

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению практических работ
по дисциплине «Оборудование для очистки
сточных вод и утилизации твердых отходов»
для студентов
направления подготовки
15.03.02 Технологические машины и
оборудование

Методические указания разработаны в соответствии с
требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины
«Оборудование для очистки сточных вод и утилизации
твердых отходов».

Указания предназначены для студентов направления
подготовки 15.03.02 Технологические машины и
оборудование

СОДЕРЖАНИЕ	Стр.
Основные термины и сокращения	4
Введение	9
Правила проведения и сдачи работ	9
Работа №1. Аппараты сухой механической очистки запыленных газов (выбросов). Расчет циклонов	10
Работа №2. Расчет пористых металлических фильтров для очистки выбросов от пыли.	15
Работа №3. Расчет электрофильтра	18
Работа №4. Аппараты мокрой очистки запыленных газов. Расчет скруббера и форсунки	22
Работа №5. Аппараты физико-химической очистки газов. Расчет процессов и аппаратов адсорбции газов	26
Работа №6. Оборудования для механической очистки сточных вод. Расчет песколовки и отстойников	31
Работа №7. Разделение жидкость - твердое тело центрифугированием. Технологический и конструктивный расчет центрифуг	38
Работа №8. Фильтрация сточных вод. Расчет зернистых фильтров	45
Работа №9. Процессы и аппараты физико-химической очистки воды. Коагуляционная очистка сточных вод от коллоидных частиц	48
Работа №10. Флотационная очистка сточных вод	51
Работа №11. Адсорбционная очистка сточных вод от растворимых органических веществ. Расчет адсорбера	54
Работа №12. Экстракционный процесс очистки сточных вод. Расчет вертикального экстрактора	60
Работа №13. Электрохимическая очистка сточных вод. Расчет электрокоагулятора	63
Работа №14. Химические методы очистки сточных вод. Нейтрализация, хлорирование и озонирование	67
Работа №15. Биохимическая очистка сточных вод. Расчет азротенка	74
Работа №16. Переработка отходов. Определение класса опасности отходов	78
Работа №17. Физические (энергетические) загрязнения ОС. Оценка уровней шума. Расчет акустического и электромагнитного экранов	87
Литература	94
Приложение	95

Основные термины и сокращения

Параметр	Расшифровка
1	2
БПК мгО ₂ /мг вещества	Биохимическое потребление кислорода - количество использованного кислорода для биохимического окисления органических веществ в воде за определенный промежуток времени
БПК ₅	Биохимическая потребность кислорода за 5 суток
БПК _{полн}	Полная биохимическая потребность кислорода до начала процессов нитрификации
БД	Биологическая диссимилиация
ВАХ	Вольтамперная характеристика (электрофильтра)
ВМР	Вторичные материальные ресурсы
МДУ	Максимально допустимый уровень
МДС	Максимально допустимое содержание
ОБУВ	Ориентировочный безопасный уровень воздействия
ОДК	Ориентировочно-допустимая концентрация
ОДУ	Ориентировочно-допустимый уровень
ОС	Окружающая (природная) среда – совокупность всех тел, сил и явлений природы, ее вещество и пространство; совокупность абиотической (неорганической), биотической (живых организмов) и социальной сред, влияющие на человека и его хозяйство
ПДВ	Предельно-допустимые выбросы – предельное количество вредного вещества, разрешаемое к выбросу от данного источника, которое не создает приземную концентрацию, опасную для людей и ОС
ПДК	Предельно-допустимая концентрация – максимальная концентрация примеси в среде, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни не оказывает вредного воздействия на человека и ОС в целом
ПДК _п , мг/кг	Предельно-допустимая концентрация вещества в почве
ПДК _в , мг/л	Предельно-допустимая концентрация вещества в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования
ПДК _{р.х.} , мг/л	Предельно-допустимая концентрация вещества в воде водных объектов рыбохозяйственного назначения
ПДК _{с.с.} , мг/м ³	Предельно-допустимая концентрация вещества среднесуточная в атмосферном воздухе населенных мест

1	2
ПДК _{м.р.} , мг/м ³	Предельно-допустимая концентрация вещества максимально-разовая в воздухе населенных мест
ПДК _{р.з.} , мг/м ³	Предельно-допустимая концентрация вещества в воздухе рабочей зоны
ПДС, мг/м ³	Предельно-допустимый сброс – предельное количество вредного вещества в сточной воде, разрешаемое к выбросу от данного источника в водную среду, которое не создает концентрацию, опасную для людей и ОС
ПДУ, дБ	Предельно допустимый уровень (шума, излучения)
ПиАЗОС	Процессы и аппараты защиты окружающей среды
ТБПО	Твердые бытовые и промышленные отходы
ХПК	Химическое потребление кислорода, или количество кислорода, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде
ЭМП	Электромагнитное поле
S _г , мг/л	Растворимость компонента отхода (вещества) в воде при 20°C
C _{нас} , мг/м ³	Насыщающая концентрация вещества в воздухе при 20°C и нормальном давлении
K _{ow}	Коэффициент распределения в системе октанол-вода при 20°C
LD ₅₀ , мг/кг	Средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном пероральном введении в унифицированных условиях
LD _{кожи50} , мг/кг	Средняя смертельная доза компонента в миллиграммах действующего вещества на 1 кг живого веса, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при однократном нанесении на кожу в унифицированных условиях
LC ₅₀ , мг/м ³	Средняя смертельная концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при ингаляционном поступлении в унифицированных условиях

Абсорбция - поглощение веществ объемом (жидкого) абсорбента.

Адсорбция - поглощение веществ поверхностным слоем твердого (или жидкого) адсорбента.

Активный ил - амфотерная коллоидная система, состоящая из твердого субстрата и живых организмов, которые сорбируют и разлагают загрязняющие вещества в сточных водах.

Аликвота — точно измеренная кратная часть образца (объем раствора), взятая для анализа, которая сохраняет свойства основного образца.

Атмосфера – воздушная оболочка Земли, состоящая из смеси газов – воздуха (азот, кислород и пр.), в котором взвешены коллоидные системы (пыль, капли воды, кристаллы и пр.).

Аэрация - поступление воздуха в среду (воду, почву и т.д.) естественным или искусственным путем.

Аэрозоль – суспензия в газовой среде твердых или жидких частиц, имеющих крайне низкую скорость осаждения.

Аэротенк – сооружение для биологической очистки сточных вод, состоящий из проточного резервуара с активным илом и устройства для аэрации.

Барботирование – пропускание через жидкости сильную струю газа по перфорированной трубке или через перфорированную перегородку (сетку).

Биоочистка - окисление загрязнителей сообществом микроорганизмов.

Воды сточные – воды, использованные в бытовых или производственных целях (в том числе воды, стекающие с населенных мест, промышленных и сельскохозяйственных предприятий в результате выпадения осадков, полива угодий или улиц) и получившие при этом примеси, изменившие первоначальный химический состав и физические свойства.

Выбросы – поступление в окружающую среду любых загрязнений.

Гель – коллоидная система, в которой частицы контактируя между собой, образуют структуры в виде каркаса или сетки, ограничивается текучесть и придается способность сохранять форму.

Гидравлическое сопротивление – разность давлений на входе (P_{вх}) и выходе (P_{вых}) аппарата:

$$\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}} = k \frac{\rho v^2}{2},$$

где *k* – коэффициент сопротивления; ρ - плотность потока; *v* - скорость потока через аппарат.

Гидролиз – реакция обменного разложения между водой и другим веществом, приводящий к образованию новых труднорастворимых гидроксилсодержащих веществ.

Гидросфера – совокупность океанов, морей, озер, рек, прудов, болот, подземных вод, ледников и водяных паров атмосферы.

Дисперсная среда – раздробленная среда, состоящая из сплошной непрерывной фазы – *дисперсионной* среды и находящейся в этой среде раздробленных частиц – *дисперсной* фазы.

Дым – аэрозоль с размерами твердых взвешенных частиц (продуктов сгорания) от 0,1 до 10 мкм.

Зола – несгораемый остаток минеральных примесей топлива.

Золь – коллоидная система, в которой частицы не связаны в пространственные структуры (в противоположность гелям).

Ионообмен – процесс обмена ионов между раствором и ионитом. *Иониты* – вещества, способные к ионному обмену при контакте с раствором.

Коллоидное состояние – предельно-высокодисперсная система твердых частиц в жидкости при размере частиц $d=0,1-0,001$ мкм.

Коронный разряд – явление ударной ионизации газа под действием движущихся электронов или ионов вблизи коронирующего электрода электрофильтра.

Коагуляция – процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия с коагулянтами, которые в воде образуют хлопья гидроксидов металлов. Электрокоагуляция – ускорения слипания коллоидных частиц, основанная на растворении металлических электродов в электролите (сточная вода) под действием электрического тока, с последующим образованием осадков гидроксидов.

Литосфера – верхняя твердая оболочка Земли, ограниченная сверху атмосферой и частично гидросферой и переходящее без резкой границы в верхний слой мантии (толщина колеблется от 50 до 200 км).

Металлы легкие – металлы, обладающие малой плотностью (литий, бериллий, натрий, магний, алюминий, калий, барий, рубидий, цезий, титан).

Металлы тяжелые – металлы, обладающие большой плотностью (свинец, цинк, ртуть, медь, никель, кобальт, олово, висмут и др.).

Метантенк – закрытый резервуар с подогревом, загружаемый иловыми осадками, где в результате жизнедеятельности анаэробных бактерий происходит сбраживание ила с образованием углекислого газа, метана и водорода.

Мокрая очистка – осаждения частиц пыли на поверхность капель или пленки жидкости за счет сил инерции и броуновского движения.

Обезвоживание отходов – отделение воды от отходов с целью дальнейшей переработки.

Обезвреживание – удаление из объектов окружающей среды веществ, опасных для здоровья людей и сохранности биоценозов.

Обеззараживание – подавление болезнетворных организмов, разрушения ядов, стерилизация объектов.

Отходы – непригодное сырье, его остатки или возникающие в ходе производства и потребления вещества и энергия, не подвергающаяся утилизации.

Пиролиз – разложение органических веществ на более простые вещества при высокой температуре, без доступа окислителя – кислорода (воздуха).

Производительность аппарата (расход вещества) – количество вещества ($V, \text{ м}^3$), проходящего через аппарат за единицу времени (τ): $Q=V/\tau, \text{ м}^3/\text{ч}$.

Пыль – твердые частицы различных размеров (5-100 мкм) и различного происхождения.

Раствор – однородная система с равномерным распределением одного вещества в среде другого вещества при размере частиц $d<0,001$ мкм.

Регенерация – полное или частичное восстановление исходных свойств объекта.

Рекуперация – процесс извлечения ценных веществ и энергии из отходов с целью возвращения для повторного использования.

Сажка – мелкодисперсный углерод, образующийся из углеводородов при неполном сгорании при ограниченном доступе воздуха.

Суспензия (взвесь) – дисперсная система твердых частиц в жидкости при размере частиц $d>0,1$ мкм, основным свойством которых является неспособность удерживаться в таком состоянии.

Туман – аэрозоль с жидкой дисперсной фазой (капли жидкости 0,1-5 мкм).

Утилизация – употребление с пользой, например, извлечение ценных компонентов из отходов с последующим сжиганием, пиролизом или сбраживанием с целью получения энергии и сырья для других производств.

Фаза – однородная часть неоднородной системы, ограниченная поверхностью раздела и отделяемая механически.

Фильтрация – задержание частиц примесей в пористых перегородках при движении дисперсных систем через них.

Флотация – технология выделения из сточных вод тонкосuspendированных и коллоидных веществ с помощью пузырьков газа (воздуха) аэрацией. Электрофлотация – технология выделения из сточных вод тонкосuspendированных и коллоидных веществ с помощью пузырьков водорода и кислорода, образуемых на поверхности электродов.

Шлам – осадок в виде мелких частиц, выделяющихся при отстаивании или фильтровании жидкости.

Центрифугирование – процесс разделения неоднородных систем (суспензий, эмульсий, шламов и ряд других систем) под действием центробежных сил, создаваемых в результате вращения потока.

Экстракция – избирательное извлечение компонента из жидкости с помощью жидкого растворителя.

Электродиализ – метод разделения ионизированных соединений под действием электродвижущей силы, создаваемой по обе стороны мембраны.

Электролиз – химические реакции, протекающие в электролите при прохождении через него электрического тока.

Эмульсия – дисперсная система, в которой одна жидкость раздроблена в другой не растворяющей ее жидкости.

Эффективность очистки – степень снижения вредных веществ:

$$\eta = \frac{c_{вх} - c_{вых}}{c_{вх}},$$

где $c_{вх}$ и $c_{вых}$ – концентрации загрязнителя на входе и выходе устройства по очистке среды.

ВВЕДЕНИЕ

«Оборудование для очистки сточных вод и утилизации твердых отходов» является обязательной спец. дисциплиной для студентов специальности «Инженерная защита окружающей среды», изучается с целью приобретения знаний, умений и навыков в области постановки решения инженерных задач и применения процессов и аппаратов для эффективной защиты окружающей среды от техногенных воздействий с учетом последних достижений науки и техники.

ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ И СДАЧИ РАБОТ

1. Студенты допускаются к работе в лаборатории только после инструктажа по технике безопасности, после чего они обязаны расписаться в журнале. Это означает, что они ознакомлены с правилами техники безопасности и обязуются их выполнять.

2. Перед началом работы необходимо внимательно ознакомиться с устройством и принципом работы установки и порядком выполнения работы (методикой расчета). Работу начать с разрешением преподавателя или лаборанта.

3. На лабораторном столе должны выполняться опыты, которые не представляются опасными для окружающих. В вытяжном шкафу выполняются все опыты с токсичными веществами.

4. При работе с электроприборами обращать внимание на их исправность, правильную изоляцию контактов, не использовать приборы с оголенными контактами, неисправными вилками и т.п.

5. Выполнять все меры предосторожности при работе с аппаратами с движущимися частями (электрическая мешалка, центрифуга и т.д.).

6. При проведении опытов нельзя отвлекаться и оставлять приборы без наблюдения.

7. После проведения работы студент оформляет и сдает отчет, который должен содержать:

- тема работы;
- цель работы;
- список оборудования и принадлежности;
- исходные данные;
- порядок проведения работы или методика расчета;
- экспериментальная и расчетная часть;
- выводы и ответы на контрольные вопросы (в письменной форме).

8. После оформления студент защищает отчет по лабораторной (расчетной) работе.

9. Студент не допускается к следующей работе, если им не сданы две предыдущие работы (без уважительных причин).

10. При пропуске занятия студент отрабатывает пропущенное занятие в назначенное время.

Работа №1. Аппараты сухой механической очистки запыленных газов (выбросов). Расчет циклонов

Цель работы: Приобретение навыков по выбору и расчету циклонов.

Вводная часть

Аппаратами сухой механической очистки запыленных газов (выбросов) являются пылеосадительные камеры, инерционные и ротационные пылеуловители, циклоны, вихревые пылеуловители, пористые фильтры [3,4].

Циклоны являются наиболее распространенными установками сухого пылеулавливания. Принцип работы – оседание частиц под воздействием центробежных сил и сил тяжести. При вводе (рис. 1.1) через тангенциальный патрубок 1 частицы отжимаются к внутренней стенке корпуса 3 и, теряя скорость, выпадают в бункер 4, откуда выводятся через выход 5. Очищенный газ выводится через выпускную трубу 2. Центробежный эффект сильнее проявляется у крупных частиц, поэтому циклоны предназначены для грубой механической очистки выбросов от крупной и тяжелой пыли, например, для улавливания золы, образующейся при сжигании топлива в котлах тепловых станций.

В промышленности используют циклоны, рассчитанные на скорость потока от 5 до 20 м/с. Эффективность циклонов составляет 0,98 для частиц размеров 30-40 мкм; 0,8 для частиц размеров 10 мкм; 0,6 для частиц размеров 4-5 мкм. Производительность циклонов лежит в диапазоне от нескольких сот до десятков тысяч кубометров в час.

Преимуществом циклонов являются простота конструкции, отсутствие движущихся частей и небольшие размеры. Недостатками являются затраты энергии на вращение потока и абразивный износ частей аппарата пылью.

Для большей эффективности используют несколько циклонов небольшого диаметра, собранные в секции батареи – батарейные циклоны. Циклоны соединяются между собой подводными патрубками и сборными камерами. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера для исключения выноса пыли с потоком из-за подсоса наружного воздуха.

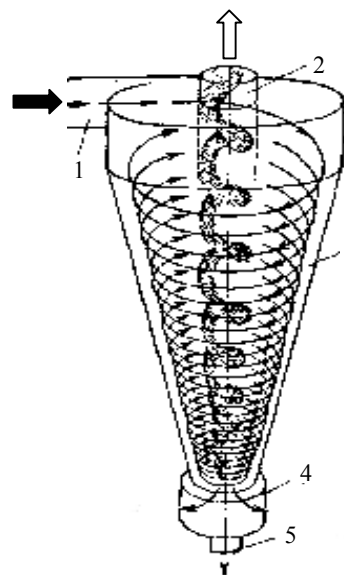


Рис. 1.1. Циклон: 1 – патрубок тангенциальный входной; 2 – патрубок выходной; 3 – стенка; 4 – бункер; 5 – патрубок пылевывпускной

Конструктивно циклоны бывают цилиндрические и конические. Цилиндрические циклоны типа ЦН-15 (15- угол наклона входной патрубки: $\alpha=15^\circ$) изготавливаются из углеродистой или низколегированной стали. Они предназначены для предварительной очистки выбросов от пыли перед фильтрами и электрофильтрами. Конические циклоны типа СК предназначены для очистки выбросов от сажи, обладают повышенной эффективностью из-за большего гидравлического сопротивления. Бункеры циклонов имеют цилиндрическую форму диаметром $1,5 D$ для цилиндрических и $1,2 D$ для конических циклонов. Высота цилиндрической части бункера составляет $0,8 D$.

Для расчета циклона необходимо иметь следующие исходные данные: объем очищаемого газа Q , м³/с; плотность газа при рабочих условиях ρ , кг/м³; вязкость при рабочей температуре μ , Па·с; дисперсный состав пыли d_{50} ; входную концентрацию пыли $c_{вх}$, г/м³; требуемую эффективность очистки η .

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений.

Методика расчета.

1. Определяют оптимальную скорость движения газа $w_{опт}$ в зависимости от типа циклона (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Оптимальная скорость движения газа $w_{опт}$ в циклоне

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
$w_{опт}$, м/с	4,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

$$2. \text{ Рассчитывают диаметр циклона: } D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi w_{опт}}} \quad (1.1)$$

Полученное значение необходимо округлить до ближайшего типового значения. В России принят следующий ряд внутреннего типового диаметра циклонов D , мм: 150; 200; 300; 400; 450; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400; 3000.

Если значение D превышает максимального типового значения, то необходимо применять два или более параллельно установленных циклонов.

3. Рассчитывают действительную скорость потока в циклоне:

$$w = 4Q / \pi N D^2, \quad (1.2)$$

где N – число циклонов; w не должно отклоняться от $w_{опт}$ более чем на 15%.

4. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления:

$$R = k_1 k_2 R_{500}, \quad (1.3)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты, зависящие от D , $c_{вх}$ и типа циклона (табл. 1.2 и 1.3); R_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления при $D=500$ мм (табл. 1.4).

5. Рассчитывают значение гидравлического сопротивления:

$$\Delta P = P_{вх} - P_{вых} = \frac{1}{2} R \rho_f w^2. \quad (1.4)$$

6. Определяют эффективность очистки: $\eta = 0,5 (1 + \Phi(x))$, (1.5)

$$\text{где } \Phi(x) \text{ – табличная (табл. 1.5) функция параметра } x: x = 0,8 \cdot \lg \left(\frac{d_{50}}{d_{т50}} \right) \quad (1.6)$$

Таблица 1.2

Значения k_1 при различных D и типов циклонов

Тип циклона	D , мм				
	150	200	300	450	>500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и 34м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 1.3

Значения k_2 при различных $c_{вх}$ и типов циклонов

Тип циклона	$c_{вх}$, г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	-
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34м	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 1.4

Значения R_{500} в зависимости от типов циклонов

Тип циклона	Выхлоп в:		Тип циклона	Выхлоп в:	
	атмосферу	гидр. сеть		Атмосферу	гидр. сеть
ЦН-11	245	250	СДК-ЦН-33	520	600
ЦН-15	155	163	СК-ЦН-34	1050	1150
ЦН-24	75	80	СК-ЦН-34м	-	2000

Таблица 1.5

Значения функции $\Phi(x)$ в зависимости от параметра x

x	-2,7	-2,0	-1,6	-1,4	-1,2	-1,0	-0,8	-0,6	-0,2
$\Phi(x)$	0,004	0,023	0,055	0,081	0,115	0,159	0,212	0,274	0,421
x	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6	1,8	2,7
$\Phi(x)$	0,5	0,579	0,655	0,726	0,788	0,885	0,964	0,964	0,997

$$\text{Значение } d_{50} \text{ определяется по формуле: } d_{50} = d_{т50} \sqrt{\frac{D}{D_T} \frac{\rho_{чТ}}{\rho_ч} \frac{\mu}{\mu_T} \frac{w_T}{w}}, \quad (1.7)$$

где: $\rho_ч$ – плотность частиц; μ – вязкость, w – скорость потока; $D_T = 600$ мм; $\rho_{чТ} = 1930$ кг/м³; $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $w_T = 3,5$ м/с (индекс T означает типовое значение параметра); значение $d_{т50}$ приведено в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Значения параметра $d_{т50}$ в зависимости от типа циклона

Тип	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
$d_{т50}$	8,5	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3

7. Осуществляют выбор циклона. Если расчетное η меньше требуемого, то необходимо выбрать другой циклон с большим гидравлическим сопротивлением R. Можно пользоваться формулой:

$$\frac{R_1}{R_2} = \left(\frac{1 - \eta_1}{1 - \eta_2} \right)^2 \frac{w_1 D_1}{w_2 D_2}, \quad (1.8)$$

где индексы 1 и 2 соответствуют двум различным циклонам.

8. Рассчитывают конструкционные размеры циклона в мм (рис. 1.2, табл. 1.7) в соответствии с диаметром D (в мм) выбранного циклона:

$$y = k \cdot D, \quad (1.9)$$

где y – конкретный параметр циклона (диаметр d, ширина b, высота H и т.д.); k – коэффициент пропорциональности (табл. 1.7).

9. Радиус улитки рассчитывается по формуле:

$$\rho = D/2 + b\varphi/2\pi, \quad (1.10)$$

где b – ширина входного патрубка; $\varphi = 135^\circ = 2,35$ рад.

Таблица 1.7

Значения коэффициента пропорциональности k в зависимости от типа циклона

Параметр y	Циклон					
	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
Диаметр выхлопной трубы d	0,59			0,334	0,34	0,22
Диаметр пылевывпускного отверстия d_1	0,3-0,4			0,334	0,23	0,18
Ширина входного патрубка b	0,2			0,264	0,214	0,18
Длина входного патрубка l	0,6					
Высота входного патрубка a	0,48	0,66	1,11	0,535	0,515	0,4
Высота выхлопной трубы h_T	1,56	1,74	2,11	0,535	0,515	0,4
Высота внешней части выхлопной трубы h_B	0,3	0,3	0,4	0,2-0,3		
Высота цилиндрической части $H_{Ц}$	2,06	2,06	2,11	0,535	0,515	0,4
Высота конуса H_K	2,0	2,0	1,75	3,0	2,11	2,6
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1					
Общая высота циклона H	4,38	4,56	4,26	3,835	2,925	3,3

10. Начертить схему циклона (в зависимости от типа, рис. 1.2) с конструкционными размерами (в мм).

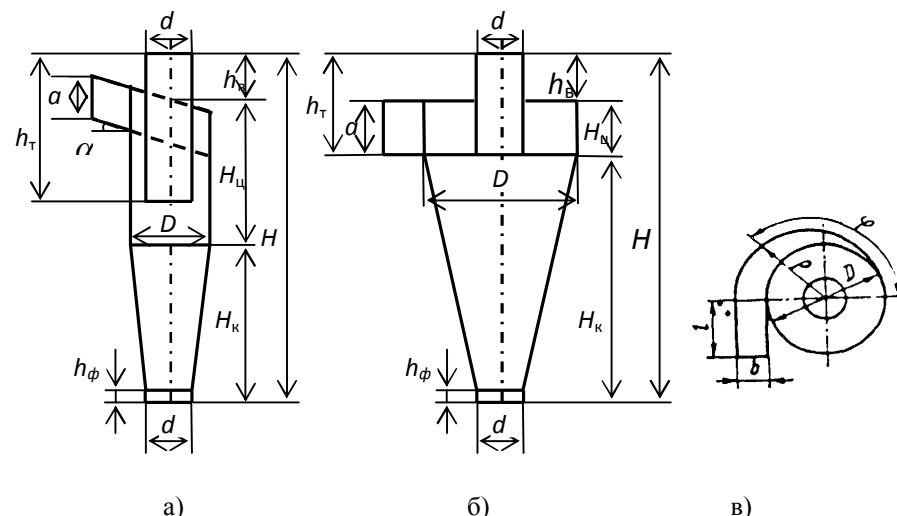


Рис. 1.2. Схема циклонов: а) цилиндрический; б) конический; в) вид сверху (улитка)

Таблица 1.8

Исходные данные (варианты)

№ вар.	Тип	Q, м³/с	$c_{вх}$, г/м³	ρ_r , кг/м³	$\rho_{ч}$, кг/м³	$\mu \cdot 10^6$, Па·с	η
1, 10	ЦН-11	10	40	1,34	1930	22,2	0,95
2, 11	ЦН-11	11	120	1,35	2230	22,1	0,65
3, 12	ЦН-15	12	80	1,36	1650	22,0	0,75
4, 13	ЦН-15	13	10	1,37	1700	21,9	0,95
5, 14	ЦН-24	14	20	1,38	1750	21,8	0,90
6, 15	ЦН-24	15	40	1,39	1900	21,7	0,85
7, 16	СДК-ЦН-33	8	150	1,33	2130	21,6	0,65
8, 17	СК-ЦН-34	5	80	1,32	2050	21,5	0,75
9, 18	СК-ЦН-34м	1	40	1,31	2100	21,4	0,75

Контрольные вопросы

1. Классификация сухих механических пылеуловителей.
2. Принцип работы циклонов.
3. Групповые и батарейные циклоны.
4. Основные параметры циклонов.
5. Преимущества и недостатки циклонов.

Работа № 2. Расчет пористых металлических фильтров для очистки выбросов от пыли

Цель работы: Приобретение навыков и знаний по расчету и конструкции пористых фильтров.

Вводная часть.

Фильтры широко используются для тонкой очистки промышленных выбросов. Процесс фильтрации основан на задержании частиц примесей в пористых перегородках при движении дисперсных систем через них. Фильтры применяются для очистки выбросов от пыли (с концентрацией до 150 мг/м^3), очистки воздуха, подаваемого в помещения (кондиционирования), очистки жидкостей от примесей и др. Эффективность очистки фильтрами зависит от размера частиц ($d_{ч}$) и их скорости (v), размера пор ($d_{п}$), состояния поверхности фильтроэлемента и параметров газового потока.

Фильтры можно классифицировать по типу перегородки, конструкции и назначения. В фильтрах применяются перегородки различных типов [3,4]:

- 1) полужесткие пористые материалы (вязаные сетки, прессованные спирали и стружка);
- 2) жесткие пористые материалы (пористая керамика и металлы);
- 3) гибкие пористые материалы (ткани, войлок, губчатая резина);
- 4) зернистый слой (гравий, песок);

Фильтры 1 и 2 группы (рис. 2.1) представляет собой корпус 1 разделенный пористой перегородкой 2. Задержанные частицы загрязнителя на поверхности перегородки образуют слой 3 и становятся частью фильтровой перегородки. Задержание частиц происходит в результате эффекта касания, диффузионного, инерционного и гравитационного процессов. Через некоторое время возникает необходимость удаления осадка, т.е. регенерация фильтра, так как по мере накопления частиц пористость уменьшается, а сопротивление увеличивается.

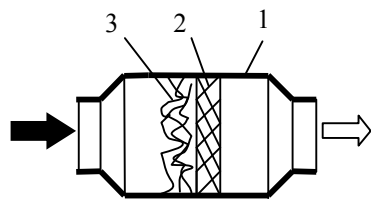


Рис. 2.1. Схема фильтра

Из фильтров третьего типа наиболее употребительны тканевые рукавные фильтры. В корпусе фильтра устанавливаются необходимое число рукавов, на которые подается запыленный воздух. Воздух проникает через ткань, а частицы пыли задерживаются. Через определенное время рукава продувают и встряхивают. Эффективность очистки достигает 0,99 для частиц размером более 0,5 мкм.

Процесс фильтрации характеризуется следующими параметрами: эффективность очистки; тонкость очистки; пористость; скорость фильтрации; пропускная способность; гидравлическое или аэродинамическое сопротивление.

Абсолютная тонкость очистки – это максимальный размер частиц, прошедших через фильтр. Номинальная тонкость очистки – это размер частиц, для которых фракционная эффективность очистки равна 0,97. Предпочтительный ряд: 1; 2; 5; 10; 16; 25 мкм и т.д.

Пористостью фильтроэлемента называется отношение объема пустот ($V_{п}$) к полному объему фильтроэлемента (V): $\Pi = V_{п}/V$.

Скорость фильтрации – это отношение объемного расхода Q ($\text{м}^3/\text{с}$) очищаемого вещества к площади фильтрующей поверхности F (м^2): $w = Q/F$, м/с.

Удельная массовая пропускная способность фильтра: $G = w\rho$, $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$, где ρ – плотность очищаемого вещества, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление фильтра – это разность давлений на входе и выходе фильтра: $\Delta P = P_{вх} - P_{вых}$.

При проектировании назначается начальное и конечное сопротивление фильтра. При достижении конечного сопротивления процесс фильтрации прекращается и фильтр подвергается регенерации.

Методика расчета

1. Выбирают материал для изготовления фильтроэлемента, исходя из условия эксплуатации фильтра, прочностных, коррозионных характеристик материала и экономических соображений (или по варианту).

2. Определяют максимальный размер пор:

$$d_{п \text{ макс}} = 3 d_{то \text{ абс}}, \text{ мкм}, \quad (2.1)$$

где $d_{то \text{ абс}}$ – абсолютная тонкость очистки, мкм.

3. Определяют средний размер пор:

$$d_{п \text{ ср}} = 1,25 d_{п \text{ макс}} \Pi^{0,3}, \text{ мкм}, \quad (2.2)$$

где Π – пористость фильтроэлемента.

4. Определяют размер частиц порошка для изготовления фильтроэлемента:

$$d_{ч \text{ ср}} = d_{п \text{ ср}} / \Pi^2, \text{ мкм}. \quad (2.3)$$

5. Назначают толщину фильтроэлемента h по технологическим и прочностным соображениям в пределах 0,25-5мм (обычно – 1мм).

6. Находят скорость потока в порах:

$$w_n = \frac{\Delta P_{нач} \cdot d_{п \text{ ср}}^2}{208 \cdot h \cdot \mu}, \text{ м/с}, \quad (2.4)$$

где $\Delta P_{нач}$ – начальное сопротивление фильтра, Па; μ – вязкость фильтруемого вещества, Па·с.

7. Определяют площадь фильтрации:

$$F = \frac{Q}{w_n \cdot \Pi}, \text{ м}^2. \quad (2.5)$$

8. Определяют расчетное конечное сопротивление фильтра:

$$\Delta P_{\text{кон.р.}} = \frac{\Delta P_{\text{нач}}}{h} \left[(1 - e^{-X}) \cdot \left(\frac{e^Y - 1}{A \cdot B} \right) + h \right], \text{ Па}, \quad (2.6)$$

где: $X=A \times B \times h$; $Y=A \times q_{\text{вх}} \times \tau$; $q_{\text{вх}}=c_{\text{вх}}/\rho_{\text{ч}}$; $B = \frac{(1 - \Pi_0)\Pi}{w_{\text{ф}}}$, с/м; $w_{\text{ф}}=\Pi \times w_n$, м/с; A –

опытный коэффициент, зависящий от размеров частиц и размер пор: для очистки газов $A=5,25 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$, для очистки жидкостей $A=10 \text{ с}^{-1}$; τ – время работы фильтра, с; $q_{\text{вх}}$ – объемное содержание твердых частиц в фильтруемом веществе на входе фильтра; $c_{\text{вх}}$ – концентрация загрязнителя, кг/м³; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частиц загрязнителя, кг/м³; $w_{\text{ф}}$ – скорость фильтрации, м/с; Π_0 – пористость осадка (смотрите задание).

9. Определяют максимально допустимое время работы фильтра (если $\Delta P_{\text{кон.р.}}$ отличается от заданного $\Delta P_{\text{кон}}$):

$$\tau_{\text{м}} = \frac{1}{A \cdot q_{\text{вх}}} \cdot \ln \left[1 + \frac{\Delta P_{\text{кон.р.}}}{\Delta P_{\text{нач}}} \cdot \frac{X}{1 - e^{-X}} \right], \text{ с}. \quad (2.8)$$

10. Определяют эффективность очистки:

$$\eta = \frac{q_{\text{вх}} - q_{\text{вых}}}{q_{\text{вх}}} \cdot 100\%, \quad (2.9)$$

где: $q_{\text{вых}} = \frac{1}{A \cdot \tau_{\text{м}}} \cdot \ln \left(\frac{e^Z + e^X - 1}{e^X} \right)$; $Z=Aq_{\text{вх}}\tau_{\text{м}}$.

Если конечные данные (например, эффективность очистки) не удовлетворяют требованиям, то расчет производят вновь, изменив размеры фильтрующего элемента или структурные свойства его материала.

Примечание: Единицы измерения величин в формулах необходимо перевести в одну систему: 1 час=3600 с; 1 с=1/3600 час; 1 мкм=10⁻⁶ м; 1 мм=10⁻³ м; 1 мг=10⁻⁶ кг; 1 кПа=10³ Па.

Задание. Рассчитать параметры пористого металлического фильтра для очистки воздуха от пыли глинозема, при нормальном атмосферном давлении ($P_{\text{атм}}=100$ кПа) и температуры воздуха 20°C. Начальное сопротивление фильтра $\Delta P_{\text{нач}}=10$ кПа. Плотность частиц загрязнителя $\rho_{\text{ч}}=3,9 \cdot 10^3$ кг/м³. Пористость осадка $\Pi_0=0,5$. Вязкость воздуха при 20°C: $\mu=18 \cdot 10^{-6}$ Па·с. Другие исходные данные по вариантам представлены в табл. 2.1: расход воздуха Q ; концентрация пыли в воздухе $c_{\text{вх}}$; требуемая тонкость очистки $d_{\text{то абс}}$; наи-

большее допустимое (конечное) сопротивление фильтра $\Delta P_{\text{кон}}$; время непрерывной работы фильтра τ .

Таблица 2.1

Исходные данные (варианты).

№ вар	Q, м ³ /ч	c _{вх} , мг/м ³	d _{то абс} , мкм	ΔP _{кон} , кПа	τ, ч	Пористый материал	Форма частиц	Π	h, мм
1, 10	150	5	5	20	50	Бронза	Сфера	0,33	1
2, 11	160	10	4	25	45	Ст50ХГ	Сфера	0,25	0,7
3, 12	120	15	3	15	40	Ст50ХГ	80%Сф	0,30	0,5
4, 13	140	20	10	20	35	Ст50ХГ	20%Сф	0,28	2
5, 14	100	25	16	15	30	Ст50ХГ	Лепестковая	0,26	3
6, 15	130	30	25	20	25			0,24	4
7, 16	170	35	10	25	20	Железо	Тарельчатая	0,38	2
8, 17	100	40	16	15	15			0,42	3
9, 18	180	45	25	20	10	Бронза	Сфера	0,35	4

Контрольные вопросы.

1. Сущность процесса фильтрации.
2. Классификация фильтров по типу перегородки.
3. Параметры, характеризующие процесс фильтрации.
4. Что означает максимальное время работы фильтра?

Лабораторная работа №3. Расчет электрофильтра

Цель работы: Приобретение знаний и навыков по расчету электрофильтров.

Вводная часть

Электрическая фильтрация основана на зарядке взвешенных частиц и осаждение заряженных частиц на осадительных электродах под действием электрических сил. Газ, содержащий взвешенные частицы, проходит через систему, состоящую из заземленных осадительных электродов и размещенных на некотором расстоянии коронирующих электродов, к которым подводится выпрямленный электрический ток высокого напряжения (рис. 3.1). При достаточно большом напряжении, приложенном к электродам, у поверхности коронирующего электрода возникает интенсивная ударная ионизация газа, сопровождающаяся возникновением коронного разряда (короны). Коронный разряд – это явление ударной ионизации газа под действием движущихся электронов или ионов вблизи коронирующего электрода [1, 3, 4].

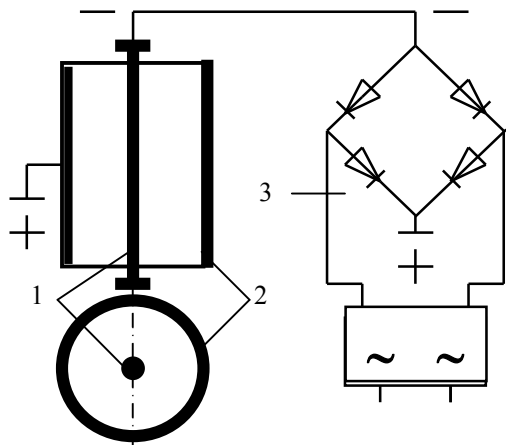


Рис. 3.1. Схема трубчатого электрофильтра

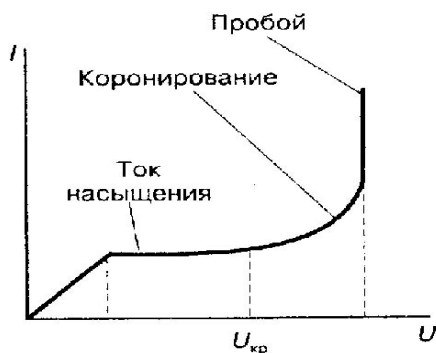


Рис. 3.2. Вольтамперная характеристика электрофильтра

Сила тока зависит от числа ионов и напряжения между электродами. На рис. 3.2 показана ВАХ (вольтамперная характеристика) электрофильтра. Сила тока растет с повышением напряжения до тех пор, пока все ионы не вовлечутся в движение. После этого наступает насыщение, т.е. все ионы вовлечены в движение, и повышение напряжения не влияет на силу тока. При некотором критическом напряжении ($U_{кр}$) ионы и электроны настолько ускоряются, что, сталкиваясь с молекулами газа, ионизируют их, превращая в положительные ионы и электроны. Образовавшиеся ионы и электроны ускоряются электрическим полем и участвуют в ионизации молекул. Этот процесс называется ударной ионизацией газа. После этого происходит пробой газа. Взвешенные частицы, поступающие в зону между электродами, адсорбируют на своей поверхности ионы, приобретая электрический заряд. Заряженные частицы под действием электрического поля движутся в сторону электрода с зарядом противоположного знака и оседают на коронирующей 1 и осадительной 2 электродах (рис.3.1). Электрофильтр питается от источника высокого напряжения 3 (20-90кВ).

Время зарядки частиц измеряется долями секунды. Скорость движения частиц зависит от напряженности электрического поля и диаметра частиц (табл. 4.1). Электрофильтры бывают трубчатые и пластинчатые, которые могут быть горизонтальные и вертикальные, сухие и мокрые. В трубчатых электрофильтрах в качестве осадительных электродов используют трубы диаметром 0,25-

0,30 м и длиной 3-5 м. В пластинчатых электрофильтрах в качестве осадительных электродов используют пластинки плоских, «с» - образных и других форм. В качестве коронирующих электродов используют конструкции с не фиксированными и фиксированными точками разряда.

Таблица 3.1

Скорость движения частиц к осадительному электроду, v_3 , м/с		0,4	1	2	10	30
Диаметр частиц, мкм	150	0,012	0,013	0,015	0,075	0,1
	300	0,025	0,03	0,06	0,5	0,6

Важную роль в процессе осаждения пыли на электродах играет электрическое сопротивление слоя пыли. Пыли с удельным сопротивлением от 10^6 до 10^{12} хорошо осаждаются и легко удаляются встряхиванием. Пыли меньшего сопротивления быстро отдают заряд и возвращаются в поток. Пыли большего сопротивления разряжаются медленно и препятствуют осаждению новых частиц.

Для обеспечения равномерности поступления газа на входе электрофильтра устанавливается распределительная решетка. Удаление слоя пыли осуществляется встряхивающим устройством. При этом пыль ссыпается в бункер, расположенный под электродами. Интервал между встряхивающими импульсами обычно составляет около 3 мин.

Эффективность очистки запыленного газа с помощью электрофильтра определяют по формуле Дейча:

$$\eta = 1 - e^{-v F_{уд} \rho} \quad (3.1)$$

где $F_{уд} = F/Q$ – удельная поверхность осадительных электродов, с/м; F – площадь осадительных электродов, m^2 ; Q – расход газа, m^3/c .

Электрофильтры характеризуются следующими параметрами:

- 1) активная зона – рабочая часть аппарата, образованная межэлектродными промежутками;
- 2) активное сечение – свободное сечение активной зоны для прохода газа;
- 3) активная высота поля – расстояние между коронирующими и осадительными электродами;
- 4) активная длина поля – протяженность поля в направлении хода газа;
- 5) площадь осаждения – суммарная поверхность осадительных электродов;
- 6) активная длина коронирующих электродов – суммарная длина всех коронирующих электродов.

Для расчета электрофильтра необходимы следующие исходные данные:

- объемный расход газа Q и другие параметры очищаемых газов;
- концентрация и некоторые другие свойства пыли;
- требуемая степень очистки газа.

Методика расчета

1. Выбирают конструктивный тип электрофилтра с учетом исходных условий (по варианту).

2. Рассчитывают требуемую площадь активного сечения электрофилтра:

$$S = Q/w_{\Gamma}, \text{ м}^2, \quad (3.1)$$

где Q - объемный расход очищаемых газов, $\text{м}^3/\text{с}$; w_{Γ} - скорость газа, $\text{м}/\text{с}$.

3. Определяют напряженность электрического поля:

$$E = U/H, \text{ В}/\text{м}, \quad (3.2)$$

где U - рабочее напряжение электрофилтра, В; H - расстояние между электродами, м. Для трубчатых электрофилтров $H=R$, где R - радиус трубы.

4. Определяют скорость осаждения (дрейфа) частиц:

$$w_0 = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot d \cdot E^2}{(\varepsilon + 2) \cdot \mu}, \text{ м}/\text{с}, \quad (3.3)$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}/\text{м}$; ε - относительная диэлектрическая проницаемость вещества частиц; μ - динамическая вязкость газа, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

5. Рассчитывают требуемую активную длину электрофилтра:

$$L = \frac{R \cdot w_{\Gamma}}{2 \cdot w_0} \cdot \ln \frac{1}{1 - \eta}, \text{ м} \quad (\text{трубчатый электрофилтр}), \quad (3.4)$$

$$L = \frac{H \cdot w_{\Gamma}}{w_0} \cdot \ln \frac{1}{1 - \eta}, \text{ м} \quad (\text{пластинчатый электрофилтр}), \quad (3.5)$$

где η - требуемая эффективность очистки.

6. Ожидаемая эффективность очистки:

$$\eta = 1 - \exp \left[- \frac{2 \cdot w_0 \cdot L}{R \cdot w_{\Gamma}} \right] \quad (\text{трубчатый электрофилтр}), \quad (3.6)$$

$$\eta = 1 - \exp \left[- \frac{w_0 \cdot L}{H \cdot w_{\Gamma}} \right] \quad (\text{пластинчатый электрофилтр}), \quad (3.7)$$

Контрольные вопросы

1. Принцип работы электрофилтра.
2. Вольтамперная характеристика электрофилтра.
3. Классификация электрофилтров.
4. Параметры электрофилтров.

Таблица 3.2.

Исходные данные (варианты)

№ вар.	Тип электрофилтра	H, R мм	U, кВ	Q, $\text{м}^3/\text{с}$	w_{Γ} , м/с	μ , $10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$	d, мкм	ε	η
1, 10	УГ (П)	137,5	35	150	0,7	22,2	30	4	0,98
2, 11	ЭГА (П)	150	40	200	1,5	20,1	10	7,5	0,95
3, 12	ЭГТ (П)	130	30	40	0,9	18,8	2	5	0,90
4, 13	УВ (П)	137,5	35	60	1,2	17,5	1	15	0,88
5, 14	СПМ-8	130	30	7	0,8	19,0	0,4	18	0,85
6, 15	ГМЦ-20-2 (П)	137,5	35	25	1,2	23,0	2	2,2	0,90
7, 16	ДМ-316 (Тр)	115	25	20	1,5	20,0	30	4	0,98
8, 17	ШМК-4,5 (Тр)	110	25	5	1,0	17,0	2	5	0,95
9, 18	КТ-9 (Тр)	120	25	8	1,1	18,0	1	15	0,95

Примечание: А – модифицированный; В – вертикальный; Г – горизонтальный; Д – доменный; К – кислотный; М – мокрый; П – пластинчатый; С – сажевый; Т – высокотемпературный; Тр – трубчатый; У – унифицированный; Ц – цилиндрический корпус; Ш – шестигранные электроды; Э – электрофилтр.

Работа №4. Аппараты мокрой очистки запыленных газов. Расчет скруббера и форсунки

Цель работы: Применение приобретенных знаний и навыков при расчете аппаратов мокрой очистки выбросов.

Вводная часть

Мокрые газоочистные аппараты применяют для предварительной очистки и подготовки (кондиционирования) газов, поступающих в газоочистные аппараты других типов, например в рукавные фильтры, электрофилтры. Мокрые пылеуловители широко применяются для очистки воздуха от пыли с размером частиц $d_p = 0,3-2$ мкм, а также при высоких температурах очищаемого газа. В качестве орошаемой жидкости (абсорбента) чаще всего применяется вода.

Мокрая очистка эффективнее сухой очистки. Контакт пыли или газа с каплями жидкости увеличивает эффективность очистки. Принцип действия мокрых пылеуловителей заключается в осаждении частицы пыли на поверхность капель и пленки жидкости за счет сил инерции и броуновского движения. При мокрой очистке важную роль играет смачиваемость частиц жидкостью: чем лучше смачиваемость – тем эффективнее очистка.

С учетом конструктивных особенностей мокрые газоочистные аппараты делят на следующие типы: скрубберы Вентуры; форсуночные и центробежные скрубберы; ударно-инерционные аппараты; барботажно-пенные аппараты и др. [1, 2, 3, 4,].

Форсуночный скруббер (рис.4.1) состоит из полной емкости 1, в которую встроены форсунок 2. Очищаемый газ поступает через патрубок 3 и направляется на поверхность воды, где осаждаются крупные частицы. Далее поток поднимается вверх на встречу потока капель жидкости, распыляемый через форсунок. Частицы адсорбируются на поверхности капель и падают вниз. Шлам выводится через нижнюю часть аппарата. Очищенный газ выводится через верхнюю часть аппарата. Количество форсунок может быть несколько. Удельный расход воды составляет $q=3-6$ л/м³, гидравлическое сопротивление – до $\Delta P=250$ Па, при скорости потока $v=0,7-1,5$ м/с. Сечение аппарата можно определить по формуле $S=Q/v$, где Q – объемный расход очищаемого газа, м³/с; v – скорость пропускания потока, м/с.

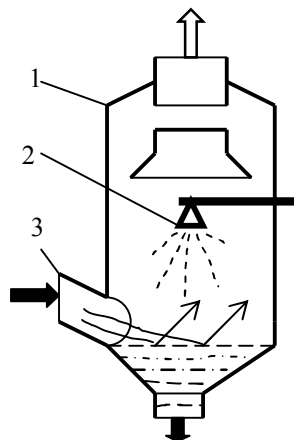


Рис. 4.1. Полный форсуночный скруббер.

Форсунки используются для распыления жидкости и распределения газа в различных аппаратах защиты окружающей среды (аппараты мокрой очистки газов, абсорберы, адсорберы и др.). Форсунки можно разделить на три класса: центробежные, центробежно-струйные, ударно-струйные. В каждом классе десятки различных конструкций. В данной работе рассматривается центробежно-струйная форсунка с завихряющимися вставками (рис. 4.2). Для расчета скруббера и форсунки необходимы следующие исходные данные: расход очищаемого газа $Q_{\text{газ}}$ (м³/с); скорость потока (м/с); требуемая производительность форсунки Q (м³/с); перепад давления $\Delta P_{\text{ж}}$ (Па); корневой угол факела β (град.); свойства жидкости: плотность $\rho_{\text{ж}}$ (кг/м³), вязкость $\mu_{\text{ж}}$ (Па·с) и по-

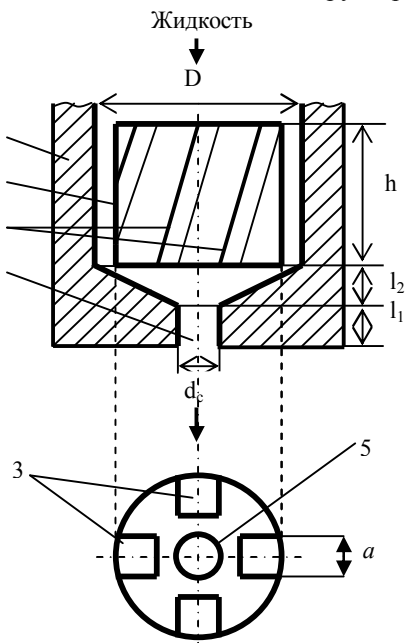


Рис. 4.2. Центробежно-струйная форсунка: 1 – корпус; 2 – вкладыш; 3 – каналы завихряющиеся; 4 – сопло; 5 – центральный канал

верхностное натяжение σ ; плотность $\rho_{\text{г}}$ и вязкость $\mu_{\text{г}}$ окружающего газа; коэффициент расхода γ .

Методика расчета

Упражнение 1. Расчет скруббера

1. Определяют сечение скруббера:

$$S = \frac{Q_{\text{газ}}}{v} \quad (4.1)$$

2. Определяют диаметр скруббера:

$$D_{\text{ск}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} \quad (4.2)$$

3. Определяют высоту скруббера:

$$H_{\text{скр}} = (3 \div 4) D_{\text{скр}} \quad (4.3)$$

Упражнение 2. Расчет центробежно-струйной форсунки

1. Определяют диаметр сопла форсунки:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \gamma \sqrt{2 \cdot \Delta P_{\text{ж}} / \rho_{\text{ж}}}}} \text{, м.} \quad (4.4)$$

Для воды $\rho_{\text{ж}}=1000$ кг/м³. Далее значения d_c переводят в мм.

2. Определяют диаметр вкладыша и равный ему внутренний диаметр корпуса форсунки:

$$D = 1,925 \cdot d_c \text{, мм.} \quad (4.5)$$

При $d_c \leq 14$ мм значения D принимают 27 мм.

3. Определяют высоту вкладыша:

$$h = 2,5 + 2 \cdot d_c \text{, мм} \quad (4.6)$$

4. Определяют длину соплового канала:

$$l_1 = (0,5 \div 1,0) \cdot d_c \text{, мм} \quad (4.7)$$

5. Определяют высоту камеры смещения:

$$l_2 = \frac{D - d_c}{2 \cdot \text{tg} \frac{\theta}{2}} \text{, мм,} \quad (4.8)$$

где угол конусности камеры $\theta = 110 \div 130^\circ$.

6. Определяют диаметр центрального канала:

$$d_0 = d_c \sqrt{0,676 - 0,024 \cdot d_c} \text{, мм.} \quad (4.9)$$

7. Определяют суммарную площадь закручивающихся каналов:

$$S_{\text{к}} = 1,075 \cdot \pi \cdot d_0^2 \text{, мм}^2 \quad (4.10)$$

8. Определяют угол наклона закручивающих каналов:

$$\lg \alpha = 0,053 \cdot \beta \cdot \left(\frac{d_0}{d_c} \right)^{0,58} + 0,32, \quad (4.11)$$

где β в [рад] (1 рад=57,3 град). Далее находят $\alpha=10^x$, [рад], и переводят в [град], где $x=\lg \alpha$.

9. Определяют размер закручивающих каналов:

$$a = \sqrt{\frac{S_K}{n \cdot \cos \alpha}}, \text{ мм}, \quad (4.12)$$

где число каналов $n=4 \div 6$ (если $\alpha > 90^\circ$, то заменит $\cos \alpha$ на $\cos(\alpha - 90)$).

10. По необходимости определяют средний объемно-поверхностный диаметр капель жидкости:

$$d_{ж} = 0,154 \cdot \Delta P_{ж}^{0,44} \cdot d_c^{0,23}, \text{ мм}, \quad (4.13)$$

где $\Delta P_{ж}$ в [МПа], d_c в [мм].

Таблица 4.1.

Исходные данные (варианты).

№ вар.	$Q_{\text{газ}}$, м ³ /ч	Q , м ³ /ч	v , м/с	$\Delta P_{ж}$, МПа	γ	β
1, 10	3000	30	0,5	0,5	0,85	60
2, 11	2500	25	0,4	0,4	0,80	65
3, 12	2000	20	0,3	0,3	0,78	70
4, 13	1500	15	0,2	0,2	0,73	75
5, 14	1000	10	0,15	0,15	0,70	80
6, 15	500	5	0,15	0,15	0,65	60
7, 16	2200	22	0,45	0,45	0,67	70
8, 17	1800	18	0,22	0,22	0,75	80
9, 18	1200	12	0,25	0,25	0,79	65

Контрольные вопросы.

1. Сущность метода мокрой очистки газов.
2. Классификация аппаратов мокрой очистки.
3. Принцип работы и классификация форсунок, область применения.
4. Параметры форсунок.

Работа №5. Аппараты физико-химической очистки газов. Расчет процессов и аппаратов адсорбции газов

Цель работы: приобретение навыков по выбору и расчету адсорберов.

Вводная часть

Физико-химическими способами очистки газов являются абсорбция, адсорбция, хемосорбция, термическая и каталитическая нейтрализация.

Абсорбция (газов) - это процесс поглощения одной или нескольких компонентов из газовой среды объемом жидкого поглотителя (абсорбентом), приводящий к образованию раствора. *Адсорбцией* (газов) называют процесс концентрирования одной или нескольких компонентов (адсорбата) из газовой среды на поверхности раздела между газом и адсорбентом. Если поглощение вещества связано с химическим взаимодействием с поглотителем, процесс называется *хемосорбцией*. Хемосорбция выгодна при небольшой концентрации загрязнителя, является одним из распространенных способов очистки отходящих газов от оксидов азота [3, 4, 10].

Если химическое взаимодействие отсутствует, процесс называется физической сорбцией или просто сорбцией. Обратный процесс сорбции называется *десорбцией*, применяется для регенерации (восстановления) сорбента и извлечения ценных компонентов.

При проектировании абсорберов и адсорберов необходимо уделять внимание на организации контакта газового потока с поглотителем. Чем больше поверхность раздела фаз, турбулентность потоков и диффузия, тем эффективнее процесс.

Организация контакта газового потока с жидким поглотителем осуществляется пропусканием газа через насадочную колонну, распылением жидкости, барботированием и другими способами. Газ называется хорошо растворимым, если его растворимость при $t=0^\circ\text{C}$ и $P=100$ кПа составляет сотни граммов на 1кг растворителя. Например, для улавливания аммиака, хлористого и фтористого водорода в качестве адсорбента применяется вода; для улавливания паров воды – сернистая кислота; для улавливания ароматических углеводородов – вязкие масла.

В качестве твердых сорбентов применяют микропористые вещества, имеющие большую площадь поверхности на единицу массы.

Активированный (активный) уголь получают термической обработкой (выпаривания) различных углесодержащих веществ, без доступа воздуха. Удельная площадь поверхности активных углей составляет 10^5 - 10^6 м²/кг.

Селикагели и алюмогели представляют продукты термической обработки (обезвоживания) гелей кремниевых и алюминиевых (гидроксид алюминия) кислот. Они имеют широкий набор пор различных размеров, поэтому могут поглощать сразу несколько компонентов. Цеолиты – природные и синтетиче-

ские алюмосиликаты, отличаются высокой однородностью пор, а потому высокой селективностью. Это позволяет применять принцип «молекулярного сита», т.е. применения набора цеолитов с различными размерами пор для очередной сорбции различных компонентов – от мелких молекул до крупных.

Среди сорбентов особое место занимают аниониты и катиониты – природные или синтетические ионообменные смолы в виде зерен размером до 1-1,5 мм, например, зерна сульфированного полистирола.

При выборе сорбента предъявляются следующие требования:

- селективность – избирательное поглощение компонента;
- большая поглощательная способность – уменьшает затраты;
- низкая летучесть – избежание потерь с уходящим газом;
- устойчивость – отсутствие способности к разложению, окислению;
- доступность и дешевизна, легкая генерируемость.

На практике приходится идти на компромисс в каждом конкретном случае, так как сорбент не может удовлетворять всем требованиям одновременно.

Адсорбция широко применяется: для улавливания паров растворителя из воздуха при окраске автомобилей; для очистки выхлопных газов автомобилей; для улавливания паров эфира, ацетона в производстве нитроцеллюлозы и бездымного пороха; для улавливания органических смол и паров растворителя в системе вентиляции предприятий по производству стекловолокна и стеклотканей; для улавливания ядовитых веществ на выходе лабораторных вытяжных шкафов; для улавливания радиоактивных газов (йод) при эксплуатации ядерных реакторов и многое другое.

Термическая нейтрализация вредных примесей проводится по одной из трех схем: 1) прямое сжигание в пламени при $t=600-800^{\circ}\text{C}$; 2) термическое окисление при $t=600-800^{\circ}\text{C}$; 3) каталитическая нейтрализация при $t=250-450^{\circ}\text{C}$. Выбор схемы проводится с учетом химического состава газов, расхода, ПДВ и ограничивается характером образующихся продуктов. Термическая нейтрализация не применяется при наличии в выбросах серы, галогенов (хлор, фтор, бром, йод) и фосфор, так как при этом образуются вещества много раз токсичные, чем первоначальные вещества.

Адсорберы конструктивно подразделяют на вертикальные (рис. 5.1), горизонтальные и кольцевые, Адсорберы также бывают периодические и непрерывные.

При расчете и проектировании адсорбера необходимо наличие следующих исходных данных:

- объемный расход очищаемого газа (выбросов) Q , $\text{м}^3/\text{с}$;
- концентрация примеси на входе адсорбера c_0 , $\text{кг}/\text{м}^3$;
- свойства очищаемого газа (температура, плотность, вязкость);
- свойства предполагаемого типа сорбента (плотность, поглощательная способность, форма зерен и т.д.).

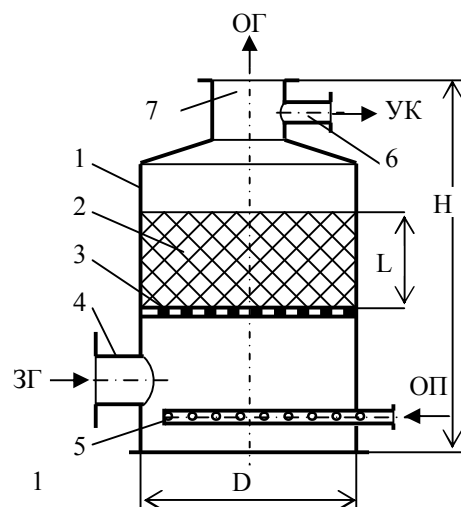


Рис. 5.1. Схема адсорбера: 1 – корпус; 2 – адсорбент; 3 – решетка; 4 – патрубок входной для ЗГ (загрязненный газ); 5 – приспособления для подачи ОП (острый пар); 6 – патрубок вывода УК (уловленный компонент) при десорбции; 7 – патрубок вывода ОГ (очищенный газ).

3. Рассчитывают коэффициента массопередачи:

$$K = \frac{1,6D}{d_3^{1,46}} \left(\frac{v_0}{v} \right)^{0,54}, \text{ л/с}, \quad (5.2)$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; v_0 – скорость газового потока, поступающего в адсорбер, принимаем $v_0=0,5\text{м}/\text{с}$; v – кинематическая вязкость очищаемого газа, $\text{м}^2/\text{с}$ (для воздуха, при 20°C : кинематическая вязкость $v=16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, плотность $\rho=1,2\text{кг}/\text{м}^3$); d_3 – размер зерна сорбента, м.

5. Время процесса адсорбции:

$$\tau = \left(\sqrt{\frac{cL}{v_0 c_0}} - b \sqrt{\frac{c}{K c_0}} \right)^2, \text{ с}, \quad (5.3)$$

где c – концентрация адсорбируемого вещества в адсорбенте, равновесная с концентрацией потока, $c=\alpha\rho_n$, $\text{кг}/\text{м}^3$; L – высота слоя адсорбента, принимаем $L=1\text{м}$. Коэффициент b определяется в зависимости от концентрации примеси

Методика расчета

1. Выбирают рабочую температуру (минимально возможную) и тип сорбента. Выбор сорбента проводится по изотерме адсорбции при данных t и c_0 . В данной расчетной работе параметры сорбента приведены в таблице исходных данных (вариантов).

2. Рассчитывают коэффициент диффузии примеси в воздухе:

$$D = \frac{0,00435T^{1,5}}{P(V_{mA} + V_{mB})} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}}, \text{ м}^2/\text{с}, \quad (5.1)$$

где T – температура потока (принимаем 293К); P – давление, Па (принимаем 10^5Па); V_{mA} , V_{mB} , M_A и M_B – молярные объемы ($\text{см}^3/\text{моль}$) и массы ($\text{кг}/\text{кмоль}$) соответственно примеси (A) и воздуха (B). Для воздуха: $V_{mB}=29,9 \text{ см}^3/\text{моль}$; $M_B=29 \text{ кг}/\text{кмоль}$.

на входе адсорбера c_0 (кг/м³), и требуемой концентрации примеси на выходе адсорбера c_1 (табл. 5.1). Принимаем $c_1=1\text{мг/м}^3=10^{-6}$ кг/м³.

Таблица 5.1

Значения коэффициента b

c_1/c_0	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,012	0,014	0,030
b	1,84	1,80	1,76	1,73	1,70	1,67	1,62	1,58	1,35

$$5. \text{ Минимально необходимая масса сорбента: } m = \frac{Qc_0\tau}{\alpha} K_3, \text{ кг, (5.4)}$$

где α - статическая поглотительная способность сорбента в рабочих условиях, кг/кг; $K_3=1,2$ - коэффициент запаса.

6. Коэффициент формы зерен, учитывающий неравную доступность всей поверхности зерна обдуваемому потоку:

$$K\phi = \frac{1,5d_3l_3}{(l_3 + 0,5d_3)(1,5d_3^2l_3)^{1,3}}, \quad (5.5)$$

где d_3 и l_3 - диаметр и длина зерен, мм. При $d_3=l_3$ получим:

$$K\phi = \frac{d_3}{1,69d_3^{3,9}}, \quad (5.6)$$

где d_3 диаметр зерен в [мм].

$$7. \text{ Пористость слоя сорбента: } \Pi = \frac{\rho_k - \rho_n}{\rho_k}, \quad (5.7)$$

где ρ_k и ρ_n , - кажущаяся и насыпная плотность сорбента, кг/м³

8. Эквивалентный диаметр зерен:

$$d_э = \frac{\Pi d_3 l_3}{(1 - \Pi)(0,5d_3 + l_3)^{1,3}} = \frac{\Pi d_3}{1,5(1 - \Pi)}, \text{ м; } \quad (5.8)$$

где d_3 диаметр зерен в [м]; Π - пористость слоя сорбента.

10. Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$R = \begin{cases} \frac{220}{\text{Re}}, & -npu - \text{Re} < 50 \\ \frac{11,6}{\text{Re}^{0,25}}, & -npu - 50 \leq \text{Re} \leq 7200 \end{cases} \quad (5.9)$$

10. Критерия Рейнольдса Re , учитывающий характер потока:

$$\text{Re} = \frac{v_0 d_э \rho_г}{\mu}, \quad (5.10)$$

где $v_0=0,5$ м/с; $\rho_г=1,2$ кг/м³; $\mu=19,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

11. Определяют скорость потока газа через адсорбер в зависимости от падения давления, параметров сорбента и газа:

$$v = \sqrt[3]{\frac{4K\phi \Delta P d_э \Pi^3 \rho_n Q}{3R\rho_г(1 - \Pi)m}}, \text{ м/с,} \quad (5.11)$$

где ΔP - падение давления, Па.

12. Диаметр адсорбера:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v \Pi}}, \text{ м.} \quad (5.12)$$

13. Длина (высота) слоя сорбента:

$$L = \frac{4m}{\pi \rho_n D^2}, \text{ м.} \quad (5.13)$$

14. Высота аппарата:

$$H=(1,2 \dots 1,5)D. \quad (5.14)$$

15. Начертить конструктивную схему аппарата с размерами (рис. 5.1).

Таблица 5.2

Исходные данные (варианты)

№ вар.	Q, м ³ /ч	Вещ.	V _{мл} , см ³ /моль	c ₀ , мг/м ³	d ₃ , мм	ρ _н , кг/м ³	ρ _к , кг/м ³	α, кг/кг	ΔP, Па
1, 10	1000	CO	30,7	60	8	500	750	0,20	3500
2, 11	950	SO ₂	44,8	70	7	450	700	0,19	4000
3, 12	1200	NO	23,6	80	10	400	650	0,18	2500
4, 13	1100	NH ₃	25,8	90	9	350	550	0,17	4500
5, 14	900	H ₂ S	32,9	140	8	550	800	0,16	2000
6, 15	800	Cl ₂	48,4	130	7	600	850	0,15	3500
7, 16	550	C ₆ H ₆	96,0	120	5	500	750	0,19	1500
8, 17	1200	Cl	24,6	110	10	450	700	0,17	3000
9, 18	450	I ₂	71,5	100	6	400	650	0,16	2000

Контрольные вопросы

1. Что такое абсорбция, адсорбция, хемосорбция и десорбция?
2. Сорбенты и требования к ним.
3. Параметры процесса адсорбции.
4. Область применения сорбции.

Работа №6. Оборудования для механической очистки сточных вод. Расчет песколовки и отстойников

Цель работы: Приобретение навыков выбора и расчета песколовки и отстойников.

Вводная часть

Гидросфера – это совокупность океанов, морей, озер, рек, прудов, болот, подземных вод, ледников и водяных паров атмосферы. Обычно в воде находятся различные примеси органического и неорганического происхождения. Источниками загрязнения водных объектов являются промышленность, сельское хозяйство, города, транспорт. Число загрязнителей достигает 2500. До 80% всех заболеваний связано с качеством потребляемой воды.

Основные пути решения проблемы защиты водных объектов являются очистка сточных вод от загрязнения, обеспечение режима и регулирования качества воды, создание оборотных и замкнутых систем водоснабжения. Качество воды характеризуется органолептическими (цвет, запах, привкус, мутность), гидрохимическими (рН, растворенный кислород, минерализация, биогенные элементы, железо), микробиологическими показателями и содержанием токсинов. Критерием качества воды является значение:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\phi i}}{ПДК_i} \leq 1,$$

где $C_{\phi i}$ – фактическая концентрация i -го вещества в воде, мг/л; ПДК $_i$ – предельно-допустимая концентрация этого вещества в воде, мг/л, n – количество веществ данной группы.

Нормативом поступления веществ в водный объект является ПДС – предельно допустимый сброс массы вещества за единицу времени, г/с:

$$ПДС = q C_{ПДС},$$

где q – расход сточных вод, м³/с; $C_{ПДС}$ – разрешенная концентрация вредного вещества в сточной воде, г/м³.

Механическая очистка воды применяется для выделения из воды нерастворенных минеральных и органических примесей. В большинстве случаев механическая очистка является предварительной (грубой) очисткой, перед другими методами. Для удаления из воды взвешенных частиц применяют процеживание, отстаивание, центрифугирование, фильтрование. Выбор метода зависит от размера частиц примесей, физико-химических свойств и концентрации взвешенных частиц, расхода сточных вод и степени очистки.

Перед подачей сточных вод на механическую очистку их могут направлять в усреднители, которые регулируют состав и расход сточных вод, так как состав и расход сточных вод значительно изменяется в течение суток. Усреднители либо дифференцируют поток, либо перемешивают отдельные потоки.

Процеживание – первичная стадия обработки сточных вод для извлечения из них крупных нерастворимых примесей, а также волокнистых фракций, которые препятствуют нормальной работе очистительных сооружений. Для этого сточные воды пропускают через решетки (сита) и волокнуловители, перед отстойниками.

Отстаивание – осаждение взвешенных частиц под воздействием гравитационных сил. Отстаивание осуществляется в песколовках и отстойниках. Песколовки устанавливаются перед отстойниками, для выделения тяжелых минеральных примесей (песка), что упрощает эксплуатацию отстойников и сооружений по обработке осадка. Время пребывания воды в песколовках составляет 0,5-2 мин. Обезвоженный песок можно использовать в строительстве.

Отстойники делятся на горизонтальные и вертикальные. Вертикальный отстойник с центральной трубой для впуска воды состоит из цилиндрической и конической частей и центральной трубы для впуска воды. Последняя модификация вертикальных отстойников – радиальные отстойники, отличаются радиальной конфигурацией и наличием скребкового механизма. Вертикальный отстойник с периферийным впуском воды представлен на рис. 6.2. Емкость отстойников чаще всего рассчитывается на 1,5 ч, во время которого выпадает 40-60% взвешенных веществ. Эффективность очистки можно повысить, увеличивая скорость осаждения частиц путем их укрупнения коагуляцией и флокуляцией или уменьшением вязкости воды нагреванием.

Для очистки сточных вод, содержащих нефть, при концентрации более 100 мг/л применяют нефтеловушки. Нефтеловушки представляют собой прямоугольные резервуары, подобные горизонтальным отстойникам, в которых нефть и вода разделяются из-за разности плотностей, причем нефть всплывает на поверхность, собирается и утилизируется.

Характеристики различных аппаратов механической очистки приведены в таблице 6.1 [3, 4, 10].

Табл. 6.1

Характеристики аппаратов механической очистки

Аппарат	Размер улавливаемых частиц, мкм	Концентрация до очистки, мг/л	Концентрация после очистки, мг/л
Решетки	1600	0,5-2	-
Песколовки	200-250	500	-
Отстойники	50-30	500-300	150-100
Фильтры	1-0,1	350-10	3,5-3

Методика расчета.

Упражнение 1. Расчет горизонтальной песколовки

1. Площадь сечения песколовки:

$$F=Q/vn, \quad (6.1)$$

где Q — расход сточных вод, $м^3/с$; v — средняя скорость движения воды, принимаем $0,2м/с$; n — количество отделений.

2. Длину песколовки (рис. 6.1) вычисляют по формуле:

$$L = k \frac{h_1}{u_0} v, \quad (6.2)$$

где h_1 — глубина проточной части, $м$; u_0 — гидравлическая крупность песка расчетного диаметра, $м/с$ (табл. 6.1); k — коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других факторов на работу песколовок:

$$k = \frac{u_0}{\sqrt{u_0^2 - 0,0025v^2}}.$$

3. Ширина песколовки:

$$B=F/h_1, \text{ м.}$$

4. Общая высота песколовки:

$$H= h_1+h_2+h_3+h_4, \text{ м,}$$

где h_1, h_2, h_3 и h_4 — соответственно высота проточной части, слоя песка, надводной части и приямки (принимаем: $h_4=h_1$; $h_2=h_3=h_1/2$).

5. Уклон днища для сползания слоя песка к приямку принимают $0,2-0,4$.

6. Начертить схему песколовки (рис.6.1).

Таблица 6.1

Исходные данные (варианты)

№ варианта	$Q, м^3/ч$	N	$h_1, м$	$d_{ч}, мм$	$u_0, мм/с$
1, 10	500	1	0,7	0,25	24,2
2, 11	400	1	0,5	0,3	29,7
3, 12	300	1	0,6	0,35	35,1
4, 13	100	1	0,7	0,4	40,7
5, 14	70	1	0,8	0,5	51,6
6, 15	50	1	0,4	0,25	24,2
7, 16	1000	2	1	0,3	29,7
8, 17	700	2	0,9	0,35	35,1
9, 18	500	1	0,8	0,4	40,7

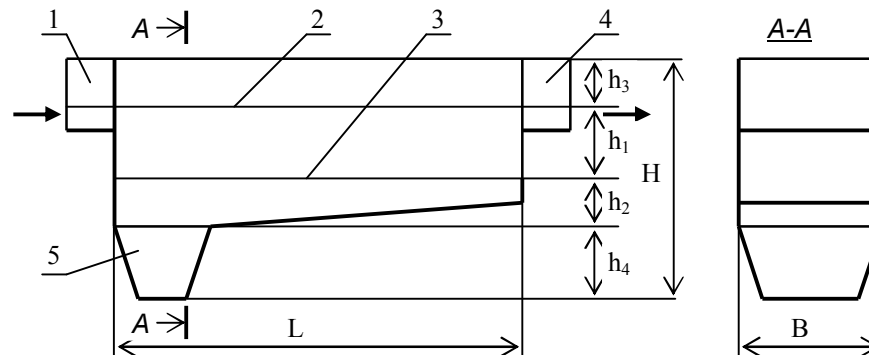


Рис. 6.1. Песколовка горизонтальная: 1 – лоток подающий; 2 – уровень воды; 3 – слой песка; 4 – лоток отводящий; 5 – приямок.

Упражнение 2. Расчет отстойников.

1. Расчет горизонтального отстойника.

1.1. Скорость осаждения частиц в отстойнике (для мелких частиц сферической формы, осаждающихся в ламинарном режиме и в нестесненных условиях (критерий Архимеда $Ar \leq 3,6$)) можно рассчитать по уравнению Стокса:

$$v_{ос} = \frac{(\rho_{ч} - \rho_{ж}) d_{ч}^2 g}{18\mu}, \text{ м/с,} \quad (6.3)$$

где $d_{ч}$ - минимальный эквивалентный диаметр частиц, высаждаемых в отстойнике, $м$; $\rho_{ч}$ - кажущаяся плотность частиц, $кг/м^3$; $\rho_{ж}$ - плотность жидкости, примем $1020 кг/м^3$; g - ускорение свободного падения, равное $9,81м/с^2$; μ - динамическая вязкость жидкости, принимаем 10^{-3} Па·с.

1.2. Рабочий объем отстойника:

$$V=Q\tau, \text{ м}^3 \quad (6.4)$$

где τ - время отстаивания, принимаем $1,5$ ч.

1.3. Ширина отстойника:

$$B = \frac{Q}{vH}, \text{ м,} \quad (6.5)$$

где Q – расход сточных вод, $м^3/с$; v - скорость движения сточных вод в отстойнике, принимаем равной $0,005$ $м/с$; H - глубина горизонтального отстойника, принимаем равной $3,2$ $м$.

1.4. Длина горизонтального отстойника:

$$L = \frac{V}{vH}, \text{ м.} \quad (6.6)$$

1.5. Днище отстойника выполняется с уклоном к прямку не менее 0,005; высота нейтрального слоя принимается равной 0,3 м над поверхностью осадка; для вторичных отстойников должна быть учтена глубина слоя ила, равная 0,3-0,5 м.

2. Расчет вертикального отстойника с впуском воды через центральную трубу, снабженную в нижней части раструбом и отражательным щитом.

2.1. Рабочий объем отстойника рассчитывается по формуле (6.4).

2.2. Высота рабочей (цилиндрической) части отстойника:

$$H = v\tau, \text{ м}, \quad (6.7)$$

где v — скорость движения сточной воды в отстойнике, принимаем 0,7 мм/с.

2.3. Площадь сечения отстойника:

$$F = \frac{V}{H}, \text{ м}^2. \quad (6.8)$$

2.4. Площадь сечения центральной трубы:

$$f_{\text{цт}} = \frac{Q}{v_{\text{цт}}}, \text{ м}^2, \quad (6.9)$$

где $v_{\text{цт}}=250-300$ мм/с — скорость движения сточной воды в центральной трубе.

2.5. Диаметр центральной трубы:

$$d_{\text{цт}} = \sqrt{\frac{4f_{\text{цт}}}{\pi}}, \text{ м}. \quad (6.10)$$

2.6. Диаметр отстойника:

$$D = \sqrt{\frac{4(F + f_{\text{цт}})}{\pi}}. \quad (6.11)$$

2.7. Остальные параметры принимаются:

- угол наклона поверхности отражательного щита к горизонту $\alpha=17^\circ$;
- диаметр раструба и его высота $d_p=h_p=1,35d_{\text{цт}}$;
- диаметр отражательного щита $d_{\text{отр}}=1,3d_p$;
- высота нейтрального слоя между низом отражательного щита и поверхностью накопленного осадка $h_{\text{нс}}=0,3$ м;
- угол наклона стенок иловой части $\beta=50-60^\circ$.

3. Расчет вертикальных отстойников с периферическим впуском воды (рис. 6.2).

3.1. Радиус вертикальных первичных отстойников можно определить по формуле:

$$R_{\text{в}} = \sqrt{\frac{Q}{3,6\pi k v_{\text{ос}}}}, \text{ м}, \quad (6.12)$$

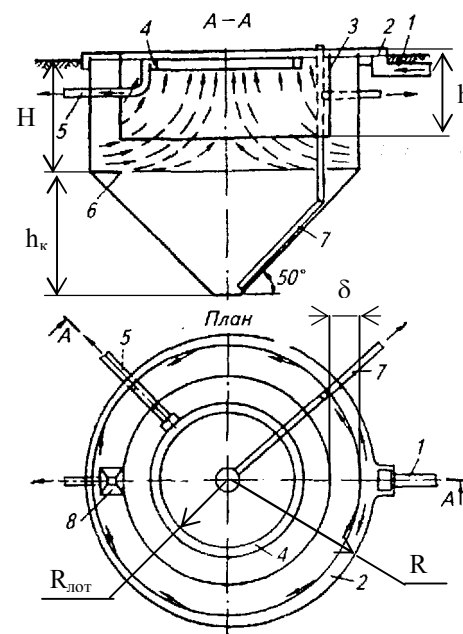


Рис. 6.2. Вертикальный отстойник с периферическим впуском воды:

1 - лоток подающий; 2 - лоток водораспределительный; 3 - стенка струенаправляющая; 4 - лоток кольцевой водосборный; 5 - трубопровод для отвода осветленной воды; 6 - кольцо отражательное; 7 - труба для выпуска осадка; 8 - сборник всплывающих веществ.

- скорость воды в водораспределительном лотке $v_{\text{лот}}=0,4-0,5$ мм/с;
- радиус внутренней стенки кольцевого водосборного лотка с зубчатыми водосливами $R_{\text{лот}}=0,5R$;
- удельная нагрузка на зубчатый водослив $q=6л/(с\cdot м)$;
- угол наклона стенок иловой части $\beta=50-60^\circ$.

4. Расчет радиальных отстойников.

4.1. Рабочий объем отстойника рассчитывают по формуле (6.4).

где Q — расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$; k — коэффициент объемного использования (для отстойников с центральной впускной трубой - 0,35, для отстойников с нисходяще-восходящими потоками с периферическим впуском воды — 0,65-0,7); $v_{\text{ос}}$ — скорость осаждения частиц, мм/с, рассчитывается по уравнению (6.3).

3.2. Радиус отстойников с нисходяще-восходящим потоком $R=1,4R_{\text{в}}$.

3.3. При проектировании отстойников с периферическим впуском воды их радиус принимается равным до 5 м. Ширина кольцевой зоны определяется по формуле:

$$\delta = R - \sqrt{R^2 - \frac{Q}{3,6\pi v_{\text{вх}}}}, \text{ м}, \quad (6.13)$$

где $v_{\text{вх}}=5-7$ мм/с — скорость входа воды в рабочую зону.

3.4. Остальные параметры принимаются:

- рабочая глубина $H=8\delta$;
- заглубление струенаправляющей стенки $h=0,7H$;
- ширина отражательного кольца $b=2\delta$;

4.2. Радиус радиальных отстойников рассчитывают по формуле (6.12), где коэффициент $k=0,45$.

4.3. Высота зоны отстаивания:

$$h_1 = \frac{V}{\pi R^2}, \text{ м.} \quad (6.14)$$

4.4. Общая высота отстойника лежит в пределах 1,5-5 м или $H=(1/3 \dots 1/6)R$ и складывается из трех зон:

$$H=h_1+h_2+h_3, \quad (6.15)$$

где h_1 - высота зоны отстаивания; h_2 - высота нейтрального слоя или зоны сгущения - 0,3 м; h_3 - высота зоны расположения лопастей и слоя осадка - 0,3 м, или глубина слоя ила (для вторичных отстойников) - 0,3-0,5 м;

4.4. Остальные параметры принимаются:

- нагрузка на водосливный фронт зубчатого водослива $q \leq 10 \text{ л/(с·м)}$;
- частота вращения илосребров и илососов $n=0,8-3 \text{ ч}^{-1}$.

5. Начертить конструктивную схему песколовки и отстойника с полученными размерами.

Таблица 6.1

Исходные данные (варианты)

№ варианта	Q, м ³ /ч	C ₀ , мг/л	d _ч , мкм	ρ _ч , кг/м ³	Отстойник
1, 10	500	1000	50	1500	Горизонтальный
2, 11	400	950	45	1550	Горизонтальный
3, 12	300	900	40	1600	Горизонтальный
4, 13	100	850	35	1650	Вертикальный
5, 14	70	800	50	1700	Вертикальный
6, 15	50	750	45	1750	Вертикальный
7, 16	1000	700	40	1800	Радиальный
8, 17	700	650	35	1850	Радиальный
9, 18	500	600	30	1900	Радиальный

Контрольные вопросы

1. Что такое процеживание?
2. Для чего применяются песколовки?
3. Дайте классификацию отстойников.
4. Для чего применяются нефтеловушки?

Работа №7. Разделение «жидкость – твердое» тело центрифугированием. Технологический и конструктивный расчет центрифуг

Цель работы: Приобретение навыков по очистке воды от твердых частиц методом центрифугирования, выбор и расчет центрифуг.

Приборы и принадлежности: Центрифуга, фотоколориметр, мерные цилиндры, суспензия (сточная вода, содержащая взвешенные вещества).

Вводная часть

Центрифугирование – это процесс разделения неоднородных систем (суспензий, эмульсий, шламов и ряд других систем) под действием центробежных сил, создаваемых в результате вращения ротора с объектом. При этом на тела (частицы) действует центробежная сила:

$$F_{ц} = m \frac{v^2}{R} = m\omega^2 R, \quad (7.1)$$

где m - масса частицы; v - линейная скорость частицы, ω - угловая скорость вращения; R – радиус вращения. Как видно из формулы, изменяя скорость и радиус, можно получить силу в сотни и тысячи раз больше гравитационной, что влияет на скорость осаждения, производительности и компактности аппарата. Центрифугирование суспензий осуществляется в центрифугах и гидроциклонах. Аппараты для разделения и концентрирования эмульсий также называются сепараторами. Центрифугирование растворов не применяется, так как центробежное поле, развиваемое в современных центрифугах, не позволяет преодолеть силы диффузии [1, 2, 7, 10].

По значениям фактора разделения центрифуги подразделяют на: нормальные центрифуги ($Fr < 4000$) и суперцентрифуги ($Fr > 4000$). К настоящему времени максимальное значение фактора разделения промышленных центрифуг достигло значения 15000, а меньших – 9000. Фактор разделения центрифуги или центробежная критерия Фруда называется величина, показывающая на сколько центробежная сила превышает силу гравитации:

$$Fr = \omega^2 R / g, \quad (7.2)$$

где ω - угловая скорость вращения ротора центрифуги, рад/с; R – характерный размер ротора (радиус), м.

Еще одной из основных характеристик центрифуг является индекс производительности Σ - площадь поверхности осаждения такого идеального гравитационного отстойника, который может быть заменен центрифугой, выполняющей его функции. Для цилиндрического ротора:

$$\Sigma = 4\pi R^2 L \omega^2 / g, \text{ м}^2, \quad (7.3)$$

где L – длина (высота) ротора, м.

Важной характеристикой центрифуг является крупность разделения – наиболее крупные частицы дисперсной фазы, которые могут быть вынесены с фугатом (очищенной водой):

$$d_{кр} = \sqrt{\frac{18\mu Q}{\Sigma(\rho - \rho_{ж})g}}, \text{ м} \quad (7.4)$$

где μ - динамическая вязкость очищаемой жидкости, Па·с; ρ и $\rho_{ж}$ - плотность взвешенных частиц и жидкости, кг/м^3 .

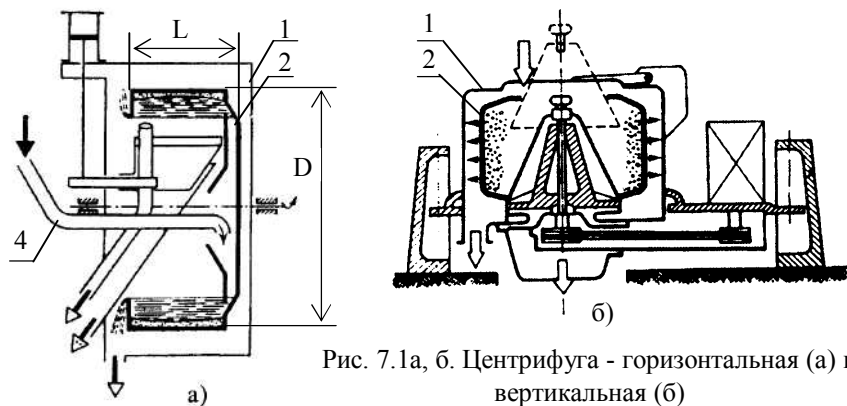


Рис. 7.1а, б. Центрифуга - горизонтальная (а) и вертикальная (б)

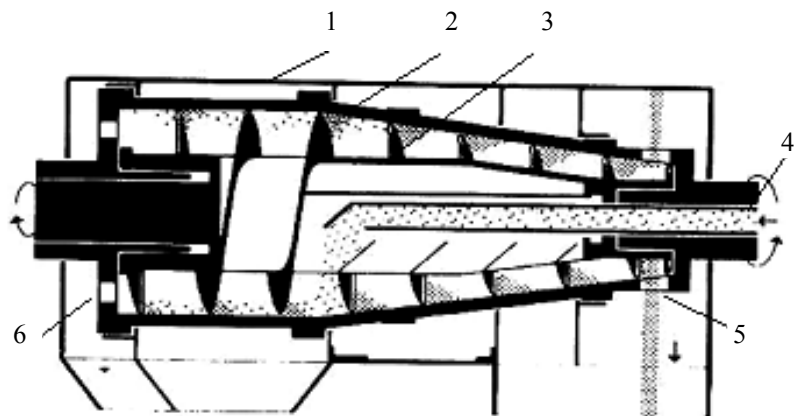


Рис.7.1 в. Центрифуга типа ОГШ: 1 – корпус; 2 – ротор; 3 – шнек; 4 – питающая труба; 5 – окно выгрузки осадка; 6 – окно отвода фугата

Центрифуги подразделяются на горизонтальные (рис.7.1а) и вертикальные (рис. 7.1б), производственные и лабораторные (рис. 7.2), непрерывные и перио-

дические, осаждающие и осветляющие. По способу выгрузки осадка центрифуги подразделяются на ручной, шнековый (рис. 7.1в), пульсирующий.

Гидроциклоны состоят из цилиндрической и конической частей, отличаются отсутствием движущихся частей (роторов). Вращение потока происходит из-за тангенциального расположения входного патрубка (подобно циклонам). Гидроциклоны подразделяются на открытые и напорные.

Диаметр и высота открытых гидроциклонов составляет 2-6 м, угол конической части - 60° . скорость осаждения частиц - достигает 0,02 м/с. Диаметр входного отверстия $d=0,1D$. Открытые гидроциклоны отличаются большой производительностью и малой потери напора (до 500Па), производительность:

$$Q=3,4vD^2, \text{ м}^3/\text{с} \quad (7.5)$$

где v - скорость воды на входе аппарата, м/с; D – диаметр цилиндрической части, м.

Диаметр цилиндрической части напорных гидроциклонов составляет 25-500 мм. Сточная вода подается под давлением 0,15-0,4 МПа. Производительность напорного гидроциклона:

$$Q = kDd\sqrt{2g\Delta P} \quad (7.6)$$

Для центрифугирования требуется создавать центробежное поле достаточно высокой напряженности, для чего необходим регулируемый режим высокочастотного вращения материалов в некоторой емкости (рис. 7.2). Вокруг оси 1 вращаются емкости 2. Суспензия вместе с ротором центрифуги совершает вращательное движение с угловой скоростью:

$$\omega=2\pi n, \text{ рад/с} \quad (7.7)$$

где n – частота вращения, об/с.

При этом на частицу массой m действует центробежная сила:

$$F_{ц}=m\omega^2r, \text{ Н} \quad (7.8)$$

где r – расстояние от оси вращения до частицы.

Удельная (на 1м^3) движущая сила процесса осаждения с учетом архимедовой силы запишется в виде:

$$f=(\rho_t-\rho)\omega^2r, \text{ Н/м}^3 \quad (7.9)$$

где ρ_t , и ρ - соответственно плотности твердых частиц и жидкости, кг/м^3 . Поскольку за счет высокой частоты вращения центробежное ускорение ω^2r намного больше ускорения силы тяжести g , то в поле центробежных сил наблюдается существенное возрастание скорости осаждения и суспензия разделяется на осветленную жидкость 3 и осадок 4.

Упражнение 1. Изучение процесса центрифугирования суспензий

Порядок проведения работы

1. Ознакомиться с принципом работы центрифуги (рис. 7.2) и фотоколориметра и подготовить приборы к работе. Фотоколориметр необходимо

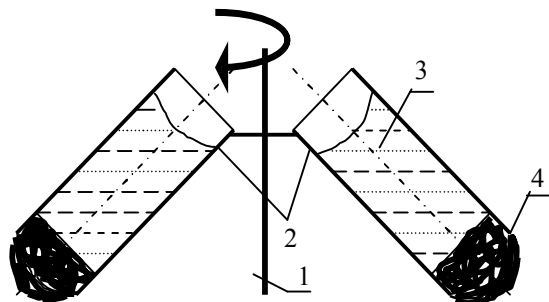


Рис. 7.2. Схема лабораторной центрифуги: 1 – ось вращения ротора; 2 – емкость; 3 – осветленная жидкость; 4 – осадок

и исследуемым объектом.

5. Для контрольного объекта установить коэффициент пропускания T равный 100%, затем поворотом ручки кювету с контрольным объектом заменить кюветой с исследуемым объектом и снять показания.

6. Определить оптическую плотность D по формуле $D=2-\lg T$ (или по показанию прибора).

7 Опыт проводить с очередными растворами. Данные занести в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Данные для калибровочного графика

№	1	2	3	4	5
c , мг/л	0	250	500	750	1000
T , %					
D					

8. Построить калибровочный график, т.е. график зависимости оптической плотности или коэффициента пропускания от концентрации взвешенных веществ: $D=f(c)$ или $T=f(c)$.

9. Измерить радиус r ротора центрифуги.

10. Поместить суспензию с известной концентрацией c_0 взвешенных частиц (например, $c_0=1000$ мг/л) в емкость центрифуги с целью центрифугирования, закрыть крышку.

11. Установить (левой ручкой) таймер (1-2 мин.) и установить (правой ручкой) минимальную частоту вращения ротора. После остановки прибора извлечь осветленную воду из центрифуги и произвести измерения оптической плотности фотоколориметром (п. 3-6).

12. По калибровочному графику определить концентрацию взвешенных частиц в осветленной воде c_1 .

13. Повторить опыт 4-5 раз при различных частотах вращения ротора n и постоянном времени центрифугирования. Определить угловую скорость ротора ω по формуле (7.7). Данные занести в таблицу 7.2.

14. Определить фактор разделения центрифуги по формуле (7.2).

15. Определить эффективность разделения (осветления):

$$\eta = \frac{c_0 - c_1}{c_0} \times 100\%,$$

где c_0 - концентрация взвешенных частиц в исходной суспензии (сточной воде); c_1 - концентрация взвешенных частиц в осветленной воде.

16. Построить график зависимости эффективности разделения от частоты вращения ротора $\eta=f(n)$.

Таблица 7.2

Результаты опытных и расчетных работ

№	r , м	c_0 , мг/л	n , об/мин	ω , рад/с	c_1 , мг/л	Fr	η
1							
2							
3							
4							
5							

Упражнение 2. Технологический и конструктивный расчет центрифуги

В теоретическом анализе процессов центрифугирования следует отметить наличие белых пятен, относящихся к проблемам гидродинамики жидкостей в поле центробежных сил. При практических расчетах и анализе процессов центрифугирования приходится пользоваться упрощениями, схематизацией и допущениями, а также результатами широкомасштабного эксперимента.

Методика расчета

1. Определяем рабочий объем ротора центрифуги:

$$V=Q \cdot \tau, \text{ м}^3, \quad (7.10)$$

где Q – расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{с}$, τ – время центрифугирования, принимаем $\tau=120\text{с}$.

2. Так как, ротор обычно заполняют на половину или на 2/3, поэтому полный объем ротора:

$$V=1,5 \cdot V_{\text{раб}}. \quad (7.11)$$

3. Если принять равным длину L и радиус R ротора, тогда можно пользоваться формулой:

$$L = R = 3\sqrt{\frac{V}{\pi}}, \text{ м.} \quad (7.12)$$

4. Определяем среднее расстояние от оси ротора до частиц:

$$r_{cp} = (R + r_0)/2, \text{ м,} \quad (7.13)$$

где r_0 – радиус свободной поверхности жидкости в роторе, $r_0 = 0,866R$.

5. Определяем угловую скорость вращения ротора:

$$\omega = \sqrt{\frac{Qg}{2\pi v_{oc} L r_{cp}^2}}, \text{ рад/с,} \quad (7.14)$$

где v_{oc} – скорость осаждения частиц в гравитационном поле, находят по формуле (6.3):

$$v_{oc} = \frac{(\rho_{ч} - \rho_{ж})d_{ч}^2 g}{18\mu}, \text{ м/с,}$$

где $d_{ч}$ – минимальный эквивалентный диаметр осаждаемых частиц, м; $\rho_{ч}$ – кажущаяся плотность частиц, кг/м^3 ; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, примем 1020 кг/м^3 ; g – ускорение свободного падения, равная $9,81 \text{ м/с}^2$; μ – динамическая вязкость жидкости, принимаем $10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

6. Скорость осаждения частиц в центробежном поле:

$$v_{ц} = d^2 \cdot (\rho_{ч} - \rho_{ж}) \cdot \omega^2 \cdot r_{cp} / (18 \cdot \mu). \quad (7.15)$$

7. Индекс производительности центрифуги:

$$\Sigma = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot L \cdot \omega^2 / g, \text{ м}^2. \quad (7.16)$$

8. Производительность по осадку:

$$Q_{oc} = c_0 Q / \rho_{ч}, \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } Q_{oc} = c_0 Q, \text{ кг/ч,} \quad (7.17)$$

где c_0 – концентрация твердых частиц в сточной воде, кг/м^3 .

9. Площадь поверхности барабана:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = \pi R^2 + \pi(R^2 - r_0^2) + 2\pi RL = \pi(2R^2 - r_0^2 + 2R \cdot L), \text{ м}^2, \quad (7.18)$$

где S_1 и S_2 площади торцевых частей (сплошная сторона и сторона подвода воды и механизма съема осадка); S_3 – площадь боковой части.

10. Объем материала барабана:

$$V_M = S \cdot h, \text{ м}^3, \quad (7.19)$$

где h – толщина материала (например, 5 мм).

11. Масса барабана:

$$m_B = V_M \cdot \rho_M, \text{ кг,} \quad (7.20)$$

где ρ_M – плотность материала барабана (обычно – сталь плотностью 7900 кг/м^3).

12. Масса суспензии:

$$m_c = \rho_{ж} V_{раб}, \text{ кг.} \quad (7.21)$$

13. Количество суспензии за единицу времени:

$$G = Q \rho_{ж}, \text{ кг/с.} \quad (7.22)$$

14. Затраты энергии на центрифугирование или мощность электродвигателя на рабочем ходу:

$$N_p = N_B + N_c + N_f = 0,005R^4 L \rho \omega^3 + 0,5Gr_{cp}^2 \omega^2 + (m_B + m_c)gk r_B \omega, \text{ Вт,} \quad (7.23)$$

где: N_f – мощность для преодоления силы трения вала в подшипниках; N_c – мощность для закручивания поступающей суспензии; N_B – мощность для взаимодействия вращающегося ротора с воздухом; $\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха; k – коэффициент трения, принимаем $k = 0,1$; радиус вала – $r_B = 0,025 - 0,05 \text{ м}$.

15. Мощность для пуска:

$$N_n = 2,5N_p, \text{ Вт.} \quad (7.24)$$

Задание. Выбрать и произвести технологический расчет горизонтальной центрифуги с ножевым съемом осадка (рис.7.1а) согласно исходным данным (табл. 7.4). Начертить схему центрифуги с размерами.

Таблица 7.3

Исходные данные (варианты)

№ вар.	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$c_0, \text{ мг/л}$	$d_{ч}, \text{ мкм}$	$\rho_{ч}, \text{ кг/м}^3$
1, 10	90	1000	9	2000
2, 11	80	950	8	1950
3, 12	70	900	8	1900
8, 13	60	850	7	1850
5, 14	50	800	7	1800
6, 15	40	750	6	1750
7, 16	30	700	6	1600
8, 17	20	650	5	1550
9, 18	10	600	5	1500

Контрольные вопросы.

1. Что такое центрифугирование?
2. Классификация и основные параметры центрифуг.
3. Классификация и основные параметры гидроциклонов.
4. Силы, действующие на частицы при центрифугировании.
5. От чего зависят затраты энергии на центрифугирование?

Работа №8. Фильтрация сточных вод. Расчет зернистых фильтров.

Цель работы: Приобретение знаний и навыков по расчету зернистых фильтров.

Вводная часть

Фильтрованием называют гидромеханический процесс, разделения жидких неоднородных систем с помощью пористых перегородок, задерживающих твердую фазу и пропускающих жидкость. Скорость фильтрации прямо пропорциональна разности давлений (движущей силе) на входе и выходе аппарата и обратно пропорциональна сопротивлению фильтра. По способу организации фильтры делятся на периодические и непрерывные. При этом, процессы фильтрования могут протекать при постоянной разности давлений ΔP и скорости фильтрации v или при переменном ΔP и v . По механизму фильтрования различают процесс с закупориванием пор или с образованием осадка. По способу выгрузки осадка различают процессы с механизированной и ручной выгрузкой. Для повышения качества фильтрации и предотвращения попадания твердых частиц в поры применяют фильтровальные вспомогательные вещества – тонкозернистые и тонковолокнистые материалы [2, 7, 10].

Зернистые фильтры относятся к периодическим фильтрам. В качестве фильтрующих веществ используют различные зернистые элементы – кварцевый песок, гранитный щебень, дробленые антрацит и керамзит, шлак и др. Для окончательной очистки часто используют фильтрование с насыпным материалом, тогда как очистку на решетках, песколовки и отстаивание используют для предварительной очистки. Конструктивная схема фильтра с восходящим потоком воды представлена на рис. 8.1, высота слоев зависит от материала загрузки и размера зерен (табл. 8.1).

Подобные фильтры с насыпной загрузкой используются для окончательной очистки сточных вод. Исходная концентрация взвешенных частиц в сточных водах, поступающих в фильтры, должна быть: $c=10-40$ мг/л, а получаемая после фильтрации $c \leq 3$ мг/л.

Барабанный вакуум-фильтр относится к непрерывным фильтрам постоянного перепада давления. Барабанный вакуум-фильтр состоит из полого барабана с перфорированной боковой поверхностью, разделенный внутренними перегородками на отдельные ячейки. Ячейки покрыты снаружи сеткой, а затем фильтровальной тканью. Барабан приводится во вращение мотором с редуктором. Такие фильтры предназначены для разделения среднedisперсных и труднофильтруемых суспензий при очистке городских и промышленных сточных вод, в химической, целлюлозно-бумажной и других отраслей промышленности.

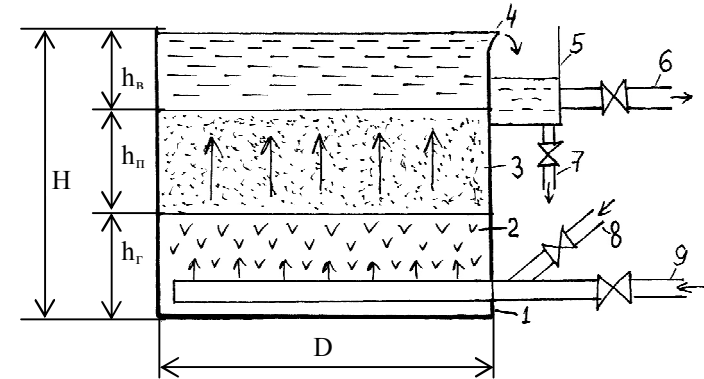


Рис. 8.1. Схема зернистого фильтра с восходящим потоком:

1 – корпус; 2 – гравий; 3 – песок; 4 – пескоулавливающий желоб; 5 – карман; 6 – отвод осветленной воды; 7 – сброс промывной воды; 8 – подача промывной воды; 9 – подача сточной воды

Ленточный вакуум-фильтр также относится к непрерывным фильтрам постоянного перепада давления, состоит из резиноканевой ленты, натянутой на два вращающихся барабана. Лента скользит по горизонтальному направляющему (столу) с прорезами, связывающими ленту с вакуум камерами. Под действием перепада давления жидкость проникает через фильтровальную ленту, осадок отстается и снимается ножом или промывается. Поверхность фильтрации при ширине ленты 500-1580 мм составляет 1,8-30 м². Фильтры такого типа предназначены для фильтрации суспензий с неоднородной крупностью твердой фазы, в частности для обезвоживания осадков.

Для тонкой очистки трудно фильтруемых суспензий также применяют листовые и дисковые фильтры, патронные фильтры, емкостные фильтры под давлением, рамные и камерные фильтр-прессы и виброфильтры.

При выборе типа и размера фильтров важны такие показатели производства, как мощность, непрерывность или периодичность технологического процесса, стабильность суспензии и другие. Для снижения вязкости жидкой фазы суспензии и повышения скорости фильтрации применяются фильтрование при повышенных температурах и разбавители, обладающие пониженной вязкостью.

При расчете фильтров необходимо определить суммарную площадь фильтров F_{Σ} , м², число фильтров N , площадь одного фильтра F , м², расчетную скорость фильтрации v_p , м/ч, при следующих исходных данных: расход сточных вод Q_p , м³/сут, продолжительность простоя одного фильтра при промывке t , ч, концентрация взвешенных частиц на входе в фильтр c , мг/л.

Методика расчета

1. Получить исходные данные: Q_p , c , N (табл. 8.1). Назначить число промывок фильтров в сутки n : $n=1$ при $c \leq 20$ мг/л и $n=2$ при $c > 20$ мг/л.

2. Рассчитать циркуляционный (промывочный) расход $Q_{ци}$ в зависимости от числа промывок фильтров в сутки.

$$Q_{ци} = 0,025Q_p, \text{ при } n=1, \quad (8.1)$$

$$Q_{ци} = 0,05Q_p, \text{ при } n=2. \quad (8.2)$$

3. Определить расчетную скорость фильтрования:

$$v_p = v_{\phi}(N-m)/N, \text{ м/ч}, \quad (8.3)$$

где скорость фильтрования при форсированном режиме принимается $v_{\phi} = 12-14$ м/ч, m – число фильтров, находящихся в ремонте или на промывке, принимается $m=2$ при $N < 20$ и $m=3$ при $N \geq 20$.

4. Определить суммарную площадь фильтров:

$$F_{\Sigma} = (Q_p + Q_{ци}) / (24v_p - nv_p t), \text{ м}^2, \quad (8.4)$$

где продолжительность простоя одного фильтра при промывке принимается $t = 0,5-0,6$ ч.

5. Определить площадь одного фильтра:

$$F = F_{\Sigma} / N, \text{ м}^2. \quad (8.5)$$

Из конструктивных соображений площадь одного фильтра должна быть не более 50 м^2 . Если $F > 50 \text{ м}^2$, тогда необходимо исходное число фильтров увеличить на 2 и повторить расчет по п. 3-5 до достижения условия $F \leq 50 \text{ м}^2$, учитывая, что $m=3$ при $N \geq 20$.

5. Определить диаметр одного фильтра:

$$D = \sqrt{4F / \pi}, \text{ м}. \quad (8.6)$$

$$6. \text{ Высота фильтра: } H = h_1 + h_2 + h_3, \text{ м}, \quad (8.7)$$

где h_1 , h_2 , h_3 – соответственно высота слоя гравия, песка и осветленной воды (табл. 8.2). Принимаем $h_3 = h_1$.

Таблица 8.2.

Исходные данные (варианты) для расчета.

№ вар.	Q_p , [м ³ /сут]	c , мг/л	Размер зерен, мм		Высота слоя, h_1 , h_2 , м	
			гравия	песка	гравия	песка
1, 10	10000	10	20-40	2-5	0,2-0,25	0,5-0,7
2, 11	14000	12	10-20	1-2	0,2-0,3	1,3-1,5
3, 12	18000	15	5-10	1-2	0,3-0,4	1,3-1,5
4, 13	22000	18	20-40	2-5	0,2-0,25	0,5-0,7
5, 14	26000	22	10-20	1-2	0,2-0,3	1,3-1,5
6, 15	30000	26	5-10	1-2	0,3-0,4	1,3-1,5
7, 16	34000	30	20-40	2-5	0,2-0,25	0,5-0,7
8, 17	38000	35	10-20	1-2	0,2-0,3	1,3-1,5
9, 18	42000	40	5-10	1-2	0,3-0,4	1,3-1,5

7. Начертить схему (рис. 8.1) зернистого фильтра с полученными размерами.

Контрольные вопросы.

1. Что такое фильтрация?
2. Какие материалы используются для фильтрования воды?
3. Объясните схему фильтра с восходящим потоком.
4. Параметры фильтров и исходные параметры для расчета фильтров: физический смысл и единицы измерения.

Лабораторная работа №9. Процессы и аппараты физико-химической очистки воды. Коагуляционная очистка сточных вод от коллоидных частиц

Реактивы: р-р $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (15,6439 г на 250 мл); р-р $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (11,4662 г на 250 мл); р-р $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (1,946 г на 1 л).

Оборудование: фильтры – красная лента; пипетки – 5, 10, 15, 20, 50 мл; колбы мерные – 50 мл (7 шт.), 1 л; колбы – 150 мл (5 шт.); стаканы – 150-200 мл (5 шт.); магнитная мешалка; фотоколориметр – КФК.

Вводная часть

Процессы и аппараты физико-химической очистки воды применяются для очистки сточных вод от коллоидных и растворенных веществ. К физико-химическим методам относятся коагуляция, флокуляция, флотация, адсорбция, ионный обмен, экстракция, дистилляция и выпаривание, кристаллизация, мембранные методы и электродиализ, дегазация.

Коагуляция заключается в слипании частиц дисперсной фазы, находящихся в сточной воде. Коагуляция — это слипание частиц коллоидной системы при их столкновениях в процессе теплового движения, перемешивания или направленного перемещения во внешнем силовом поле. В результате коагуляции образуются агрегаты — более крупные (вторичные) частицы, состоящие из скопления более мелких (первичных) частиц, которые далее удаляются из сточных вод механическими методами.

Коагуляция приводит к потере седиментационной устойчивости и расслоению фаз. При очистке сточных вод применяют гетерокоагуляцию. В воду добавляют минеральные коагулянты, например, соли алюминия или железа, которые снижают агрегативную устойчивость системы, реализуется процесс седиментации, и частицы загрязняющих веществ выпадают в осадок. В водном растворе происходит гидролиз электролита; например, в зависимости от значения pH воды и ее ионного состава для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ возможно образование: соединений катионного типа, например $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$; анионного типа – $\text{Al}(\text{OH})_4^-$; амфотерного типа – $\text{Al}(\text{OH})_3$. Содержание ионных форм алюминия в растворе зависит от концентрации в нем водородных ионов.

Флокуляция заключается в образовании агрегатов (хлопьев) из гетерогенных частиц в результате собирающего действия высокомолекулярных веществ, называемых флокулянтами. Механизм действия флокулянтов заключается в их адсорбции на нескольких частицах с образованием полимерных мостиков, связывающих частицы между собой. Флокулянты ускоряют процессы образования хлопьев и их осаждения, повышают плотность агрегатов и осадков.

На скорость коагуляции, флокуляции и седиментации существенное влияние оказывают наличие примесей и концентрация частиц, температура, перемешивание, концентрация водородных ионов, последовательность введения коагулянтов и флокулянтов.

Порядок выполнения работы [11]

1. Получить гидрозоль ферроцианида меди с концентрацией 100 мг/л. Для приготовления 1 л гидрозоля в мерную колбу наливают дистиллированную воду, приливают из пипетки в первую очередь 2,8 мл раствора $K_4(Fe(CN)_6)$ указанной концентрации (с 0,5% избытком), а затем, при постоянном перемешивании, по каплям добавляют 1,73 мл раствора $CuSO_4$ и доводят объем до метки дистиллированной водой. Размер частиц полученного гидрозоля ферроцианида меди составляет 0,01-0,05 мк.

2. Построить калибровочный график. Для этого отбирают в мерные колбы на 50 мл 5, 10, 15, 20, 25, 40, 50 мл гидрозоля, разбавляют его дистиллированной водой до 50 мл и определяют оптическую плотность относительно дистиллированной воды ($\lambda=490$ нм, кювета – 30 мм). График строят в координатах: оптическая плотность – концентрация гидрозоля, мг/л).

3. Изучить влияния концентрации коагулянта $Al_2(SO_4)_3$ на эффективность процесса коагуляции.

3.1. В пять стаканчиков емкостью 150-200 мл помещают по 50 мл гидрозоля с концентрацией дисперсной фазы 100 мг/л.

3.2. В гидрозоль вводят коагулянт, концентрация которого в исследуемом гидрозоле должна составить 10, 25, 50, 100, 200 мг/л. Концентрация коагулянта в исходном растворе 1 г/л.

3.3. Содержимое стаканов перемешивают 3 мин. на магнитной мешалке, переносят на фильтр (красная лента) и фильтруют в чистые колбы емкостью 100 мл.

3.4. Остаточное содержание дисперсной фазы гидрозоля после фильтрации ($C_{ост}$, мг/л) определяют колориметрическим методом, используя калибровочный график по формуле:

$$C_{ост} = a \times 1000 / (V + V_k),$$

где a – содержание гидрозоля в объеме V , мг; $V=50$ мл - объем, до которого разбавляли пробу; V_k – объем добавленного раствора коагулянта, мл.

3.5. Определяют степень коагуляции:

$$\eta = (C_{исх} - C_{ост}) / C_{исх}, \%$$

где $C_{исх}$ – концентрация гидрозоля, мг/л.

3.6. Результаты заносят в табл. 9.1, а также представляют графически как зависимость степени коагуляции от расхода коагулянта.

Таблица 9.1

Определение оптимальной концентрации коагулянта

№ опыта	Исходная конц-я гидрозоля, мг/л	Конц-я коагулянта, мг/л	Объем р-ра коагулянта, мл	Оптическая плотность, %	Остаточная конц-я гидрозоля, мг/л	Степень коагуляции, %
1		10				
2		25				
3		50				
4		100				
5		200				

4. Изучить влияния pH на коагуляцию гидрозоля.

4.1. В пять стаканчиков емкостью 150-200 мл помещают по 50 мл гидрозоля. Доводят значение pH гидрозоля соответственно до 3, 5, 6, 8, 10, используя 0,1н растворы NaOH и HCl.

4.2. Добавляют в гидрозоль оптимальное количество коагулянта (по результатам предыдущего опыта), перемешивают 3 мин., фильтруют, фильтрат анализируют на содержание дисперсной фазы.

4.3. Результаты заносят в табл. 9.2, строят графическую зависимость степени коагуляции от pH раствора.

5. Выводы.

Таблица 9.2

Влияние pH на процесс коагуляции

Кол-во коагулянта оптимальной конц-ии, мл	Исходная конц-я гидрозоля, мг/л	Конц-я щелочи, мг/л	pH	Остаточная конц-я гидрозоля, мг/л	Степень коагуляции, %
			3		
			5		
			6		
			8		
			10		

Контрольные вопросы

1. Отличие суспензий, коллоидных систем и растворов.
2. Что такое коагуляция и флокуляция?
3. Какие аппараты применяются для процесса коагуляции?
3. Порядок работы на pH-метре и КФК.

Работа №10. Флотационная очистка сточных вод

Реактивы: ПАВ (водный раствор алкилтриметиламмония хлорида – радикал предельного углеводорода с длиной цепи от 6-10 до 16-18, 0,1 г/л); поливинилацетатная эмульсия, 0,1г/л; 0,1н раствор NaOH.

Оборудование: пипетка – 10 мл; стакан – 150 мл (5 шт.); мерный цилиндр – 100 мл; магнитная мешалка; фотоэлектроколориметр КФК.

Вводная часть

Выделение эмульгированных органических веществ (масел, жиров, нефтепродуктов и др.) из сточных вод представляет собой часто встречающуюся и сложную задачу. Эмульсиями называются дисперсные системы, состоящие из двух или более жидких взаиморастворимых фаз, т.е. отличающихся своей полярностью. Если одна из жидкостей вода, то другая – неполярная или малополярная жидкость, называемая в общем случае – «масло».

Устойчивость эмульсий обуславливается величиной частиц, температурой, наличием эмульгатора. Большинство эмульсий являются микрогетерогенными (10^{-5} – 10^{-3} см) и термодинамически неустойчивыми системами. При длительном хранении в них происходит слипание, а затем и слияние капель (коалесценция).

Методы механической очистки сточных вод от эмульсий позволяют выделить частицы крупнее 10-50 мкм. Эти методы малоэффективны (отстаивание) и малоэкономичны (центрифугирование). Значительно больший эффект дают физико-химические методы, например, флотация.

Суть флотационного метода состоит в том, что в растворе при диспергировании пузырьков воздуха образуется развитая граница раздела фаз жидкость-газ, масляные частицы закрепляются на пузырьках и выносятся на поверхность раствора. На эффект флотации значительное влияние оказывает размер и количество пузырьков воздуха, распределенных в воде. Эффективная флотация требует тонкого диспергирования воздуха (получения наименьших размеров пузырьков воздуха).

Для улучшения показателей флотации часто используют ПАВ, называемые флотореагентами, – это реагенты-собиратели, реагенты-вспениватели и др.

Реагенты-собиратели, избирательно адсорбируясь на поверхности частиц, покрывают их гидрофобной пленкой, понижают смачиваемость, после чего эти частицы прилипают к пузырькам воздуха и выносятся ими наверх. В качестве собирателей применяют анионоактивные и катионоактивные ПАВ.

Порядок выполнения работы [11]

1. Построить калибровочный график. График строят в координатах оптическая плотность – концентрация масла. Концентрацию масла (0,1; 0,075; 0,05; 0,025; 0,01г/л) меняют путем соответствующего разбавления исходной

эмульсии с содержанием ПАВ 0,1 г/л. Оптическую плотность определяют на фотоэлектроколориметре: кювета – 50 мм, $\lambda=364$ нм.

2. Изучить влияния концентрации ПАВ на степень разрушения эмульсии.

2.1. В пять стаканов наливают по 100 мл исследуемой эмульсии и добавляют необходимое количество раствора ПАВ ($c=0,1$ г/л) – 2, 4, 6, 8, 10 мл.

2.2. Содержимое каждого стакана перемешивают на магнитной мешалке (1 мин.), проводят флотационную обработку эмульсии на лабораторной установке в течение 3 мин., отбирают пробу в кювету (не прекращая флотацию) и определяют остаточное содержание масла с помощью калибровочного графика.

2.3. Вычисляют степень извлечения масла:

$$\eta = [(C_{исх} - C_{ост}) / C_{исх}] \times 100 \%$$

2.4. Проводят построение графической зависимости степени извлечения масла от концентрации ПАВ.

3. Изучить влияния pH.

3.1. В пять стаканов наливают по 100 мл эмульсии, добавляют оптимальное количество ПАВ (установленное по результатам первого опыта) и создают pH соответственно: 2, 3, 5, 7, 9.

3.2. После флотационной обработки определяют остаточное содержание масла и степень извлечения масла от pH среды.

3.3. Проводят построение графической зависимости степени извлечения масла от pH среды.

4. Выводы.

Упражнение 2. Расчет флотатора-отстойника. Методика расчета

1. При проектировании флотаторов-отстойников (рис. 10.1) следует принимать [10]:

- общее время пребывания воды во флотаторе-отстойнике - $\tau_{общ} = 20$ мин;
- время пребывания воды во флотационной камере — $\tau_k = 5-7$ мин;
- общая высота флотатора-отстойника $H=3$ м;
- высота флотационной камеры $H_k=1,5$ м;

2. Диаметр флотационной камеры определяют по формуле:

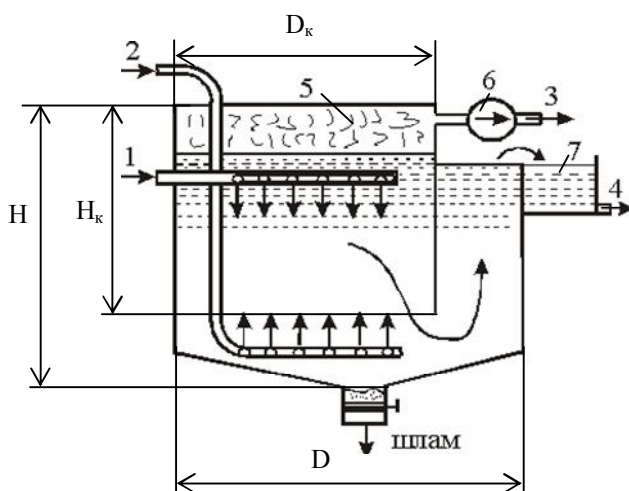


Рис. 10.1. Флотатор-отстойник: 1 – исходная вода; 2 – вода, насыщенная воздухом; 3 – отвод флотошлама; 4 – отвод очищенной воды; 5 – пена; 6 – насос; 7 – карман

движения воды в отстойной зоне, равная 4,7 м/ч;

$$D_k = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_k}}, (10.1),$$

где Q – расход сточных вод, поступающих на один флотатор – отстойник, м³/ч; v_к – скорость движения воды во флотационной камере, равная 10,8 м/ч.

3. Диаметр флотатора – отстойника определяют по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_0}} + D_k, \text{ м}, (10.2)$$

где v₀ – скорость

Таблица 10.6

Исходные данные (варианты)

№ вар.	1, 10	2, 11	3, 12	4, 13	5, 14	6, 15	7, 16	8, 17	9, 18
Q, м ³ /ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900

Контрольные вопросы

1. Что такое флотация?
2. Суть и механизм флотационного разрушения эмульсий, функции ПАВ.
3. Зависимость процесса флотации от различных факторов.

Работа №11. Адсорбционная очистка сточных вод от растворимых органических веществ. Расчет адсорбера.

Цель работы: Изучение процесса адсорбции и приобретение навыков расчета адсорбционных устройств.

Реактивы: C₆H₅OH, растворы (1 мг фенола в 1 мл раствора); 8 %-ный водный раствор K₃[Fe(CN)₆] (гексацианоферрат (III) калия); буферный раствор с pH=10,0; 2 %-ный раствор 4-аминоантипирина; набор активных углей.

Оборудование: колбы мерные – 100 мл (5 шт.); конические колбы – 100 мл (5 шт.); пипетки – 1 мл, 2 мл (2 шт.); вибрационная мешалка; фотоэлектроколориметр КФК.

Вводная часть

Сорбция – это процесс поглощения вещества из раствора (жидкого или газообразного) на поверхностях твердого (адсорбция) или в объеме жидкого (абсорбция) сорбента.

Адсорбция применяется для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических веществ после биохимической очистки, либо самостоятельно, если концентрация загрязняющих веществ невелика и загрязняющие вещества являются очень токсичными.

Строгую контролю подлежат сточные воды, содержащие фенолы (растворимые органические вещества). ПДК фенола в воде водных объектов хозяйственно-питьевого назначения составляет 0,001 мг/л. Это связано с токсичностью и высокой восстановительной способностью фенолов. Существенным источником фенольных загрязнений являются производство фенолформальдегидных пластмасс и коксохимическое производство.

Методы очистки сточных вод от фенолов можно разделить на две группы: деструктивные и регенеративные. Деструктивными методами достигается окисление или разрушение фенолов (озонирование, хлорирование, сжигание). Регенеративными методами фенолы извлекают из сточных вод для вторичного использования (экстракция, сорбция, ионный обмен). Методы второй группы применять, когда концентрация фенола превышает 1 г/л. Адсорбционный метод рекомендуется для очистки небольших по объему стоков с содержанием фенолов от 1,5-2,0 г/л.

Наиболее эффективными сорбентами являются активные угли различных марок. Растворенные органические вещества имеют размер частиц менее 10 А. Они заполняют объем микропор сорбента, полная удельная вместимость (W_Σ, см³/г) которых соответствует поглощающей способности сорбента, поэтому объем микропор W₀₁ является одной из важнейших характеристик и приводится в спецификациях соответствующих марок активных углей (таблица 11.1).

Известную сорбционную активность проявляют и супермикропоры; в характеристике активных углей приводится и их объем W_{02} . Макропоры и переходные поры служат главным образом путями подвода сорбата к микропорам. Другой важной характеристикой активных углей является структурно-энергетическая константа B , град⁻². Она может также приводиться для микропор и супермикропор (B_{01} и B_{02}). Характеристиками активных углей являются также их насыпной удельный вес, г/см³; механическая прочность, %; диаметр зерен, мм.

Таблица 11.1

Свойства активных углей

Марка АУ	W_{Σ} , см ³ /г	W_{01} , см ³ /г	W_{02} , см ³ /г	$B_{01}10^6$, град ⁻²	$B_{02}10^6$, град ⁻²
АГ-3	0,891	0,3	-	0,7-0,8	-
БАУ	1,5	0,22	-	0,55	-
АР-3	0,7	0,19	0,18	0,74	3,42
КАД йодный	1	0,23	0,13	0,7	3,1
КАД молотый	-	0,12	-	1,08	-
СКТ	0,98	0,5	-	0,83	-

Сорбцию можно проводить в статических и динамических условиях. Сорбция в статических условиях осуществляется путем интенсивного перемешивания обрабатываемой воды с сорбентом в течение определенного времени и последующего отделения сорбента от воды в результате отстаивания, фильтрования. При однократном введении сорбента в количестве m г на 1 л обрабатываемой воды исходным расчетным уравнением является уравнение баланса вещества

$$ma + QC_1 = QC_0, \quad (11.1)$$

где a – удельная сорбция; Q – количество обрабатываемых сточных вод; C_1 – концентрация вещества, устанавливающаяся в воде после перемешивания воды и сорбента в течение времени τ ; C_0 – концентрация вещества в исходной воде.

Соотношение между a и C_1 можно выразить

$$a = (Q(C_0 - C_1))/m. \quad (11.2)$$

Фактическое время перемешивания может быть принято значительно меньше $\tau_{\text{равн}}$, при котором достигается близкое к равновесному состояние. В этом случае соотношение между C_1 и a будет выражено зависимостью

$$a = kC_1. \quad (11.3)$$

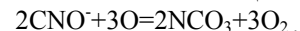
Изотермы адсорбции представляют собой зависимость величины сорбции (a) целевого компонента от его концентрации (C_1) в очищаемой среде в усло-

виях равновесия. Наряду с изотермами адсорбции практический интерес представляют кинетические кривые адсорбции. Они выражают зависимость величины сорбции (a) вещества каким-либо сорбентом или остаточной концентрации вещества ($C_0 - C_1$) в очищаемой воде от времени t .

На участках нанесения гальванических покрытий образуется сточная вода, загрязненная кислотами, тяжелыми металлами и их солями и другими веществами, в том числе цианидами. Цианиды являются ядовитым веществом и сточную воду необходимо очистить перед сбросом. Наиболее эффективным способом является озонирование и адсорбция. При подаче озона в сточную воду цианид-ионы окисляются:



По мере окисления цианид-ионов в сточной воде появляются цианит-ионы CNO^- . Около 30% цианит-ионов окисляются по схеме:



Остальные цианит-ионы гидрализуются в сточной воде с образованием NH_3 и окислением до NO_3^- . Для подачи озоновоздушной смеси в адсорбер и ее равномерного распределения используют шамотно-силикатные пористые элементы в виде патронов с замкнутым дном (наружный диаметр 50 мм, внутренний – 30 мм, длина 230 мм, средний размер пор 0,1 мм).

Упражнение 1. Изучение процесса адсорбции

Порядок выполнения работы [11]

1. Приготовить рабочий раствор. Для приготовления рабочего раствора разбавляют 10 мл основного раствора C_6H_5OH до 1 л свежепрокипяченной и охлажденной дистиллированной водой (1 мл рабочего раствора содержит 1 мкг фенола). Рабочий раствор нужно приготовить не ранее, чем за два часа до начала анализа.

2. Приготовить 8 %-ный водный раствор $K_3[Fe(CN)_6]$ (гексацианоферрат (III) калия). Растворяют 8 г $K_3[Fe(CN)_6]$ (ч.д.а.) в дистиллированной воде и разбавляют до 100 мл. Раствор пригоден в течение недели.

3. Приготовить буферный раствор с $pH=10,0$. Для приготовления растворяют 12,5 г хлорида аммония в 100 мл 25 %-ного раствора аммиака.

4. Приготовить 2 %-ный раствор 4-аминоантипирина. Пригоден в течение недели.

5. Построить калибровочный график для определения фенола в растворе колориметрическим методом с применением 4-аминоантипирина.

5.1. В мерные колбы на 100 мл помещают 10, 20, 30, 40, и 50 мл рабочего раствора, добавляют до половины колбы дистиллированную воду, 1 мл буферного раствора, 2 мл раствора 4-аминоантипирина и 2 мл раствора гексацианоферрата калия (III). После каждого добавленного реактива раствор перемешивают. Добавляют дистиллированную воду до 100 мл.

5.2. Готовят раствор холостого опыта (в него добавляют все указанные реактивы, кроме фенола).

5.3. Через 15 мин измеряют оптическую плотность каждого раствора по отношению к раствору холостого опыта при $\lambda=540$ нм, кювета – 1 см. Результаты заносят в табл. 11.2.

5.4. По полученным данным строят калибровочный график в координатах: оптическая плотность (D, %) – концентрация фенола (C, мг/л).

Таблица 11.2

Определение оптической плотности растворов сточных вод

№ пп	Объем рабочего раствора, мл	Содержание фенола в 100 мл раствора, мг	Конц-я фенола C, мг/л	Оптическая плотность, D, %
1	10	0,1	1	
2	20	0,2	2	
3	30	0,3	3	
4	40	0,4	4	
5	50	0,5	5	

6. Определяют содержания фенола в исследуемой воде.

6.1. Отбирают аликвотную часть сточной воды для двух параллельных проб, содержащую 0,1-0,5 мг фенола (не менее 10 и не более 90 мл), в мерные колбы на 100 мл и обрабатывают так же, как при построении калибровочного графика. Если величина оптической плотности не укладывается в калибровочный график, сточную воду следует разбавить в необходимом количестве раз или построить новый калибровочный график с рабочим раствором.

6.2. Массовую концентрацию фенола (C_0 , мг/л) рассчитывают по формуле: $C_0 = (100C_{гр})/V$, где 100 – объем мерной колбы, мл; V – объем воды, взятой на анализ (аликвота), мл; D - оптическая плотность, $C_{гр}$ – концентрация фенола в сточной воде (по калибровочному графику), мг/л.

7. Провести сорбцию фенола из фенольной воды активными углями в статических условиях.

7.1. В пять конических колб на 200 мл помещают по 100 мл исследуемой фенольной воды и активного угля (марку указывает преподаватель) и в течение времени $\tau = 3, 5, 10, 20, 30$ мин перемешивают с помощью вибрационной мешалки, затем отфильтровывают в конические колбы на 100 мл.

7.2. В каждом фильтрате определяют остаточную концентрацию фенола (C.), для этого берут аликвоту объемом 50 мл и подготавливают пробу для анализа, как при построении калибровочного графика. Результаты заносят в табл. 11.3.

Таблица 11.3

Определение сорбции фенола активными углями

№ опыта	τ , мин	V аликвоты	Оптическая плотность, D, %	C_1 , мг/л	C_0-C_1 , мг/л
1	3	10			
2	5	10			
3	10	10			
4	20	20			
5	30	20			

8. Построить график зависимости степени очистки от остаточной концентрации фенола и сделать выводы.

Упражнение 2. Очистка сточных вод от цианидов. Расчет адсорбера Методика расчета [12].

1. Определяют объем адсорбера:

$$V = \frac{Q \cdot \tau \cdot k}{y \cdot n}, \text{ м}^3, \quad (11.1)$$

где Q – расход сточной воды, м³/ч; τ - время цикла очистки (заполнения, обезвреживания, опорожнения); k – коэффициент запаса (1,15-1,2); y – коэффициент заполнения адсорбера (0,6-0,8); n – количество адсорберов (обычно 2).

Выбирают фактический объем V_n адсорбера по ряду номинальных внутренних объемов сосудов и аппаратов (ближайшее значение к расчетному) по табл. 1.

Таблица 11.4

Ряд номинальных внутренних объемов сосудов и аппаратов V_n , м³

0,010	0,100	0,32	1,00	3,2	10	32	100	320
0,016	0,125	0,40	1,25	4,0	-	40	125	400
0,025	0,160	0,50	1,60	5,0	16	50	160	500
0,040	0,200	0,63	2,00	6,3	20	63	200	-
0,063	0,250	0,80	2,50	8,0	25	80	250	-

2. Определяют высоту адсорбера:

$$H = \frac{4 \cdot V_n}{\pi \cdot D^2}, \text{ м}, \quad (11.2)$$

где D – диаметр адсорбера, выбирается из конструктивных соображений (отношение высоты к диаметру $x=H/D=1,2-1,5$; $D=(4V_n/x\pi)^{1/3}$).

3. Определяют расход озона, необходимого для окисления:

$$Q_0 = C_0 Q, \text{ кг/с}, \quad (11.3)$$

где Q – расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{с}$; C_O – необходимая концентрация озона в адсорбере, $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$C_O = \Delta C_{CN} \cdot M_O / M_{CN}, \text{ кг}/\text{м}^3, \quad (11.4)$$

где M_O и M_{CN} молекулярные массы озона и цианида; ΔC_{CN} – разность концентраций цианидов в сточной и очищенной воде. Обычно:

$$\Delta C_{CN} = C_{CN} \cdot \text{ПДК}_{CN}. \quad (11.5)$$

4. Определяют количество аэрируемых элементов:

$$n_3 = Q_{OB} / Q_3, \quad (11.6)$$

где Q_{OB} – максимальный расход озоновооздушной смеси:

$$Q_{OB} = \frac{Q_O(273 + t) \cdot P_a}{(273 + t_0) \cdot P_0}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (11.7)$$

где t – температура воздуха на выходе теплообменника; P_a – давление на входе в адсорбер; t_0 , P_0 – при нормальных условиях: $t_0 = 0^\circ$; $P_0 = 0,1 \text{ МПа}$; Q_3 – допустимый расход воздуха через аэрируемый элемент:

$$Q_3 = K \cdot \Delta P \cdot h \cdot f, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (11.8)$$

где K – коэффициент воздухопроницаемости элемента, $\text{м}^3/\text{м}^2$; ΔP – перепад давления на элементе, МПа ; h – толщина элемента, м ; f – площадь фильтрации одного элемента, м^2 .

5. Определяют эффективность очистки:

$$\eta = \frac{C_{CN} - \text{ПДК}_{CN}}{C_{CN}}. \quad (11.9)$$

Таблица 11.5

Исходные данные (варианты).

№ вар.	Q , $\text{м}^3/\text{ч}$	C_{CN} , $\text{кг}/\text{м}^3$	k	τ , ч	n	P_a , МПа	Q_3 , $\text{м}^3/\text{с}$
1, 10	6	0,02	1,15	0,60	1	0,15	0,0020
2, 11	8	0,03	1,16	0,65	1	0,16	0,0025
3, 12	10	0,04	1,17	0,70	2	0,17	0,0030
4, 13	12	0,05	1,18	0,75	2	0,18	0,0035
5, 14	14	0,06	1,19	0,80	2	0,19	0,0040
6, 15	16	0,07	1,20	0,85	2	0,18	0,0045
7, 16	18	0,08	1,15	0,90	2	0,17	0,0050
8, 17	20	0,09	1,16	0,95	2	0,16	0,0055
9, 18	22	0,01	1,17	1,00	2	0,15	0,0020

Контрольные вопросы.

1. Сущность методов абсорбции, адсорбции, хемосорбции и десорбции.
2. Параметры абсорберов и адсорберов.
3. Сорбенты и требования к сорбентам.

Работа №12. Экстракционный процесс очистки сточных вод. Расчет вертикального экстрактора.

Цель работы: Приобретение навыков расчета процессов и аппаратов для экстракционной очистки сточных вод.

Вводная часть.

Экстракция – это избирательное извлечение компонента из жидкости (рафинада) с помощью жидкого растворителя (экстрагента). Фазу, которая обогащается веществом загрязнителя, называют экстрагентом – до контакта, и экстрактом – после контакта. Одним из условий процесса экстракции являются взаимная нерастворимость и достаточная разность плотностей фаз (рафинада и экстрагента). Жидкостная экстракция состоит из ряда техноло-

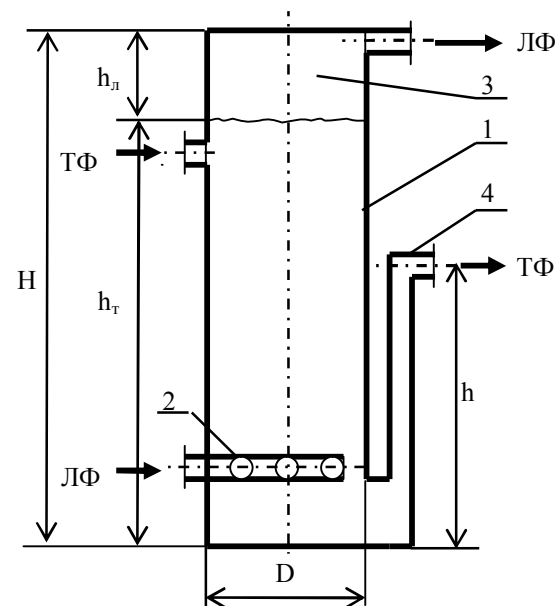


Рис. 12.1. Схема вертикального экстрактора: 1 – колонна; 2 – диспергатор; 3 – верхняя отстойная зона; 4 – флорентийский сосуд; ТФ – тяжелая фаза; ЛФ – легкая фаза.

гических операций:

- контактирования очищаемой жидкости с экстрагентом;
- переноса компонента из одной фазы в другую;
- разделения фаз;
- регенерации экстрагента.

Экстракторы бывают горизонтальные и вертикальные, непрерывные и периодические, одноступенчатые и многоступенчатые, перекрестноточные и противоточные, с подводом механической энергии (для контакта фаз) и без подвода механической энергии и т.д.

Простейшим типом экстрактора является распылительная вертикальная колонна с непрерывным контактом фаз (рис. 12.1). В полую вертикальную цилиндрическую колонну сверху заполняется сточная вода, снизу с помощью диспергатора распыляется (в виде капель) экстрагент, плотность которого

меньше плотности воды. Противоточное движение фаз обеспечивается силой тяжести, т.е. различием плотности фаз (движущая сила). Образовавшиеся капли проходят рабочую зону, извлекают загрязняющее вещество и собираются в верхнем отстойнике.

Вывод легкой фазы из верхней отстойной зоны не вызывает затруднений, избыток жидкости сливается через патрубок. Вывод тяжелой фазы требует специальной регулировки, в противном случае с нижней части выльется вся жидкость. Наиболее простым устройством является флорентийский сосуд, принцип работы, которого основан на уравнивании столбов жидкостей (сообщающие сосуды), выводимых потоками легкой и тяжелой фаз.

Требования к экстрагенту:

- минимальная взаимная растворимость с рафинадом;
- высокая избирательность;
- высокий коэффициент распределения и большая емкость;
- достаточное отличие плотности по сравнению с рафинадом;
- доступность, дешевизна, легкость регенерации;
- не токсичность, взрывобезопасность, минимальные коррозионные действия.

Экстракция является эффективным при высоком содержании в производственных сточных водах растворенных органических веществ, представляющих техническую ценность. Наиболее широко применяется для очистки сточных вод предприятий по термической обработке твердых топлив (углей, сланцев, торфа), содержащих значительное количество фенолов [10, 11].

Методика расчета

$$1. \text{ Фактор экстракции: } \psi = \frac{C_{\text{вх}}}{C_{\text{вых}}} - 1, \quad (12.1)$$

где $C_{\text{вх}}$ и $C_{\text{вых}}$ – входная и требуемая выходная (ПДК) концентрация загрязняющего вещества в сточной воде.

2. Объемный расход экстрагента:

$$Q_{\text{э}} = \frac{\psi}{m} Q_{\text{св}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (12.2)$$

где $Q_{\text{св}}$ – расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$; m – коэффициент распределения.

3. Концентрация извлеченного вещества в экстракте (при исходном чистом экстрагенте):

$$C_{\text{э}} = \frac{m \cdot C_{\text{вх}}}{1 + \psi}, \text{ мг/л}. \quad (12.3)$$

4. Требуемая степень экстракции:

$$\eta = \frac{\psi}{1 + \psi} = \frac{m \cdot Q_{\text{э}}}{Q_{\text{св}} + m \cdot Q_{\text{э}}}. \quad (12.4)$$

5. Поперечное сечение аппарата:

$$S = \frac{Q_{\text{св}} + Q_{\text{э}}}{w}, \text{ м}^2, \quad (12.5)$$

где $Q_{\text{св}}$, $Q_{\text{э}}$ – расход сточной воды и экстрагента, $\text{м}^3/\text{с}$; w – скорость потока, $\text{м}/\text{с}$. В расчетах $w=0,02 \text{ м}/\text{с}$.

6. Диаметр колонны:

$$D = \sqrt{4S/\pi}, \text{ м}. \quad (12.6)$$

7. Высота колонны: $H=(5\div 7)D$, м . (12.7)

8. Высота вывода ТФ (из уравнения сообщающих сосудов):

$$h = \frac{\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{т}}} h_{\text{л}} + h_{\text{т}}, \text{ м}, \quad (12.8)$$

где $\rho_{\text{л}}$ и $\rho_{\text{т}}$ – плотности ЛФ и ТФ (воды), $\rho_{\text{т}}=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$; $h_{\text{л}}$ и $h_{\text{т}}$ – высоты ЛФ и ТФ (рис. 12.1). Принимая, что $H=h_{\text{л}}+h_{\text{т}}$, можно задать $h_{\text{л}}$ или $h_{\text{т}}$ (например, $h_{\text{л}}=H/7$) и рассчитать высоту вывода ТФ.

Таблица 12.1

Исходные данные (варианты).

№ вар.	Загрязняющее вещество	Экстрагент	$\rho_{\text{л}}$, $\text{кг}/\text{м}^3$	m	$Q_{\text{св}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	$C_{\text{вх}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$	$C_{\text{вых}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$
1, 10	Анилин	Толуол	867	19	70	2,2	0,1
2, 11	Бензойная кислота	Толуол	867	12	60	12	0,5
3, 12	Муравьиный альдегид	Амиловый спирт	814	3	50	15	0,6
4, 13	Пикриновая кислота	Бензол	879	5	90	13	0,5
5, 14	Пиридин	Толуол	867	9	100	5	0,2
6, 15	Салициловая кислота	Ацетон	790	126	110	10	0,4
7, 16	Толуидин	Бензол	879	60	80	14	0,5
8, 17	Фенол	Толуол	867	9	130	2	0,1
9, 18	Хлоруксусная кислота	Амиловый спирт	814	3,6	120	9	0,3

Контрольные вопросы

1. Что такое экстракция?
2. Технологические процессы жидкостной экстракции.
3. Классификация экстракторов.
4. Требования к экстрагентам.

Работа №13. Электрохимическая очистка сточных вод. Расчет электрокоагулятора

Цель работы: Приобретение навыков расчета электрокоагулятора для очистки сточных вод.

Вводная часть

Электрохимическими методами очистки воды являются электролиз, электродиализ, электрокоагуляция, электрофлотация. Особенность этих методов является отказ от дефицитных реагентов, компактность установок, непрерывность и автоматизация процесса. Электрохимическую очистку воды проводят в электролизерах, которые отличаются геометрической конфигурацией, конструктивными особенностями, в том числе наличием или отсутствием проницаемой для ионов перегородки [10, 12].

Электролиз – это химические реакции, протекающие в электролите при прохождении через него электрического тока. Электродиализ – метод разделения ионизированных соединений под действием электродвижущей силы, создаваемой по обе стороны мембраны. Электрокоагуляция – процесс ускорения слипания коллоидных частиц под действием электрического поля. Электрофлотация – технология выделения из сточных вод тонкодисперсированных и коллоидных веществ с помощью пузырьков водорода и кислорода, образуемых на поверхности электродов.

Электрокоагуляция основана на растворении электродов из алюминия, железа или их сплавов в электролите (сточная вода) под действием электрического тока, с последующим образованием гидроксидов металлов, отличающихся высокой коагуляционной способностью. На поверхности гидроксидов адсорбируются ионы и молекулы загрязнителя, и происходит коагуляция (слипание) частиц с последующим осаждением. Электрокоагуляцию применяют для удаления из сточных вод тонкодисперсных примесей, например масел и нефтепродуктов, органических взвесей и т.д. Рекомендуется применять этот метод для очистки сточных вод, имеющих нейтральную или слабощелочную реакцию среды ($pH=5-9$). Поскольку для осуществления электрокоагуляции требуются значительные затраты электроэнергии и листового металла, ее можно рекомендовать для локальных схем очистки небольших количеств сточных вод ($30-50 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Стандартные, или типовые, конструкции аппаратов для электрокоагуляции отсутствуют. Существуют, однако, определенно сложившиеся схемы конструктивного оформления электрокоагуляторов.

В зависимости от характера движения воды электрокоагуляторы можно разделить на однопоточные, многопоточные с горизонтальным или вертикальным движением воды. При вертикальном направлении движения воды электрокоагуляторы могут быть противоточные (подача воды сверху, т.е. в

направлении, противоположном движению пузырьков газа, которые обеспечивают флотацию) и прямоточные (подача воды снизу).

По форме и расположению электродов электрокоагуляторы разделяют на аппараты с плоскими и цилиндрическими электродами, расположенными обычно вертикально. Вертикальное положение электродов обусловлено большей жесткостью конструкции и неизменностью размеров электродной системы, а также лучшими условиями удаления выделяющихся газов и протекания процесса флотации. Расстояние между электродами в блоке зависит от электропроводности сточной воды и может составлять 6-20мм. Продолжительность обработки определяется свойствами загрязнений и в среднем может изменяться в пределах 0,5-5 мин.

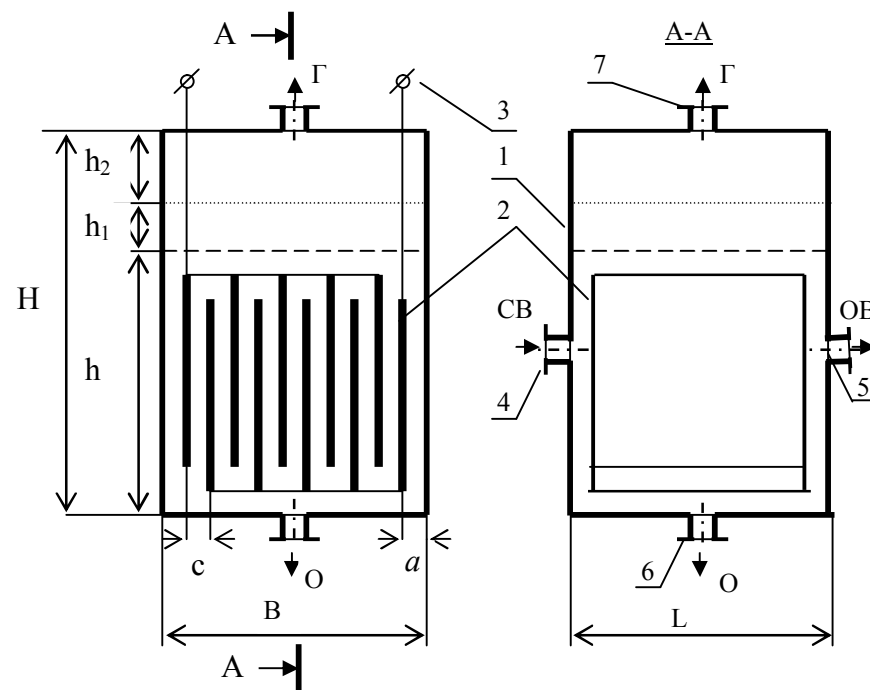


Рис 13.1. Схема прямоугольного электрокоагулятора.

1 – корпус; 2 – электроды; 3 – клемма для подключения источника питания; 4 – входной патрубок; 5 – патрубок выпуска очищенной воды (ОВ); 6 – патрубок выхода осадка (О); 7 – патрубок выпуска газов (Г).

Электрокоагуляторы снабжают вытяжным вентиляционным устройством для удаления газов, механическими устройствами для удаления флотируемых продуктов с поверхности очищаемой воды и осадка из нижней части аппарата, а также устройствами для очистки поверхности электродов и межэлектродного пространства.

Конструктивно электрокоагулятор обычно представляет собой корпус прямоугольной или цилиндрической формы, в которой помещают электродную систему — ряд электродов. Обрабатываемая вода протекает между электродами.

На рис. 13.1 приведена схема прямоугольного электрокоагулятора с растворимыми пластинчатыми электродами. На электроды подается постоянное напряжение, обычно - 12-24В, при этом токовая нагрузка может составлять 250-4000А.

Методика расчета

1. Полезный объем электрокоагулятора:

$$V = n \cdot Q \cdot \tau, \text{ м}^3, \quad (13.1)$$

где n – число электрокоагуляторов (не менее 2); Q – расход сточной воды $\text{м}^3/\text{ч}$; $\tau=0,08$ ч (5 мин.) - продолжительность обработки сточной воды.

2. Общая высота электрокоагулятора:

$$H = h + h_1 + h_2, \text{ м} \quad (13.2)$$

где $h=0,8-1$ м – рабочая высота слоя жидкости; $h_1=0,05-0,1$ м - высота слоя пены; $h_2=0,2-0,3$ м – высота бортов над уровнем пены.

3. Ширина (внутренний диаметр) одной установки:

$$B = \sqrt{\frac{V}{2nh}}, \text{ м}. \quad (13.3)$$

4. Длина одной установки:

$$L = \frac{V}{Bhn}, \text{ м}. \quad (13.4)$$

5. Общее число электродов:

$$m = \frac{B - 2a}{c + b}, \quad (13.5)$$

где $a=0,05$ м – расстояние от стенки установки до крайнего электрода; $c=0,01-0,02$ м - расстояние между электродами; $b=0,005-0,008$ м – толщина одного электрода.

6. Площадь одного электрода:

$$f = (L - 0,1) \cdot h, \text{ м}^2 \quad (13.6)$$

7. Общая масса электродной системы:

$$M = f \cdot m \cdot b \cdot \rho, \text{ кг}. \quad (13.7)$$

где ρ - плотность материала электродов, $\text{кг}/\text{м}^3$. Плотность стали (железа) $\rho = 7900 \text{ кг}/\text{м}^3$, плотность алюминия $\rho = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$.

8. Сила тока:

$$I = k \cdot Q, \text{ А}, \quad (13.8)$$

где k – удельное количество электричества, необходимое для растворения металла электродной системы, $\text{А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$. Для стальных электродов $k=73,4 \text{ А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$, для алюминиевых – $55 \text{ А} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$.

9. Расход материала электродов:

$$G = k \cdot \gamma \cdot N, \text{ г}/\text{м}^3, \quad (13.9)$$

где $\gamma=0,4$ – коэффициент выхода по току; N – электрохимический эквивалент металла, $\text{г}/\text{А} \cdot \text{ч}$. Для стали (железа) $N=0,695 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{ч}$, для алюминия $N=0,336 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{ч}$.

10. Продолжительность работы электродной системы:

$$\tau_c = \frac{1000 \cdot M \cdot \beta}{G \cdot Q_c}, \text{ сут.}, \quad (13.10)$$

где $\beta=0,8-0,9$ – коэффициент использования электродной системы; Q_c – суточный расход сточной воды: $Q_c = Q \tau_c$, $\text{м}^3/\text{сут}$, где $\tau_c=8-24 \text{ ч}/\text{сут}$ - продолжительность работы аппарата в сутки.

11. Начертить схему электрокоагулятора (одного) с конструктивными размерами (рис. 13.1).

Таблица 13.1.

Исходные данные (варианты)

№ вар.	1, 10	2, 11	3, 12	4, 13	5, 14	6, 15	7, 16	8, 17	9, 18
Q, $\text{м}^3/\text{ч}$	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Примечание: нечетные варианты – стальные электроды; четные варианты – алюминиевые электроды.									

Контрольные вопросы

1. Электрохимические методы очистки сточных вод.
2. В чем заключается процесс электрокоагуляции?
3. Классификация электрокоагуляторов.
4. Преимущества и недостатки электрокоагуляции.

Работа №14. Химические методы очистки сточных вод.

Нейтрализация, хлорирование и озонирование

Цель работы: Практическое изучение методов нейтрализации кислых сточных вод и хлорирование.

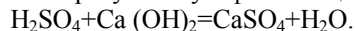
Вводная часть

К химическим методам очистки сточных вод относятся процесс нейтрализации кислых и щелочных стоков, хлорирование и озонирование.

Нейтрализации подвергаются сточные воды, содержащие кислоты, щелочи и соли тяжелых металлов. Способы нейтрализации следующие:

- 1) взаимная нейтрализация кислых и щелочных сточных вод;
- 2) нейтрализация реагентами (растворы кислот, известь, сода);
- 3) фильтрация через нейтрализующий материал (известь CaO, мел CaCO₃, магнезит MgCO₃, доломит CaCO₃·MgCO₃).

При наличии на предприятии только кислых или только щелочных сточных вод их нейтрализацию проводят реагентами. Например, для нейтрализации серной кислоты H₂SO₄ применяют гашеную известь Ca(OH)₂, в результате чего образуется сульфат кальция (гипс) CaSO₄ и вода H₂O:



Далее происходит кристаллизация в виде CaSO₄·H₂O и при достаточных концентрациях выпадает осадок. Процесс нейтрализации проводится в нейтрализационных установках или станциях.

Расход реагентов определяется по формуле:

$$G = k \frac{100}{B} V(qc + q_1c_1 + q_2c_2 + \dots + q_n c_n), \text{ кг}, \quad (14.1)$$

где: k – коэффициент запаса; B – количество активной части реагента, %; V – объем сточной воды, м³; c – концентрация кислоты (щелочи) в сточной воде, кг/м³; q – удельный расход реагента для нейтрализации кислоты (щелочи), кг/кг (табл. 14.1); c₁, c₂, ..., c_n – концентрация металлов в сточной воде, кг/м³; q₁, q₂, ..., q_n – удельный расход реагента для нейтрализации металлов, кг/кг (табл. 14.2); n – число металлов в воде.

Таблица 14.1

Удельный расход реагентов (щелочь/кислота) для нейтрализации 100% кислот (щелочей) q, кг/кг

Щелочь/Кислота	серная	соляная	азотная	уксусная
Негашеная известь CaO	0,56/1,79	0,77/1,3	0,46/2,2	0,47/2,15
Гашеная известь Ca(OH) ₂	0,47/2,15	1,01/0,99	0,59/1,7	0,62/1,62
Сода кальцинир. Na ₂ CO ₃	1,08/1,93	1,45/0,69	0,84/1,19	0,88/1,14
Сода каустическая NaOH	0,82/1,22	1,1/0,91	0,64/1,59	0,67/1,5
Аммиак NH ₄	0,35/2,88	0,47/2,12	0,27/3,71	-

Таблица 14.2

Удельный расход реагентов для нейтрализации металлов q, кг/кг

Металл	Реагент	CaO	Ca(OH) ₂	Na ₂ CO ₃	Na OH
Цинк		0,85	1,13	1,6	1,22
Никель		0,95	1,26	1,8	1,36
Медь		0,88	1,16	1,66	1,26
Железо		1,00	1,32	1,9	1,43

Свинец	0,27	0,36	0,51	0,38
--------	------	------	------	------

Хлорирование применяется для обеззараживания очищенных сточных вод от патогенных бактерий и вирусов и очистка сточных вод от фенолов, крезолов, цианидов и других веществ, а также для борьбы с биологическими обрастаниями на трубопроводах и сооружениях.

Для хлорирования сточных вод используется элементарный хлор, хлорная известь и другие сыпучие хлорсодержащие продукты (например, гипохлорит кальция Ca(OCl)₂ — белое кристаллическое вещество), растворы гипохлорита натрия и кальция, двуокись хлора. Хлор (элементарный) поступает на канализационные сооружения в жидком виде (температура кипения 34,5°C). Хлорную известь поставляют в полиэтиленовых мешках массой 35 кг, в стальных барабанах, в деревянных или фанерных бочках вместимостью 100 и 275 л.

Расчетные дозы активного хлора следующие: после механической очистки - 10 г/м³; после полной искусственной биологической очистки - 3 г/м³, после неполной - 5 г/м³. Продолжительность контакта для свободного активного хлора составляет 0,5 ч, для связанного активного хлора — 1 ч.

Хлор растворяется в воде только в газообразном виде, поэтому жидкий хлор испаряют, превращая его в газ. Из испарителя газообразный хлор направляется для получения хлорной воды к водохлорному эжектору. Ввод хлорной воды осуществляют через диффузоры (титан, керамика или пластмасса), которые обеспечивают перемешивание хлорной воды с обрабатываемыми стоками и уменьшают проскоки хлора в атмосферу.

Озонирование применяется для очистки сточных вод от фенолов, нефтепродуктов, сероводорода, соединений мышьяка, ПАВ, цианидов, красителей, канцерогенных ароматических углеводородов, пестицидов и др. Окислительно-восстановительный потенциал озона выше, чем у кислорода и хлора, вследствие чего он обладает более высоким бактерицидным и окислительным действием.

В обрабатываемую воду озон вводят различными способами: барботированием воздуха, содержащего озон, через слой воды через фильтросные пластины или пористые трубки; смешением воды с озоноздушной смесью в эжекторах.

Предельно допустимая концентрация озона в рабочих помещениях составляет 0,1 мг/м³. Оборудование для синтеза озона нужно устанавливать в изолированном помещении. Помещения синтеза озона должны быть оборудованы принудительной приточно-вытяжной и аварийной вентиляцией с шестикратным воздухообменом за час.

Озон получают в озонаторах из кислорода воздуха под действием электрического разряда. Воздух перед подачей в озонатор очищают от механиче-

ских примесей и осушают до остаточного влагосодержания $0,05 \text{ г/м}^3$, для этой цели используют адсорбционные или холодильные установки.

Упражнение 1. Очистка кислых сточных вод от ионов металлов методом нейтрализации.

Реактивы: раствор CuSO_4 (1-2г/л) + H_2SO_4 (10мл/л); 0,2% смесь индикатора мурексид (пурпурат аммония) с твердым хлоридом натрия; 0,05н раствор трилон-Б; водный раствор NH_4OH (1:1); 1н раствор NaOH или $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Оборудование: фильтры – синяя лента; стакан – 150 мл (3 шт.); воронки – 3 шт.; пипетка – 5 мл; колбы – 150 мл (3 шт.); мерный цилиндр – 50 и 100 мл; мерные колбы – 100 мл (3 шт.); бюретка с 1н NaOH ($\text{Ca}(\text{OH})_2$); микробюретка с раствором трилон-Б; магнитная мешалка; pH-метр.

Порядок выполнения работы [11]

1. Освоение методики анализа кислых растворов на содержание ионов меди. В колбу помещают 5 мл раствора соли меди, разбавляют дистиллированной водой до 50 мл, прибавляют мурексид на кончике шпателя (или 3-4 капли раствора), титруют раствором трилона Б до изменения цвета раствора, добавляют по каплям аммиак (1:1) до перехода окраски в зеленоватую и продолжают титровать раствором трилона Б до достижения сиреневой окраски раствора.

Расчет результатов анализа проводят по формуле

$$C = V \cdot 0,025 \cdot M \cdot 1000 / a, \text{ мг/л,}$$

где V – объем раствора трилона Б, израсходованный на титрование ионов металла, мл; a – объем аликвоты, взятой на титрование, мл; M – молярная масса металла.

2. Определение концентрации ионов меди в предложенной сточной воде C_0 , мг/л.

3. Нейтрализация исследуемых сточных вод до pH=3, 5, 6, 7, 8, 9 раствором NaOH ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Для проведения нейтрализации отбирают 3-5 проб исследуемого раствора объемом по 50 мл с помощью мерного цилиндра в стаканы объемом не менее 150 мл. В них проводят нейтрализацию при перемешивании на магнитной мешалке и при постоянном замере значений pH на pH-метре. По достижении необходимой величины pH (или близкого к нему значения) растворы при перемешивании выдерживают 1-2 мин. Результаты измерений заносят в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Расход реагентов на нейтрализацию сточной воды

Загрязняющее вещество	Концентрация, мг/л	Объем раствора щелочи, затраченного на достижение pH, мл

	ионов Me	кислоты	щелочи	3	5	6	7	8	9

4. Отделение осадка гидроксида меди после нейтрализации методом фильтрования.

5. Определение остаточной концентрации ионов Cu^{2+} в фильтрате с остаточной концентрацией C_1 , мг/л и сравнение с ПДК.

6. Определение степени извлечения металла по формуле:

$$\eta = (C_0 / C_1) \times 100 \%$$

7. Результаты занести в табл. 14.4.

Таблица 14.4

Определение степени извлечения ионов металла

Загрязняющее вещество	Исходная концентрация C_0 , мг/л	pH растворов после нейтрализации	Остаточная концентрация C_1 , мг/л	Степень извлечения η , %	ПДК металла, мг/л

7. Построение графической зависимости степени извлечения ионов металла от pH раствора.

8. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Методы очистки сточных вод от ионов металлов.
2. Способы нейтрализации сточных вод.
3. Что такое pH?
4. Порядок работы на pH-метре.

Упражнение 2. Очистка сточных вод хлорированием

Реактивы: насыщенный раствор $\text{Ca}(\text{OCl})_2$; кристаллический KI; 0,05н раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$; 0,5% раствор крахмала; 30% раствор CH_3COOH .

Оборудование: пипетка – 5 и 10 мл; мерный цилиндр – 100 мл; конические колбы – 250 мл (10 шт.); бюретка на 25 мл и микробюретка на 1 мл для раствора тиосульфата натрия.

Порядок выполнения работы [11]

1. Раствор хлорной извести (хлорную воду) разбавляют в десять раз, фильтруют и определяют его титр. Для этого прибавляют к 10 мл хлорной воды 1 г сухого йодида калия, подкисляют (10 мл 30 % раствора CH_3COOH) и титруют выделившийся йод 0,05н раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала.

2. В 8-10 конических колб вместимостью 250 мл, снабженных притертыми пробками, наливают по 100 мл исследуемой воды, прибавляют раствор хлорной извести: в первую колбу – 1 мл, во вторую – 2 мл, далее – 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и т.д. (табл. 14.5). Колбы закрывают притертыми пробками, ставят в темное место и выдерживают 5 мин при температуре 16-20°C. Параллельно с этими пробами ставят другие с такими же добавками раствора хлорной извести и выдерживают 1,5 ч.

3. В каждую колбу добавляют от 0,2 до 2 г сухого йодида калия в зависимости от прибавленного количества раствора хлорной извести (табл. 14.5), перемешивают до растворения, подкисляют (10 мл 30% раствора CH_3COOH) и титруют выделившийся йод раствором тиосульфата натрия. Когда цвет раствора станет слабо-желтым, прибавляют 1мл раствора крахмала и продолжают титрование до исчезновения синей окраски.

Таблица 14.5

Расход реагентов для расчета содержания остаточного хлора

№ опыта	Количество добавленного хлора		Количество добавленного KI, г	Объем р-ра $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ на титрование, мл	Остаточный хлор в 100 мл сточной воды, мг
	Объем р-ра хлорной извести, мл	Содержание хлора, мг			
1	1		0,2		
2	2		0,4		
3	4		0,6		
4	5		0,8		
5	6		1,0		
6	7		1,2		
7	8		1,6		
8	10		2,0		

4. Остаточный хлор вычисляют по формуле:

$$C_{\text{ост}} = (a \times K \times 1,78 \times 1000) / V, \text{ мг/л},$$

где a – объем раствора тиосульфата натрия, израсходованного на титрование, мл; K – поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора тиосульфата натрия точно к 0,05н; 1,78 – число миллиграммов хлора, эквивалентное 1 мл 0,05н раствора тиосульфата натрия; V – объем анализируемой сточной воды, мл.

5. Строят диаграммы зависимости количества остаточного хлора от количества добавленного хлора (рис. 14.1). Если на диаграмме нет перехода кривой линии в прямую, то недостаточно прибавлен хлор, если отсутствует участок OA, то введено слишком большое количество хлора. Длина этого участка показывает содержание в воде веществ, быстро окисляющихся хлором. Ко-

гда исследуемая вода содержит аммиак, аммонийные соли или некоторые органические амины и, когда определение остаточного хлора проводят йодометрическим методом, начальный отрезок кривой может получиться другой формы (рис. 14.2). Объясняется это тем, что прибавляемый хлор, вступая в реакцию с перечисленными соединениями, образует различные хлорамины, которые выделяют йод из йодида калия, как и прибавленный хлор. Дальнейшее прибавление хлора приводит к разрушению хлораминов (с образованием азота и хлористоводородной кислоты), и кривая, достигнув некоторого максимума, снова снижается, подходя к нижней точке перегиба. Ввиду этого перегиб на кривой при анализе сточных вод можно не учитывать, в отличие от анализа питьевых вод, которые хлорируют меньшим количеством хлорирующего агента.

Отрезок АК кривой характеризует процесс окисления и хлорирования

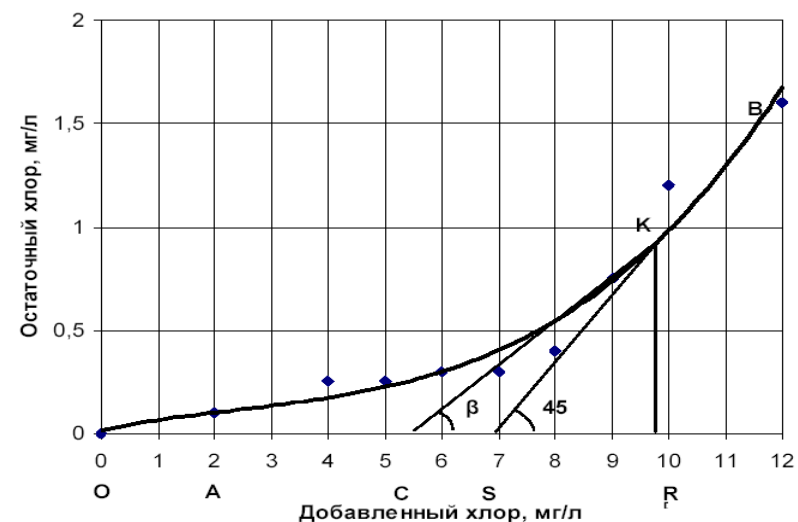


Рис.14.1. Кривая определения хлороемкости

веществ, медленно реагирующих с хлором, которые за время опыта не успевают прореагировать и остаются в растворе вместе с остаточным хлором. Отрезок KB (всегда прямолинейный) показывает отсутствие в растворе к концу опыта веществ, реагирующих с хлором.



Рис. 14.2. Кривая йодометрического титрования активного хлора

6. После построения кривых по ним определяют: а – длину отрезка ОА - содержание быстро реагирующих с хлором веществ; b – отрезок ОС - количество хлора, израсходованное на окисление органических веществ и на хлорирование (действительную хлороемкость воды); с – длину отрезка OS (OR-SR) - количество хлора, расходуемое на окисление, замещение хлором и на каталитическое разложение; d – длину отрезка OR - прибавка хлора для полноты реакции его с окисляющими и хлорируемыми веществами в воде за время проведения опыта (5 мин или 1,5 ч); $f=c-b$ – количество хлора, прореагировавшего с водой с образованием кислорода за время проведения опыта; площадь треугольника АКС условно характеризует замедленность и неполноту происходящих реакций: чем больше площадь, тем медленнее или менее полно проходят реакции в растворе; угол β (наклона прямой СВ к оси абсцисс) – характеризует каталитическое разложение хлорноватистой кислоты: $2\text{HClO} = 2\text{HCl} + \text{O}_2$.

7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Метод хлорирования.
2. Отличие процесса очистки питьевой воды активным хлором от очистки сточных вод (кривая хлорирования).

Работа №15. Биохимическая очистка сточных вод. Расчет аэротенка

Цель работы: Приобретение знаний и навыков по расчету процессов и сооружений биологической очистки сточных вод.

Вводная часть

Биохимические методы очистки сточных вод основаны на способности микроорганизмов использовать многие загрязняющие вещества для питания в процессе жизнедеятельности. Сточные воды, направляемые на биохимическую очистку, характеризуются величиной БПК и ХПК. БПК – это биохимическое потребление кислорода, или количество использованного кислорода для биохимического окисления органических веществ в воде, мг $\text{O}_2/\text{мг}$ вещества, за определенный промежуток времени (например, БПК₅ – за 5 суток). БПК_{полн} – полная биохимическая потребность кислорода до начала процессов нитрификации. ХПК – химическое потребление кислорода, или количество кислорода, необходимого для окисления всех восстановителей, содержащихся в воде.

Биохимическая очистка проводится в естественных и искусственных сооружениях [10]. Естественными сооружениями являются поля орошения, поля фильтрации и биологические пруды. Искусственные сооружения биологической очистки целесообразно делить на три группы:

- 1) сооружения, в которых активная биомасса закреплена на неподвижном материале, а сточная вода тонким слоем скользит по материалу загрузки (биофильтры);
- 2) сооружения, в которых активная биомасса находится в воде в свободном (взвешенном) состоянии (аэротенки, окситенки);
- 3) сооружения, в которых сочетаются оба варианта (погружные биофильтры, биотенки, аэротенки с заполнителями).

Активный ил (АИ), или активная биомасса состоит из живых организмов и твердого субстрата, представляет собой амфотерную коллоидную систему. Химический состав АИ для различных сточных вод достаточно близок. Например, химический состав смеси производственных и бытовых сточных вод отвечает формуле $\text{C}_{111}\text{H}_{212}\text{O}_{82}\text{N}_{20}\text{S}$. Субстрат (до 40% в АИ) представляет собой твердую отмершую часть остатков водорослей и других веществ, к которым прикрепляются микроорганизмы. Биопленка имеет вид слизистых обрастаний толщиной 1-3мм и более, от серовато-желтого до темно-коричневого цвета.

Аэротенк представляет собой открытый бассейн, оборудованный устройствами принудительной аэрации. Это - аппарат с постоянно протекающей сточной водой, во всей толще которой развиваются аэробные микроорганизмы, потребляющие субстрат, т.е. загрязнение этой сточной воды. Сточная вода непрерывно перемешивается и аэрируется до насыщения кислородом воздуха.

Аэротенки могут быть классифицированы по гидродинамическому режиму их работы: 1) аэротенки идеального вытеснения; 2) аэротенки идеального смешения; 3) аэротенки промежуточного типа.

Окситенки предназначены для биологической очистки сточных вод и могут быть использованы как самостоятельные сооружения или в двухступенчатой схеме в сочетании с аэротенками. В окситенках вместо воздуха применяется технический кислород, благодаря чему создаются условия для повышения дозы ила и его активности, снижаются прирост ила и энергозатраты на аэрацию, увеличивается окислительная мощность и снижаются эксплуатационные расходы очистных сооружений.

Биологический фильтр — это очистное сооружение, заполненное грузочным материалом, через который фильтруется сточная вода и на поверхности которого развивается биологическая пленка, состоящая преимущественно из аэробных микроорганизмов. Очистка сточных вод осуществляется вследствие жизнедеятельности указанных микроорганизмов.

Задача технологического расчета аэротенков – определение основных параметров системы (длительность аэрации, расход воздуха, объем), по которым устанавливаются размеры сооружения. Типовые аэротенки имеют размеры 36-114 м длины, 8-36 м ширины и 3-5 м глубины. Имеются следующие типовые данные:

- число коридоров – 2, 3 и 4;
- ширина коридоров – 4, 5, 6 и 9 м;
- шаг длины коридора – 6 м (длина стандартной панели);
- рабочая глубина – 3,2; 4,4 и 5 м.

Методика расчета

1. Длительность аэрации рассчитывается по формуле:

$$\tau = \frac{L_0 - L_1}{a \cdot \rho}, \text{ ч}, \quad (15.1)$$

где L_0 и L_1 - БПК_{полн} поступающей сточной и очищенной воды, мг/л; a – концентрация ила в аэротенке, г/л; ρ - скорость окисления загрязнения на 1 г сухой биомассы, мг (БПК)/(г·ч).

2. Удельный расход воздуха:

$$D = \frac{z(L_0 - L_1)}{100 \cdot k_1 k_2 n_1 n_2 (c - b)}, \text{ м}^3 \text{ воздуха/ м}^3 \text{ ст. воды}, \quad (15.2)$$

где $z=2\text{мг}(\text{O}_2)/\text{мг}(\text{БПК})$ – удельный расход кислорода; k_1 – коэффициент, учитывающий тип аэратора, являющейся функцией площади, занятой аэраторами по отношению к площади зеркала воды в аэротенке; $k_2=h^{0,67}$ – коэффициент, учитывающий глубину погружения аэратора (например, $h=3$ м); n_1 - коэффициент, учета температуры (например, при $t=24^\circ\text{C}$, табл. 15.1); n_2 – коэффици-

ент качества воды; c – растворимость кислорода, мг/л; b – допустимая минимальная концентрация кислорода, которая не лимитирует скорости окисления, принимаем $b=3$ мг/л.

Таблица 15.1

Коэффициент учета температуры n_1											
$t, ^\circ\text{C}$	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$c, \text{ мг/л}$	12,8	11,3	10,8	10,3	9,8	9,4	9,0	8,7	8,3	8,0	7,7
n_1	0,5	0,63	0,69	0,76	0,83	0,91	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

3. Объем аэротенка:

$$V = Q \cdot \tau, \text{ м}^3, \quad (15.3)$$

где Q – расход сточной воды, $\text{м}^3/\text{ч}$.

4. Конструктивные размеры аэротенка можно принимать из конструктивных соображений, в зависимости от объема сооружения:

4.1. Рабочая глубина H принимается из типовых размеров (например, $H=3,2$ м).

4.2. Площадь зеркала воды в аэротенке:

$$S = V/H, \text{ м}^2. \quad (15.4)$$

4.3. Длину аэротенка определяем по формуле:

$$L = 1,5\sqrt{S}, \text{ м}. \quad (15.5)$$

Полученное значение L округляем до ближайшего значения, кратного шагу длины коридора (6м).

4.4. Ширина аэротенка:

$$B = S/L, \text{ м} \quad (15.6)$$

Полученное значение B округляем до ближайшего значения, кратного типовым размерам ширины коридоров ($B_i=4, 5, 6$ или 9 м), при этом число коридоров должно получиться 2, 3 или 4:

$$N = B/B_i. \quad (15.7)$$

5. Начертить схему аэротенка (рис. 15.1) с конструктивными размерами.

Контрольные вопросы

1. Механизм биохимической очистки сточных вод.
2. Что такое БПК и ХПК?
3. Классификация биологических сооружений.
4. Что из себя представляет активный ил?

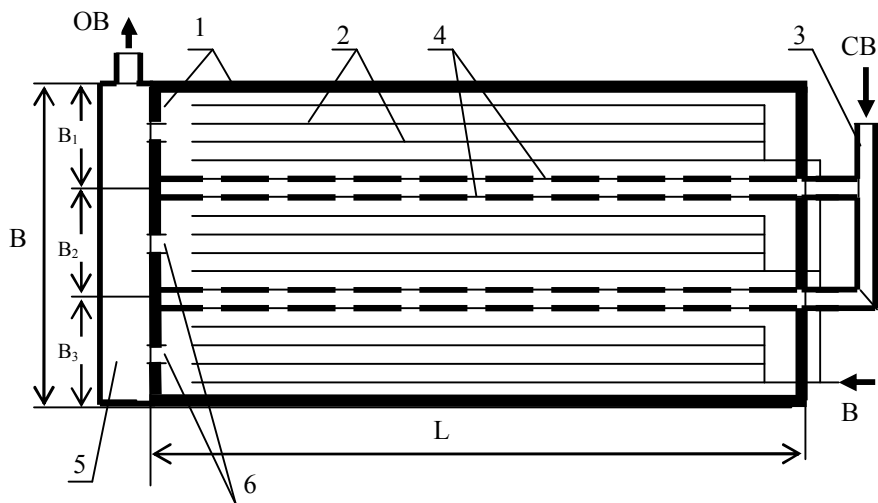


Рис. 15.1. Схема трехкоридорного аэротенка. 1 – стены; 2 – аэрационные фильтровые трубы (подача воздуха В); 3 – распределительный лоток сточной воды (СВ); 4 – водовыпускные отверстия с затворами; 6 – каналы осветленной воды (ОВ); 5 – водослив (сборник осветленной воды)

Таблица 15.2

Исходные данные (варианты).

№ вар.	Сточные воды производства	Q , м ³ /ч	L_0 , мг/л	L_1 , мг/л	ρ , мг/(г·ч)	n_2	k_1	a , г/л
1,10	химфармацевтических препаратов	650	150	3	10	0,25	0,25	2
2,11	нефтепродуктов	900	1000	5	15	0,3	0,5	6
3,12	переработки твердого топлива	800	900	5	13	0,35	0,5	6
8,13	каучука	700	800	5	14	0,4	0,45	5
5,14	поливинилацетата	500	700	5	16	0,3	0,4	5
6,15	синтетических жирных кислот	400	600	4	12	0,35	0,35	5
7,16	синтетического спирта	450	500	4	11	0,35	0,3	4
8,17	фенола	550	450	3	14	0,25	0,3	8
9,18	анилина	600	400	3	9	0,2	0,3	3

Работа №16. Переработка отходов. Определение класса опасности отходов

Цель работы: Приобретение навыков и знаний по переработке отходов и определению класса опасности отходов для окружающей среды.

Вводная часть

Отходами называются остатки сырья, материалов, полуфабрикатов и другие продукты и изделия, которые образовались в процессе производства и потребления, продукция, утратившая свои потребительские свойства, а также шлам, образовавшийся при очистке газов и жидкостей. Отходы являются опасными, если содержат вещества с опасными свойствами: токсичность, пожаровзрывоопасность, радиоактивность, патогенные возбудители инфекционных заболеваний и др. Воздействие отходов на ОС зависит от их качественного и количественного состава. Отходы представляют смеси веществ с различными физико-химическими свойствами. Экологическая опасность отходов также зависит от их растворимости, нестабильности, летучести и пылеобразования. Обращение с отходами предполагает следующие работы: сбор, сортировка, анализ, классификация, паспортизация и сертификация, учет, хранение и транспортировка, обезвреживание, размещение, переработка, использование, захоронение, ликвидация отходов.

Классификация отходов производится по различным принципам.

1. По гигиеническому принципу (табл. 16.1).
2. По агрегатному состоянию (твердые, жидкие, газообразные).
3. По отраслевому принципу (отходы черной и цветной металлургии, химической, угольной, деревообрабатывающей, пищевой, легкой и др.).
4. По физико-химическим свойствам.

Таблица 16.1

Классификация отходов по гигиеническому принципу

Категория	Характеристика отходов	Обращение с отходом
I	инертные	для планировки
II	легкоразлагающие, органические	переработка
III	слаботоксичные, слаборастворимые	складирование
IV	нефтесмолоподобные	сжигание
V	токсичные, со слабым загр. воздуха	складир. на полигоне
VI	токсичные	обезвреживание

Паспортизация и сертификация проводится на основе анализа отходов, при котором выявляется оптимальный набор входящих в паспорт отхода параметров. Форма паспортизации должен соответствовать одному из трех видов:

Критерии классов опасности твердых отходов на окружающую среду

№ п/п	Степень воздействия	Критерии отнесения к классу опасности	Класс опасности
1	Очень высокая	Экологическая система необратимо нарушена. Период восстановления (ПВ) отсутствует	1 класс Чрезвычайно опасные
2	Высокая	Экологическая система сильно нарушена. ПВ не менее 30 лет после полного устранения источника вредного воздействия	2 класс Высокоопасные
3	Средняя	Экологическая система нарушена. ПВ не менее 10 лет после снижения вредного воздействия	3 класс Умеренно опасные
4	Низкая	Экологическая система нарушена. Период самовосстановления не менее трех лет	4 класс Малоопасные
5	Очень низкая	Экологическая система практически не нарушена	5 класс Неопасные

1) учетно-статистическая форма, которая состоит из статистического отчета сведений об отходах;

2) кадастровая форма, которая предусматривает использование отходов в качестве вторичных материальных ресурсов (ВМР);

3) экологическая форма, которая проводится в соответствии с ГОСТ 17.0.0.04-90 и определяющая воздействия отхода на ОС.

Сертификация (узкая классификация) проводится по методам обработки отходов, при этом основными характеристиками являются:

1) при промежуточной обработке: рН, вязкость, сжимаемость, плотность, кривая седиментации и др.;

2) при сжигании: теплотворная способность, влажность, температура воспламенения, токсичность газов, пары металлов, остаток после сжигания;

3) при захоронении: способность к разложению, летучесть, содержание удобрений, органических, окисляемых и токсичных веществ.

Отход кодом А.2.01ж означает: отход химической промышленности (А), представляющий щелочной раствор (2) с преобладающим химическим соединением NaOH (01), в жидком состоянии (ж).

При переработке и утилизации промышленных и бытовых отходов используются следующие процессы: измельчение, классификация, смешение, компактирование (прессование), флотация, магнитная и электрическая сепарация, грануляция, биоразложение, пиролиз, сжигание, складирование и захоронение на полигонах. Для реализации данных процессов используется разнообразная аппаратура, выбор которой определяется технологией процесса физико-механическими, физико-химическими и другими свойствами перерабатываемых отходов.

Переработка отходов эффективно в мусороперерабатывающих заводах (МПЗ), технологическая схема которой может заключать следующие этапы:

1) прием и подготовка отходов, включающий приемный бункер, питатели, транспортеры, магнитные сепараторы;

2) биотермический процесс в горизонтальных вращающихся барабанах;

3) обработка отходов, включающий грохот, магнитный сепаратор, дробилки.

Класс опасности отходов устанавливают по степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду при непосредственном или опосредованном воздействии опасного отхода на нее в соответствии с критериями, приведенными в табл. 16.2, 16.5 и 16.6. Отнесение отходов к классу опасности может осуществляться расчетным или экспериментальным методом. В случае отнесения отхода расчетным методом к 5-му классу опасности, необходимо его подтверждение экспериментальным методом. При отсутствии подтверждения 5-го класса опасности экспериментальным методом отход может быть отнесен к четвертому классу опасности.

Упражнение 1 Определение класса опасности отхода расчетным методом по сумме показателей опасности составных веществ [11]

Определение класса опасности отходов расчетным методом осуществляется на основании показателя (К), рассчитанного по сумме показателей опасности веществ, составляющих отход. Перечень компонентов отхода и их количественное содержание устанавливают по составу исходного сырья и технологическим процессам его переработки или по результатам количественного химического анализа (в данной работе указаны в задании).

Показатель степени опасности компонента отхода (K_i) рассчитывают как соотношение концентраций компонентов отхода (C_i) с коэффициентом его степени опасности (W_i)- $K_i = C_i/W_i$. Коэффициентом степени опасности компонента отхода (W_i) является условный показатель, численно равный количеству компонента отхода, ниже которого он не оказывает негативного воздействия на ОС. Размерность коэффициента степени опасности условно принимают в миллиграммах на килограмм (мг/кг).

1. Для определения коэффициента степени опасности компонента отхода для каждого компонента (K_n) отхода устанавливают степень опасности (в баллах от 1 до 4) в соответствии с табл. 16.1.1 (первичные показатели для конкретного компонента отхода выбираются из таблицы приложений- П6).

2. Также в перечень показателей, используемых для расчета W_i , включают показатель информационного обеспечения для учета недостатка информации по первичным показателям степени опасности компонентов отхода для ОПС.

Рассчитывают показатель информационного обеспечения путем деления числа установленных (по которым имеются данные) показателей (n) на N , т.е. n/N , где $N=12$ - количество наиболее значимых первичных показателей опасности компонентов отхода для ОПС. Баллы присваиваются следующим диапазонам изменения показателя информационного обеспечения (табл. 16.1.2).

3. По установленным степеням опасности компонентов отхода рассчитывают относительный параметр опасности компонента отхода (X_i) делением суммы баллов по всем параметрам на число этих параметров.

4. Показатель Z_i промежуточный, вычисляют по формуле $Z_i=4X_i/3-1/3$ и учитывают при выборе формулы для расчета W_i .

5. Коэффициент W_i рассчитывают по одной из следующих трех формул: $lg W_i=4-4/Z_i$, для $1<Z_i<2$; $lg W_i=Z_i$, для $2<Z_i<4$; $lg W_i=2+4/(6-Z_i)$, для $4<Z_i<5$.

Коэффициенты W_i для наиболее распространенных компонентов опасных отходов приведены в П5 и П6 (приложение).

6. Показатель степени опасности компонента отхода K_i рассчитывают по формуле: $K_i = C_i/W_i$, где C_i – концентрация i -го компонента в опасном отходе, мг/кг; W_i – коэффициент степени опасности i -го компонента опасного отхода, мг/кг.

Таблица 16.1.1

Степень опасности компонентов отхода (КО – класс опасности)					
N п/п	Степень опасности по компонентам	Первичные показатели опасности компонента			
		1	2	3	4
1	ПДК _п (ОДК), мг/кг	<1	1-10	11-100	>100
2	КО в почве	1	2	3	-
3	ПДК _в (ОДУ, ОБУВ), мг/л	<0,01	0,01-0,1	0,11-1	>1
4	КО в хоз/питьевой воде	1	2	3	4
5	ПДК _{р.х.} (ОБУВ), мг/л	<0,001	0,001-0,01	0,011-0,1	>0,01
6	КО в рыб/хоз воде	1	2	3	4
7	ПДК _{с.с.} (ПДК _{м.р.} , ОБУВ), мг/м ³	<0,01	0,01-0,1	0,11-1	>1
8	КО в атмосфере	1	2	3	4
9	ПДК _{пт} (МДУ, МДС), мг/кг	<0,01	0,01-1	1,1-10	>10

10	Lg (S, мг/л /ПДК _в , мг/л)	>5	5-2	1,9-1	<1
11	Lg (C _{нас} , мг/м ³ /ПДК _{р.з.} , мг/л)	>5	5-2	1,9-1	<1
12	Lg (C _{нас} , мг/м ³ /ПДК _{с.с.} , ПДК _{м.р.})	>7	7-3,9	3,8-1,6	<1,6
13	Lg K _{ов} (окт/вода)	>4	4-2	1,9-0	<0
14	LD ₅₀ , мг/кг	<15	15-150	151-5000	>5000
15	LC ₅₀ , мг/м ³	<500	500-5000	5001-50000	>50000
16	LC _{50 водн.} , мг/л/96ч	<1	1-5	5,1-100	>100
17	БПК ₅ /ХПК 100%	<0,1	0,01-1	1-10	>10
18	Персистентность (трансформация в ОС)	Образование более токсичных продуктов	Влияние других критериев опасности	Исходная токсичность	Менее токсичных продуктов
19	Биоаккумуляция	Накопление во всех звеньях	В нескольких звеньях	В одном из звеньев	Нет
Балл		1	2	3	4

Таблица 16.1.2

Баллы, соответствующие диапазонам изменения показателя информационного обеспечения

Диапазоны изменения показателя информационного обеспечения (n/N)	Балл
<0,5 (n<6)	1
0,5-0,7 (n=6-8)	2
0,71-0,9 (n=9-10)	3
>0,9 (n>11)	4

7. Показатель степени опасности отхода: $K = K_1+K_2+...+K_n$, где $K_1, K_2, ... K_n$ – показатели степени опасности отдельных компонентов отхода.

8. Компоненты отходов, состоящие из таких химических элементов, как кислород, азот, углерод, фосфор, сера, кремний, алюминий, железо, натрий, калий, кальций, магний, титан, в концентрациях, не превышающих их содержание в основных типах почв, относят к практическим неопасным компонентам со средним баллом (X_i), равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности (W_i), равным 1Е6 (или 1000000).

Компоненты отходов природного органического происхождения – углеводы (клетчатка, крахмал и иное), белки, азотсодержащие органические соединения (аминокислоты, амиды и иное), т.е., состоящие из веществ, встре-

чающихся в живой природе, относят к классу практически неопасных компонентов со средним баллом (X_i), равным 4, и, следовательно, коэффициентом степени опасности (W_i), равным 1Е6 (или 1000000).

9. Отнесение отходов к классу опасности расчетным методом по показателю степени опасности осуществляется в соответствии с табл. 16.1.3.

Таблица 16.1.3

Степень опасности отхода в зависимости от класса опасности отхода

Класс опасности	Степень опасности (К)
I	$1000000 \geq K > 10000$
II	$10000 \geq K > 1000$
III	$1000 \geq K > 100$
IV	$100 \geq K > 10$
V	≤ 10

Упражнение 2. Определение класса опасности промышленных отходов на основе расчета индекса опасности отходов производства [13]

1. Расчет индекса опасности на основе ПДК химических веществ в почве ведут по формуле:

$$K_i = \frac{\text{ПДК}_i}{S + C_B}, \quad (16.2.1)$$

где ПДК_i - предельно допустимая концентрация токсичного химического вещества в почве, содержащегося в отходе, мг/кг; S – величина которой находится в интервале от 0 до 1 - безразмерный коэффициент, равный растворимости данного химического вещества в граммах на 100 г воды при 25°C (при растворимости больше 100 г в 100 г воды S принимается равным 1); C_B - содержание данного компонента в общей массе отхода, массовая доля; i - порядковый номер данного компонента.

Величину K_i округляют до первого знака после запятой. В случае, когда опасность отхода определяется по катиону или аниону токсичного компонента отхода, используется растворимость компонента отхода в пересчете на катион (анион).

2. Расчет индекса опасности при отсутствии ПДК химических веществ в почве ведут для каждого компонента отхода, используя величину ЛД₅₀ (средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг) для данного компонента (при наличии в справочнике нескольких значений ЛД₅₀ для расчета принимают минимальное значение):

$$K_i = \frac{\lg(\text{ЛД}_{50})_i}{(S + 0,1F + C_B)_i}, \quad (16.2.2)$$

где F - безразмерный коэффициент (от 0 до 1) летучести данного компонента, равный отношению давления насыщенного пара индивидуального компонента при температуре 25°C к 760 мм. рт. ст. (определяют только для веществ, имеющих температуру кипения при 760 мм рт. ст. не выше 80°C).

3. При отсутствии ПДК в почве и ЛД₅₀ для некоторых компонентов отходов, но при наличии величин классов опасности в воздухе рабочей зоны в уравнение (16.2.2) подставляют условные величины ЛД₅₀, ориентировочно определяемые по показателям класса опасности в воздухе рабочей зоны с помощью данных, представленных в табл. 16.2.1

Таблица 16.2.1

Зависимость ЛД₅₀ от класса опасности

Класс опасности	1	2	3	4
ЛД ₅₀ , мг/кг	15	150	5000	>5000

4. Рассчитав K_i для отдельных компонентов отхода, выбирают несколько (не более трех) ведущих компонентов отхода, имеющих наименьшее значение K_i причем K₁ < K₂ < K₃. Затем ведут расчет суммарного индекса опасности отхода по трем ведущим компонентам при условии 2K₁ ≥ K₃; по двум ведущим компонентам при условии 2K₁ ≥ K₂, но 2K₁ ≤ K₃,

$$K_{\Sigma} = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (16.2.3)$$

где n - количество ведущих компонентов отхода, n ≤ 3.

После расчета K_Σ определяют класс опасности отхода по табл.16.2.2 при расчете на основе ПДК в почве или табл.16.2.3 при расчете на основе ЛД₅₀.

Таблица 16.2.2

Классификация опасности химических веществ на основе их ПДК в почве

Расчетная величина K _Σ	Класс опасности	Степень опасности
Менее 2	1	Чрезвычайно опасные
От 2 до 16	2	Высоко опасные
От 16,1 до 30	3	Умеренно опасные
Выше 30	4	Малоопасные

Таблица 16.2.3

Классификация опасности химических веществ по ЛД₅₀

Расчетная величина K _Σ	Класс опасности	Степень опасности
Менее 1,3	1	Чрезвычайно опасные
От 1,3 до 3,3	2	Высоко опасные

От 3,4 до 10	3	Умеренно опасные
Более 10	4	Малоопасные

Задание

1. Отход отработанного активированного угля содержит одно из органических веществ: хлороформ; четыреххлористый углерод; бензол; перхлорэтилен или толуол. Уголь подвергли обезвреживанию, при этом содержание органического загрязняющего вещества снизилось до 0,1 %. Рассчитать класс опасности отхода отработанного угля до и после обезвреживания. Справочные данные для загрязняющих веществ приведены в табл.16.2.1.

2. Шлам от мойки машин и механизмов содержит низкокипящие нефтепродукты, индустриальные масла. Класс опасности в воздухе рабочей зоны по нефти 3-й; ЛД₅₀ (летальная доза по индустриальным маслам) равна 12000 мг/кг. Определить класс опасности шлама, загрязненного нефтепродуктами, индустриальными маслами.

3. Определить класс опасности отхода производства фторосолей, если в его состав входят сера, натрия сульфат и натрия фторид. Значение ПДК в почве для серы 160 мг/кг, для сульфат-иона - ПДК в почве серной кислоты 160 мг/кг, для фторида натрия - ПДК в почве для растворимой формы фтора 10 мг/кг. Растворимость в воде сульфата натрия в пересчете на сульфат-ион - 35,8 г в 100 г воды, фторида натрия в пересчете на фторид-ион - 1,95 г в 100 г воды, сера в воде практически не растворима.

Варианты заданий приведены в табл. 16.2.4.

Таблица 16.2.4

Исходные данные (варианты).

Содержание токсичных компонентов в отходе, С_в, %

№ вар	Отработанный активированный уголь	Отходы				
		Нефтешлам		Отходы производства фторосолей		
		Нефтепродукты	Индустриальные масла	Сера	Сульфат-ион	Фторид-ион
1, 10	Хлороформ 35	50	48	34	4,7	10,0
2, 11						
3, 12	Углерод четыреххлористый 25	46	44	25	3,4	8,3
4, 13						
5, 14	Бензол 20	42	40	25	13,5	6,1
6, 15						
7, 16	Перхлорэтилен 15	37	35	40	10,1	9,0
8, 17						
9, 18	Толуол 10	33		25	16,9	6,8

Таблица 16.2.5

Физико-токсикологические параметры токсичных компонентов отходов

Загрязняющее вещество	ЛД ₅₀ , мг/кг	Растворимость, S, г/100 г воды	Летучесть F	Класс опасности в воздухе рабочей зоны	ПДК в почве, мг/кг
Хлороформ	100	0,82	0,21	2	-
Углерод четыреххлористый	5760	0,08	0,16	2	-
Бензол, нефтепродукты и масла	4600	0,08	0,1	2	0,3
Перхлорэтилен	>5000	0,015	0,013	3	0,2
Толуол	-	0,063	0,04	3	0,3

Примечание. Цифры, помеченные звездочкой, указывают растворимость в пересчете на токсичный компонент-металл.

Упражнение 3. Отнесение отходов к классу опасности для окружающей природной среды экспериментальным методом [11]

1. Экспериментальный метод отнесения отходов к классу опасности осуществляют в специализированных аккредитованных для этих целей лабораториях.

2. Экспериментальный метод используют в следующих случаях:

- для подтверждения отнесения отходов к 5-му классу опасности, установленного расчетным методом;

- при отнесении к классу опасности отходов, у которых невозможно определить их качественный и количественный состав;

- при уточнении по желанию и за счет заинтересованной стороны класса опасности отходов, полученного в соответствии с расчетным методом.

3. Экспериментальный метод основан на биотестировании водной вытяжки отходов.

4. В случае присутствия в составе отхода органических или биогенных веществ проводится тест на устойчивость к биодegradации для решения вопроса о возможности отнесения отхода к классу меньшей опасности.

Устойчивостью отхода к биодegradации является способность отхода или отдельных его компонентов подвергаться разложению под воздействием микроорганизмов.

5. При определении класса опасности отхода с помощью метода биотестирования водной вытяжки применяют не менее двух тест-объектов из разных систематических групп (дафнии и инфузории, цериодафнии и бактерии или водоросли и т.п.). За окончательный результат принимается класс опасности, выявленный на тест-объекте, проявившем более высокую чувствительность к анализируемому отходу.

6. Для подтверждения отнесения отходов к пятому классу опасности, установленного расчетным методом, определяют воздействие только водной вытяжки отхода без ее разведения. Класс опасности (КО) устанавливают по кратности разведения водной вытяжки, при которой не выявлено воздействие на гидробионтов в соответствии со следующими диапазонами кратности разведения, приведёнными в табл. 16.3.1.

Таблица 16.3.1

Кратность разведения водной вытяжки в зависимости от КО отхода

Класс опасности	Кратность разведения водной вытяжки из отхода, при которой вреднее воздействие на гидробионтов отсутствует
I	>10000
II	От 10000 до 1001
III	От 1000 до 101
IV	<100
V	1

Контрольные вопросы

1. Что такое отходы?
2. Классификация и паспортизация отходов.
3. Процессы переработки отходов.
4. Методы определения класса опасности отхода.

Работа №17. Физические (энергетические) загрязнения ОС. Оценка уровней шума. Расчет акустического и электромагнитного экранов

Цель работы: Расчет суммарного уровня шума двух источников. Расчет параметров акустического и электромагнитного экранов.

Вводная часть

Под физическими (энергетическими) загрязнениями окружающей среды необходимо понимать шум, вибрацию, тепловое, электромагнитное и ионизирующее излучение, и другие физические явления, вредно воздействующие на окружающую среду.

Шум - это сочетание звуков различной интенсивности и частоты; мешающий, нежелательный звук. Звук - это акустические колебания частотой 16-20000 Гц, распространяющийся в упругой среде, вызванные каким либо источником и воспринимаемое слуховым аппаратом человека. Инфразвук - колебания с частотой ниже 16 Гц, ультразвук - выше 20000 Гц (выше 10^9 Гц - гиперзвук). Источником шума являются процессы механического (соударения, скольжения и трения деталей), аэродинамического (истечения газов) и гидродинамического (истечение жидкостей) происхождения. Источники аку-

стического излучения характеризуется значением излучаемой акустической мощности, т.е. ее спектром и диаграммой направленности [3,7].

Звук характеризуется звуковым давлением P , скоростью распространения v , длиной волны λ , частотой f . При $t=20^\circ\text{C}$ скорость звука в воздухе $v=344$ м/с. Между v , λ и f существует соотношение, используемое в практике борьбы с шумом:

$$v=\lambda f, \text{ м/с.} \quad (17.1)$$

Звуковые колебания в воздухе приводят к его сжатию (возрастанию давления) и разрежению (понижению давления). Разность между давлением среды $P_{\text{ср}}$ в данный момент и атмосферным давлением $P_{\text{атм}}$, называется звуковым давлением: $P=P_{\text{ср}}-P_{\text{атм}}$. Орган слуха человека различает не разность, а кратность изменения давления, поэтому шум оценивают не абсолютной величиной - звуковым давлением, а его уровнем. Уровнем звукового давления называют двадцатикратный логарифм отношения звукового давления P к пороговому значению P_0 :

$$L=20 \lg(P/P_0), \text{ дБ,} \quad (17.2)$$

где $P_0=2 \cdot 10^{-5}$ Па - давление, соответствующее порогу чувствительности уха (порог слышимости) на частоте 1000 Гц. Для интегральной оценки шума используется уровень шума - двадцатикратный логарифм отношения среднеквадратичного звукового давления P_A , измеренное с учетом корректировки частотной характеристикой шумомера (шкала А), отражающей частотную чувствительность человеческого уха к пороговому значению P_0 :

$$L_A=20 \lg(P_A/P_0), \text{ дБА.} \quad (17.3)$$

Повышенный шум действует как на органы слуха, так и на весь организм. Степень вредности шума зависит от его интенсивности, спектрального состава, времени воздействия, местонахождения человека, работы, индивидуальных особенностей человека.

Шумомер измеряет шумовое давление в диапазоне $2 \cdot 10^{-5}$ - 200 Па, что соответствует диапазону 0-130 дБ. Шум 40 дБА в ночное время является серьезным беспокоящим фактором. Шум 60 дБА создает ощутимую нагрузку на нервную систему человека, занимающегося умственной деятельностью. Шум выше 70 дБА вызывает физиологические воздействия, а при 90 дБА может привести к ухудшению слуха. Шум 120 дБА является болевым порогом, выше которой приведет к разрушению слухового органа. Шум 180 дБ может создать трещины в металлах. На людей так же вредно действует инфразвук, который вызывает чувство страха, потерю ориентировки в пространстве, вредно воздействует на сердечно-сосудистую систему.

Основные направления шумозащиты:

- замена шумных источников и технологий на малозумные;
- изменения направленности излучения;
- применение акустических экранов;

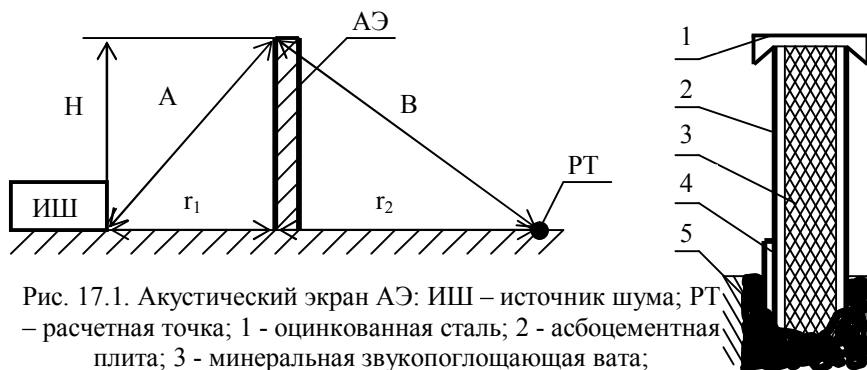


Рис. 17.1. Акустический экран АЭ: ИШ – источник шума; РТ – расчетная точка; 1 - оцинкованная сталь; 2 - асбоцементная плита; 3 - минеральная звукопоглощающая вата; 4 – металлическая стойка; 5 – фундамент.

- применение комплекса средств защиты в отдельных источниках;
- активная шумозащита.

Для уменьшения шума газовых потоков применяют реактивные и комбинированные глушители. Эффективность глушителя пропорциональна объему, числу камер и поворотов. Глушители устанавливаются в газоходах, воздухозаборах, дымовых трубах, автомобилях. Для снижения шума отдельных источников применяют звукоизолирующие капоты. Наличие проемов, щелей (для теплообмена или массообмена) ухудшает эффективность капотов. В этих случаях на выходе устанавливают экраны или глушители. Акустические экраны (АЭ) представляют собой преграду между источником шума (ИШ) и расчетной точкой (РТ). За экраном создается звуковой тень (рис. 17.1).

Основными источниками шума в городах являются автотранспорт, трамваи, поезда. В крупных городах уровни уличных шумов возрастают, в среднем, 1-2 дБ в год. Для выбора и проектирования необходимых инженерно-технических и организационно-планировочных решений необходимо провести акустические расчеты, оценить уровни шумов на территории застройки.

При распространении цилиндрической звуковой волны (от линейных источников шума) в открытом пространстве интенсивность звука изменяется обратно пропорционально расстоянию, т.е. при каждом удвоении расстояния уровень снижается на 3 дБ. К линейным источникам относятся поезда, трамваи и потоки автотранспорта.

Упражнение 1. Расчет уровня шума и акустического экрана (см. таблицу 17.2).

1. Получаем исходные данные (два источника шума, L_{0f} при разных октавных частотах, расстояние от источника до расчетной точки r) из таблицы 17.1 и заносим в таблицу 17.2.

2. Рассчитываем фактические уровни шума (от линейных источников) в жилой застройке для каждой октавной частоты f по формуле:

$$L_f = L_{0f} - 10 \lg(r/r_0), \text{ дБ}, \quad (17.4)$$

где L_{0f} - уровни шума источников на расстоянии $r_0=7,5$ м; r – расстояния от источника до расчетной точки (рис. 17.4).

3. Определяем разности уровней шумов двух источников для каждой октавной частоты:

$$\Delta L_f = L_{f\text{макс}} - L_{f\text{мин}}, \text{ дБ}. \quad (17.5)$$

4. Определяем суммарный уровень шума от обоих источников в расчетной точке для каждой октавной частоты:

$$L_{\Sigma f} = L_{f\text{макс}} + \Pi, \text{ дБ}, \quad (17.6)$$

где $L_{f\text{макс}}$ – наибольший уровень шума из двух источников при данной октавной частоте; Π – поправка, зависящая от разности уровней шумов двух источников ΔL_f при данной октавной частоте (рис. 17.2), при $\Delta L_f \geq 10$ дБ поправка $\Pi=0$.

5. Начертить график зависимости предельно-допустимых уровней в зависимости от октавных частот (рис. 17.3), там же построить график зависимости полученных суммарных уровней шумов от двух источников $L_{\Sigma f}$ от октавных частот. Сравнить полученные значения с нормативными уровнями.

6. Рассчитать акустический экран (обычный), устанавливаемый на расстоянии $r_1=5$ м, при этом принять высоту экрана $H=5-6$ м.

$$\Delta L = 20 \lg N - 10 \lg n, \text{ дБ} \quad (17.7)$$

где $N=2\delta/\lambda$ - число Френеля; n - число свободных ребер (для обычного АЭ $n=3$; для Г - образного - 2; для П - образного - 1); $\delta=A+B-r_1-r_2$, м; r_2 – расстояние от экрана до расчетной точки $r_2=r-r_1$; $A = \sqrt{H^2 + r_1^2}$; $B = \sqrt{H^2 + r_2^2}$; длину волны λ можно определить по (14.1) при частоте $f=1000$ Гц.

7. Определяем уровень шума в расчетной точке после установки экрана:

$$L_{1000} = L_{\Sigma 1000} - \Delta L, \text{ дБ}. \quad (17.8)$$

Если уровень шума больше чем ПДУ (рис. 17.3), увеличиваем высоту H экрана и расчет производим повторно до получения уровня шума ниже ПДУ.

Табл.17.1.

Исходные данные. Уровни шума источников L_{0f} , дБ, на расстоянии $r_0=7,5$ м.

№вар	Источник	r, м	Октавная частота f , Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1, 10	Автомобиль	75	88	86	85	83	81	80	79	75
	Трамв/пути	100	70	69	67	65	63	65	64	62
2, 11	Автомобиль	50	92	91	89	86	79	77	75	73
	Ж/дорога	100	88	86	85	83	81	80	78	72
3, 12	Трамв/пути	50	65	63	60	58	57	54	52	51
	Ж/дорога	75	65	65	68	69	77	79	83	85
4, 13	Автомобиль	75	83	82	81	77	76	75	74	73
	Трамв/пути	100	55	57	58	59	61	63	65	67
5, 14	Автомобиль	50	83	82	81	77	76	75	74	73
	Ж/дорога	100	91	89	88	86	84	83	81	75
6, 15	Трамв/пути	50	70	69	67	65	63	65	64	62
	Ж/дорога	75	65	65	68	69	77	79	83	85
7, 16	Автомобиль	75	78	75	73	69	68	67	65	64
	Трамв/пути	100	55	57	58	59	61	63	65	67
8, 17	Автомобиль	50	81	79	77	75	75	74	72	70
	Ж/дорога	100	67	67	70	76	79	83	85	87
9, 18	Трамв/пути	50	53	55	56	57	59	61	63	64
	Ж/дорога	75	65	65	68	69	77	79	83	85

Таблица 17.2

Методика расчета уровней шумов двух источников при разных частотах

f , Гц	L_{0f} , дБ (табл. 17.1)		L_f , дБ (17.4)		ΔL_f , дБ (17.5)	П (рис. 17.2)	$L_{\Sigma f}$, дБ (17.6)
	Источник 1	Источник 2	Источник 1	Источник 2			
63							
125							
250							
500							
1000							
4000							
8000							

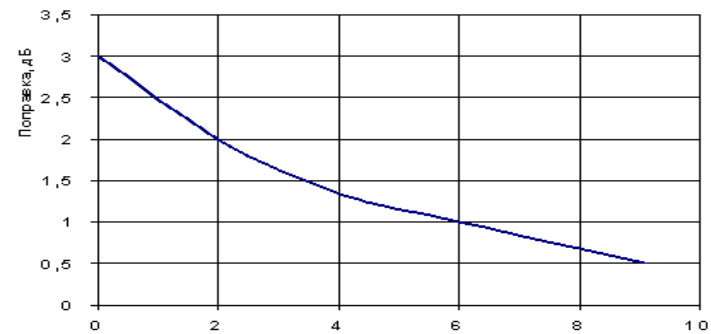


Рис.17.2. Поправка при суммировании уровней шума (к большему) в зависимости от разности уровней

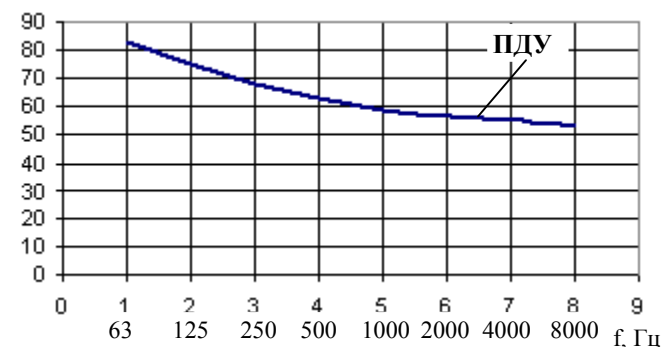


Рис. 17.3. Предельно-допустимые уровни в зависимости от октавных частот

Упражнение 2. Расчет электромагнитного экрана для защиты от ионизирующих излучений.

Ионизирующее излучение – это физическое явление, связанное с излучением потока частиц или электромагнитной энергии, приводящее к ионизации окружающей среды (рис. 17.4):

- α - излучение – поток ядер гелия состоящих из двух протонов и двух нейтронов. Заряд +2, масса 4 а.е.м., энергия 4-9 МэВ ($1\text{эВ}=1,6\cdot 10^{-19}$ Дж), скорость 20000 м/с, пробег в воздухе 8-9 см и в биологической ткани – десятки микрон, удельная ионизация 25-60 тыс. пар ион/см;

- β - излучение – поток электронов (β^-) или позитронов (β^+). Заряд электрона -1 и заряд позитрона +1, масса $9,1\cdot 10^{-31}$ кг, энергия – 0,15-3,6 МэВ, пробег в воздухе 22-1400 см, в биологической ткани – 0,02-1,9 см;

- γ - излучения – поток фотонов с энергией 0,01-10 МэВ, излучается при ядерных превращениях и аннигиляции «частица – античастица», заряд – 0, масса покоя – 0, скорость – 300000 км/с; рентгеновское излучение – поток фотонов с энергией 1-1000 кэВ;

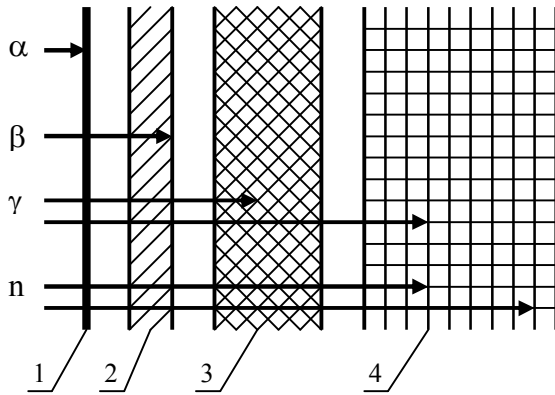


Рис. 17.4. Проникающая способность ионизирующих излучений 1 – бумага (0,2мм); 2 – оргстекло (10мм); 3 – свинец (15см); 4 – бетон (3м)

ции; изоляция излучающих объектов; применение вентиляции и вытяжных шкафов; применение защитных экранов.

Защитными экранами от ионизирующих излучений являются стенки контейнеров для перевозки изотопов, стенки сейфов для хранения изотопов, а также специальные экраны. Для защиты от α -частиц достаточен слой воздуха толщиной 5-6 см, но одновременно могут быть и другие излучения. Для защиты от β излучений применяют экраны из материалов малой атомной массы (алюминий), от γ - излучений и нейтронов – из материалов большой атомной массы и плотности (свинец, вольфрам, бетон).

Задание. Рассчитать экран для защиты от источника ионизирующих излучений в рабочем помещении. Согласно нормативу при 6-часовом рабочем дне предельно допустимая доза облучения составляет $W_d=1,4$ мР/ч.

Для расчета защитных экранов от ионизирующих излучений необходимо знать данные об источнике излучения, расстояния от источника и выбрать материал защитного экрана.

1. Рассчитывают коэффициент ослабления экрана:

$$K = \frac{8,4m_{Ra}}{R^2 W_d} \quad (17.9)$$

- нейтронное излучение – поток нейтронов. Заряд – 0, масса - 1а.е.м., энергия – 0,1-20 МэВ, излучается при ядерных превращениях, пробег больше чем другие излучения.

Наиболее опасными являются γ - излучения и нейтроны, так как имеют наибольшие пробеги.

Методы и средства защиты от ионизирующих излучений следующие: установление предельно допустимых доз облучения; контроль уровня радиации;

где m_{Ra} , [мг-экв. Ra] - γ -эквивалент источника – условная масса ^{226}Ra , создающего на некотором расстоянии такую же мощность экспозиционной дозы, как и данный источник (1 мг-экв. Ra=8,4 Р/ч на расстоянии 1см); R – расстояние от источника, см; W_d – предельно- допустимая доза облучения, мР/ч.

2. Выбирают материал и его толщину. Для этого можно использовать график зависимости коэффициента ослабления материала от толщины (рис. 17.4).

Таблица 17.3

Исходные данные (варианты)					
№ вар	m_{Ra} , [мг-экв. Ra]	R, см	№ вар	m_{Ra} , [мг-экв. Ra]	R, см
1, 10	665000	200	6, 15	661000	190
2, 11	555000	150	7, 16	962000	250
3, 12	645000	180	8, 17	863000	230
4, 13	535000	130	9, 18	764000	220
5, 14	625000	170	19, 20	665000	180

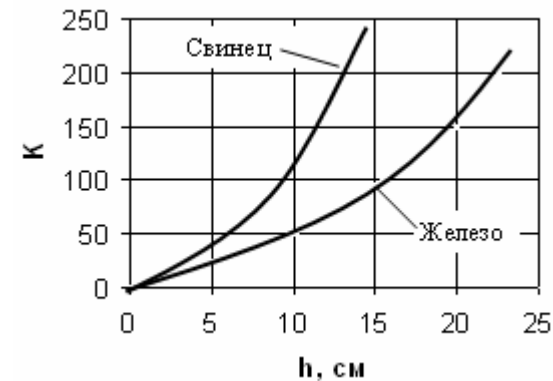


Рис. 17.4. Зависимость коэффициента ослабления экрана от толщины материала.

Контрольные вопросы

1. Что такое физические (энергетические) загрязнения?
2. Шум, звук, инфразвук и ультразвук. Основные параметры.
3. Методы и средства защиты от шума и вибрации.
4. Ионизирующие излучения и его виды.
5. Методы и средства защиты от ионизирующих излучений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Процессы и аппараты химической технологии / Под ред. А.М. Кутепова. Т.1 и 2. М.: Логос, 2002. - 600 с.
2. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии / Под ред. В.Г. Айнштейна. Кн. 1 и 2. М.: Логос, ВШ, 2003. - 1760 с.
3. Инженерная экология / Под. ред. В.Т. Медведева. М.: Гардарики, 2002. - 688 с.
4. Инженерная экология и экологический менеджмент / Под. ред. Н.И. Иванова и И.М. Фадына. М.: Логос, 2003. - 528 с.
5. Баранов Д.А., Кутепов А.М. Процессы и аппараты. М.: «Академия», 2004. - 304 с.
6. Белов С.В. Охрана окружающей среды. М.: ВШ, 1991. - 319 с.
7. Тагоев С.А., Мингазетдинов И.Х. и др. Процессы и аппараты защиты окружающей среды / Практикум / Под ред. Глебова А.Н., Казань: Изд. «Экоцентр». 2005. - 94с.
8. Яковлев С.В. Очистка производственных сточных вод. М.: Стройиздат. 1979. – 320с.
9. Белов С.В. Средства защиты в машиностроении. М.: Машиностроение. 1989. – 368с.
10. Тимонин А.С. Инженерно-экологический справочник. Т.1-4. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003.
11. Белоусова О.А., Струкова Л.В., Горшкова А.Н. Промышленная экология. Изд-во ГОУ ВПО УГТУ-УПИ – 2006.
12. Родионов, А.И. Техника защиты окружающей среды / А.И. Родионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. М. : Химия, 1989. - 512 с.
13. Сорокин Ю.П. Природопользование. Практикум. Санкт-Петербургский технический университет. СПб, 2007. 91с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Характеристика пылей цементного производства

Технологическое оборудование	Объем, м ³ /кг	Температура, °С	Концентрация пыли, г/м ³	УЭС (уд. эл. Сопротивление), 10 ⁸ Ом·м	Состав частиц размером до 5 мкм, %	Плотность, кг/м ³
Печи длиной:						
до 100 м	3,8-6,0	225-385	10-48	1- 20	17-36	2670-2820
100—127 м.	3,5-6,8	180-300	10-66	0,18-2,3	8-30	2540-2990
127—150 м	3,5-6,0	170-260	10-49	0,25-90	10-41	2630-3300
170 м	4,2-5,9	195-250	10-60	0,25-3,3	19-52	2710-2870
185 м	3,9-5,7	180-250	10-55	0,18-20	36-49	2650-2950
Печи с циклонными теплообменниками	2,5-3,3	190-380	16-60	1-1000	51-75	2640-840
Колосниковые холодильники	1,0-2,9	90-90	5-40	2,8-13	15-17	3060-300
Сырьевые мельницы открытого цикла	0,2-0,7	60-00	120-410	1-600	26-65	2690-790
Сушильные барабаны	0,5-1,1	70-50	15-0	0,12-300	5-36	2630-710

Таблица П2

Характеристика газов производства глинозема

Газы	Объем, тыс. м ³ /ч	Температура, °С	Запыленность, г/м ³	Запыленность после электрофильтрации, г/м ³
Печи спекания	100-300	300	40-150	1-2
Печи кальцинации	10-70	300	200-700	0,1-1
Печи обжига	40	500	5	-
Печи цементные	400	500	30	1-1,5

Таблица ПЗ

Характеристика газов медеплавильных заводов

Газы	Характеристика газов перед аппаратом предварительной очистки				Запыленность перед тонкой очистки, мкм
	Температура, °С	Запыленность, г/м ³	Состав, % (об)	Ср. диаметр частиц, мкм	
Обжиговых печей	500-700	35-40	SO ₂ 6-9 SO ₃ 0,1-0,2	4	12-20
Шахтных печей	350-550	10-15	SO ₂ 4-5,5	0,6	3-6
Отражательных печей	300-400	5	SO ₂ 1-1,2 CO ₂ 7	1,5-2	1-2,5
Конверторов	900-1000	5-15	SO ₂ 6-7,5	0,5	1-6
Сушилок	150-250	20-40	SO ₂ 3,1 CO 0,3	2,5	5-20

Таблица П4

Характеристика сточных вод НПЗ

Вид установки или производства	Концентрация загрязнений, мг/л				ХПК, мг O ₂ /л	БПК, мг O ₂ /л
	нефте-продукт	Взвеш. вещества	Прочие вещества			
			Название	Значения		
1	2	3	4	5	6	7
ЭЛОУ-АВТ, нефтесодержащие нейтральные воды	<u>5000</u> 350	<u>250</u> 120	Хлориды	<u>3000</u> 1200	<u>600</u> 500	<u>300</u> 250
			Фенолы ПАВ	8/5 15/10		
ЭЛОУ-АВТ, нефтесодержащие воды	<u>15 000</u> 5000	<u>350</u> 150	Хлориды	<u>15 000</u> 6000	<u>2200</u> 900	<u>1100</u> 500
			Фенолы ПАВ	5/4 120/90		
Каталитического или термического крекинга	300	400	Тринатрийфосфат	5000	750	400
Каталитического риформинга	300	70	—	—	700	350
Вторичной перегонки бензинов	250	60	—	—	450	250
Производства серы (с регенерацией моноэтаноламина)	50	150	Моноэтаноламин	10	300	100
Карбамидной депарафинизации дизельного топлива	<u>500</u> 400	<u>120</u> 120	Карбамид	<u>1500</u> 850	<u>1040</u> 950	<u>840</u> 550
			Аммонийный азот	<u>150/100</u> 15/10		
			Дихл-метан			

Битумная	1500	100	—	—	900	450
Газофракционирующая (ГФУ)	100	70	—	—	150	70
Серно-кислотного аллюминирования нефтепродуктов	150	60	—	—	350	150
Ароматических углеводородов (например, этилбензол)	200	60	Хлористый натрий Едкий натр Соляная к. РН Al(OH) ₃ Бензол, этилбензол Толуол	до 40 тыс. 30000 18000 4,1 5000 500— 800 200	500	350
Изомеризации бензиновых фракций	150	60	—	—	450	220
Селективной очистки масел фурфуро-лом	150	70	Фурфурол	5	300	140
Вакуумной разгонки и гидроочистки масел	150	40	—	—	450	200
Гидроочистки твердых парафинов	200	70	—	—	450	250
Непрерывного коксования	400	300	Серо-водород	до 5	650	350
Производство водорода	—	30	—	—	50	20
Этилосмесительная	70	60	Тстраэтил-свинец	До 100	130	65
Производство этилена	<u>250</u> 150	<u>100</u> 80	Ароматич. углеводороды	30	<u>700</u> 500	<u>350</u> 250
	<u>50</u> 30	<u>80</u> 50			—	—
Производство пропилена	—	60	Бутил. спирт Масл. алдег. Толуол	30 000 15 000 200	По содержанию спиртов и альдегидов	
Производство синтетических жирных кислот (СЖК)	—	<u>400</u> 200	Парафин Жирные кислоты Сульфаты рН ПАВ	250/150 <u>150</u> 100 <u>2000</u> 800 3/4 25/20		

Примечание: Под чертой — применительно к технологическим установкам перспективных НПЗ, над чертой — к современным действующим установкам.

Таблица П5

Коэффициенты W_i для отдельных компонентов опасных отходов [11]

Компонент	X_i	Z_i	lgW_i	W_i
Медь	2,17	2,56	2,56	358,9
Ртуть	1,25	1,33	1,00	10,0

Таблица П6

Параметры компонентов отходов (КО – класс опасности) [11]

Параметр	Компонент отхода								
	FeO	Al	S	P	Fe	CaO	SiO ₂	Cl	Взв. в-ва
ПДК _п (ОДК), мг/кг	>100	-	>100	-	>100	-	>100	>100	-
КО в почве	-	-	-	-	3	-	-	4	-
ПДК _в (ОДУ, ОБУВ), мг/л	0,11-1	0,11-1	-	-	0,11-1	-	>1	-	0,11-1
КО в хоз/ питьевой воде	3	2	-	-	3	-	4	-	-
ПДК _{р.х.} (ОБУВ), мг/л	0,11-1	>0,1	>0,1	0,011-0,1	0,11-1	>0,1	-	>0,1	>0,1
КО в рыб/хоз воде	2	2	-	3	3	-	4	3	-
ПДК _{сс} (ПДК _{мр} , ОБУВ), мг/м ³	0,01-0,1	0,01-0,1	0,11-1	0,01-0,1	0,01-0,1	0,11-1	0,11-1	0,01-0,1	>0,1
КО в атмосфере	2	2	-	-	3	3	3	-	3
ПДК _{пн} (МДУ, МДС), мг/кг	>10	-	-	-	>10	-	-	-	-
Lg (S, мг/л / ПДК _в , мг/л)	<1	-	<1	<1	<1	-	<1	<1	-
Lg (C _{нас} , мг/м ³ / ПДК _{р.з} , мг/л)	<1	-	-	-	<1	-	<1	-	-
Lg (C _{нас} , мг/м ³ / ПДК _{сс})	<1,6	-	-	-	<1,6	-	<1,6	-	-
LD ₅₀ , мг/кг	>5000	151-5000	-	500-5000	-	>5000	-	15-150	-
LC ₅₀ , мг/м ³	5001-50000		500	<500				<500	
Персистентность	Близка	менее	-	-	менее	менее	менее	-	менее
Биоаккумуляция	Нет	Нет	-	-	Нет	Нет	Нет	-	Нет