с остатками ядохимикатов, лаков, красок и т.д. Все это под видом малоопасных ТБО вывозится на свалки, которые чаще всего устраивают в выработанных карьерах, оврагах, заболоченных местах вблизи населенных пунктов, что недопустимо с эколого-гигиенических позиций.

Нередко их называют полигонами, однако они не отвечают требованиям, предъявляемым к сооружениям по захоронению отходов, не имеют гидроизолирующего (бетонного, глиняного или другого) основания, препятствующего распространению токсичных загрязнений по водоносным горизонтам. В результате сточные воды (фильтрат), которые вытекают из тела полигона, содержат в большом объеме крайне токсичные органические и неорганические загрязнения. Неконтролируемые процессы в теле свалки приводят к формированию болезнетворной микрофлоры, также усугубляющей опасность фильтрата. При отсутствии необходимой гидроизоляции фильтрат попадает в почву, проникает в подземные воды и по водостокам – в открытые водоемы, отравляя источники водоснабжения. Токсичность фильтрата приводит к уничтожению окружающей свалку растительности.

Кроме выделения фильтрата из тела свалки в атмосферу постоянно поступают газообразные продукты распада ТБО – метан, аммиак и пр. Они являются источником систематических пожаров на свалках, которые, в свою очередь, загрязняют атмосферу. Кроме того, метан является газом, способствующим разрушению озонного слоя.

Приведенные данные свидетельствуют о крайней экологической опасности неорганизованных свалок даже для тех, кто не входит в непосредственный контакт с отходами. В результате распространения загрязнений по воде и воздуху у жителей, проживающих вблизи со свалками, отмечается повышенная заболеваемость и смертность, рождение детей с уродствами. Наши свалки – это мины не только

замедленного действия, они уже воздействуют на ныне живущих и в еще большей степени будут воздействовать на будущие поколения.

Из-за нехватки территорий организованные свалки все дальше удаляются от городов. Чтобы далеко не везти, отходы выбрасываются в места, не предназначенные для этих целей. Огромное число несанкционированных свалок раскинулось в несчетном количестве вдоль автомобильных и железных дорог, в местах отдыха и купания, вокруг дачных и садовых товариществ. Контроль за ними практически отсутствует, не разработаны принципы и условия, препятствующие их образованию. Администрации, руководители территорий не замечают их, не организуют работ по контролю и ликвидации.

Несмотря на то, что большинство видов отходов являются ценным вторичным сырьем, а отдельные виды бумаги и картона, изделия хозяйственного потребления и обихода могут полностью или почти полностью изготавливаться из вторичного сырья, его доля в производстве важнейших видов продукции составила в 2002 году в среднем около 11 %, в том числе в производстве стали 27 %, гипса и цемента 20 %, картонно-бумажной продукции 18 %, изделий из термопластов – 4,2 % и т.д.

Использование отходов в 2002 году позволило обеспечить экономию первичных материальных ресурсов на сумму свыше 70 млрд. рублей:

— использование лома черных металлов позволило сэкономить свыше 19 млн. тонн чугуна на сумму около 58 млрд. руб.;

— за счет использования макулатуры и древесных отходов сэкономлено 9,7 млн. м<sup>3</sup> древесины на сумму 3,2 млрд. руб.;

— за счет использования зол и шлаков ТЭС в строительстве сэкономлено 2,0 млн. т строительных материалов на сумму 1 млрд. руб.

Чрезмерное образование отходов вызвано несовершенством организации и технологии производства на большинстве отечественных предприятий. Понятие «отходы производства» должно рассматриваться как неиспользованное или недоиспользованное сырье, поступающее в окружающую среду (т.е. на площадки временного хранения, санкционированные свалки, полигоны и пр.). Еще Менделеев утверждал, что нет отходов, а есть неиспользованное сырье. По существу отходы являются продукцией несовершенных технологий производства.

Российская промышленность располагает материально-технической базой для производства оборудования по переработке отходов. В конце 1990-х годов модернизировано оборудование по переработке минерального сырья, разработано и производится специальное оборудование: моечные машины, сортировочные линии, оборудование для разволокнения текстильных отходов, прессы для пакетирования мелкого лома и макулатуры, установки по демеркуризации ртутьсодержащих ламп и многое другое.

В дальнейшем с целью снижения экологической опасности обращения с ТБО необходимо:

- 1) провести на территории Российской Федерации инвентаризацию образующихся, перерабатываемых и захораниемых отходов производства и потребления;
- 2) провести скрининговую инвентаризацию мест бывших захоронений отходов с целью выявления дополнительных для страны сырьевых ресурсов и оценки влияния этих мест на окружающую среду и здоровье человека;
- 3) разработать подзаконные акты по основным положениям федерального закона «Об отходах производства и потребления»;
- 4) разработать технологии раздельного сбора, переработки и утилизации отходов производства и потребления;
- 5) внедрить имеющиеся отечественные ресурсосберегающие и экологически безопасные технологии переработки отходов;
- 6) создать и распространить справочник отечественных безопасных технологий переработки ТБО и получения из них вторичного сырья, топлива, энергии;
- 7) организовать систему эколого-гигиенического образования руководителей административных территорий, предприятий, организаций по обращению с отходами производства и потребления;
- 8) организовать систему раздельного сбора отходов производства и потребления с целью их использования в качестве сырья;
- 9) систематически проводить разъяснительную работу с населением по раздельному сбору отходов потребления;
- 10) разработать систему жесткого контроля за несанкционированными свалками и создать условия, исключающие возможность их появления.

**3. Методические указания по проведению практических занятий( не предусмотрены рабочей программой)**

**4. Методические указания по проведению семинарских занятий( не предусмотрены рабочей программой)**