

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности и
защита окружающей среды»

Методические указания к курсовому проекту
по дисциплине

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

для студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность
профиля подготовки Инженерная защита окружающей среды

Ростов–на–Дону 2024

Составители: доцент, к.х.н. Дымникова О.В.

Методические указания к курсовому проекту по дисциплине
" Процессы и аппараты очистки сточных вод" предназначены для
студентов направления 20.03.01 Техносферная безопасность
профиля "Инженерная защита окружающей среды" всех форм
обучения. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ. 2024. 19 с.

Печатается по решению методической комиссии факультета
«Безопасность жизнедеятельности и инженерная экология»

Рецензент – доцент, к.х.н. В.В. Озерянская

Научный редактор – профессор, д.т.н. Ю.И. Булыгин

Курсовой проект по процессам и аппаратам защиты окружающей среды состоит из пояснительной записки и графической части.

1.1. Содержание и оформление пояснительной записки

Пояснительная записка курсового проекта должна содержать все исходные, расчетные и графические (вспомогательные) материалы, оформленные в определенной последовательности:

Титульный лист.

Содержание (оглавление).

Введение.

1. Технологическая часть.

1.1. Теоретические основы процесса.

1.2. Сравнительная характеристика и выбор технологической схемы установки и основного оборудования.

1.3. Описание технологической схемы установки.

1.4. Устройство, принцип работы основного аппарата.

1.5. Техника безопасности при обслуживании оборудования.

2. Расчетная часть.

2.1. Технологический расчет основного аппарата.

2.2. Расчет и выбор вспомогательного оборудования.

Выводы.

Список использованной литературы.

Введение. В этом разделе необходимо оценить необходимость предлагаемого мероприятия по защите окружающей среды от воздействия промышленных предприятий (сбросы сточных вод, поступление отходов).

Теоретические основы процесса. В этом разделе необходимо кратко описать сущность и назначение процесса, статику и кинетику процесса, влияние различных факторов на процесс и пути его интенсификации. Охарактеризовать движущую силу процесса и способы ее увеличения, конкретные особенности проведения процесса, который обусловлен заданием на проектирование.

Сравнительная характеристика и выбор технологической схемы установки и основного оборудования. В этом разделе на основе технико-экологической оценки различных технологических схем проведения процесса,

обосновывается выбор конкретной схемы и конструкции основного аппарата применительно к условиям производства.

Описание технологической схемы установки.

Приводится принципиальная схема установки и ее описание с указанием позиций (номеров аппаратов), технологических параметров процесса в системе СИ. Приводится основной аппарат и его описание с указанием позиций сборочных единиц, деталей, стандартных изделий. Кратко описывается принцип работы аппарата. Приводятся данные по обоснованию выбора материала, из которого будет изготавливаться аппарат, входящий в технологическую схему установки.

Техника безопасности при обслуживании оборудования. В этом разделе указываются возможные опасности при обслуживании установки, меры безопасного ведения процесса. Приводится характеристика перерабатываемых веществ с точки зрения воздействия их на организм человека, предельно-допустимые концентрации веществ в рабочей зоне, меры защиты органов дыхания и кожных покровов человека.

Расчетная часть. Технологический расчет аппаратов выполняется с целью определения их основных размеров (диаметра, высоты, площади поверхности теплопередачи и т.д.). После определения основных размеров аппарата он выбирается по нормативным документам – ГОСТу, ОСТу и т.д. Далее рассчитываются или выбираются остальные элементы аппаратов (перемешивающие устройства, штуцеры, крышки и т.д.).

При необходимости в этом разделе выполняется расчет тепловой изоляции. Необходимые для выполнения расчетов физико-химические свойства перерабатываемых веществ (плотность, теплоемкость, вязкость и др.) находят по справочникам или рассчитывают по формулам. В этом же разделе выполняется расчет остальных аппаратов установки (теплообменников, циклонов и др.) и выбор их по каталогам и ГОСТам. Расчет гидравлического сопротивления аппаратов и трубопроводов осуществляется для расчета и выбора машин, перемешивающих жидкости и газы (насосов, вентиляторов, компрессоров). Емкостное оборудование для хранения сырья и продукции рассчитывается и подбирается по нормам, каталогам или ГОСТам с учетом конкретных условий их работы. Все расчеты должны выполняться в Международной системе единиц измерений (СИ).

Выводы. Заканчивая пояснительную записку к курсовому проекту, проектант должен дать анализ полученных результатов, их

соответствия заданию на проект, указать, что предложено проектом по охране окружающей среды.

Список использованной литературы. В список литературы включают все использованные источники. Располагают их в порядке упоминания в тексте. Описание книги обязательно должно содержать: фамилии и инициалы авторов, название книги, издательство и год издания, количество страниц.

Описывая статью из сериального издания (журнала, газеты), приводят фамилии и инициалы авторов статьи, ее название, наименование издания, год, том, номер издания и страницы используемого материала.

Описывая использованный стандарт, дают наименование документа, цифровое его обозначение, название, дату введения и срок действия (если он имеется).

Оформление пояснительной записки должно отвечать требованиям Единой системы конструкторской документации (ЕСКД). Пояснительная записка выполняется машинописным способом на бумаге формата А4.

Каждый лист пояснительной записки должен иметь рамку. Страницы записки нумеруются, а в содержании указываются номера страниц, соответствующие началу каждого раздела.

В текстовом документе нужно давать ссылки на источники. Ссылка содержит номер источника, взятый из списка.

Формулы в записке нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой.

1.2. Оформление графической части курсового проекта.

Графическая часть курсового проекта состоит из технологической схемы и чертежей общих видов основных аппаратов. Она должна удовлетворять требованиям ЕСКД, предъявляемым к выполнению технического проекта.

Общие требования. Технологическая схема и общий вид аппарата выполняются, как правило, на листах чертежной бумаги основного формата А1, согласно ГОСТ 2.301.68.

Формат должен иметь рамку и основную надпись, которые вычерчиваются сплошной основной линией, толщина которой должна быть в пределах от 0,5 до 1,4 мм в зависимости от величины и сложности изображения, а также от формата чертежа.

Основная надпись в соответствии с ГОСТ 2.104 – 68 располагается в правом нижнем углу чертежа.

Технологические схемы должны содержать:

- а) графически упрощенное изображение изделий, входящих в установку, во взаимной связи между ними;
- б) приборы, средства автоматизации и управления, изображаемые условными обозначениями по действующим стандартам, а также линии связи между ними;
- в) таблицы условных графических обозначений, не предусмотренных действующими стандартами;
- г) необходимые пояснения к схеме.

Перечень основных составных частей (изделий) и элементов для принципиальной схемы помещается в виде таблицы, заполняемой сверху вниз.

При графическом изображении аппарата желательно соблюдение масштаба. Однако при необходимости допускается выполнять без соблюдения масштаба, но одновременно и без резкого нарушения соотношения габаритных размеров изделий.

2. Примеры выполнения расчетной части курсового проекта.

2.1. Расчет отстойников.

Для проектирования сооружений и аппаратов механической очистки должны быть заданы следующие данные:

- общее количество сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- температура сточных вод, $^{\circ}\text{C}$;
- периодичность образования сточных вод;
- тяжелые механические примеси, мг/л ;
- нефтепродукты, масла, мг/л ;
- плотность тяжелых и легких загрязнений, г/см^3 ;
кинетика осаждения механических примесей тяжелее и легче воды, при их расчетной концентрации в исходной воде;
- требуемая степень очистки (%) или допустимое содержание загрязнений легче и тяжелее воды, мг/л ;
- гидравлическая крупность частиц, тяжелее и легче воды, которую необходимо выделить для обеспечения требуемой степени очистки, мм/с .

Гидравлическая крупность определяется по кривым кинетики отстаивания $\Delta = f(t)$, полученным экспериментально отстаиванием

сточной воды в статических условиях в слое h , как правило, отличным от действительной высоты отстаивания в выбранном типе отстойника, поэтому для приведения полученных результатов к натурным надлежит производить пересчет по формулам (30) и (31) СНиП 2.04.03-85 с учетом поправки на изменение вязкости воды при изменении температуры.

Показатель степени n_2 , зависящий от природы загрязнений, в том числе и от агломерируемости взвесей для промышленных сточных вод, определяется по полученным экспериментально кривым кинетики отстаивания в слоях h_1 и h_2

$$n_2 = (\lg t_2 - \lg t_1) / (\lg h_2 + \lg h_1). \quad (1)$$

При расчете сооружений для механической очистки промышленных сточных вод экспериментальное определение показателей характеристики воды и загрязнений должно предшествовать проектированию в каждом конкретном случае. Опыт обследования промышленных предприятий показывает, что величина гидравлической крупности частиц U_0 , которые должны быть выделены для обеспечения требуемого эффекта, колеблется в пределах 0,2 – 0,5 мм/с, поэтому для ориентировочных расчетов отстойных сооружений величину U_0 можно принимать равной 0,25 – 0,3 мм/с.

Принимая во внимание, что при проектировании очистных установок, как правило, применяются типовые или экспериментальные конструкции отстойных сооружений с известными геометрическими размерами, за расчетную величину следует принимать производительность одного отстойника g_{set} , при которой обеспечивается заданный эффект очистки.

Производительность одного отстойника g_{set} , м³/ч рассчитывается по формулам (32 – 36) СНиП 2.04.03 – 85.

Для горизонтальных отстойников

$$g_{\text{set}} = 3,6 K_{\text{set}} L_{\text{set}} B_{\text{set}} (u_0 - v_{\text{tb}}); \quad (2)$$

для отстойников радиальных, вертикальных и с вращающимся сборнораспределительным устройством

$$g_{\text{set}} = 2,8 K_{\text{set}} (D_{\text{set}} - d_{\text{en}}) (u_0 - v_{\text{tb}}); \quad (3)$$

для отстойников с нисходяще – восходящим потоком

$$g_{\text{set}} = 1,41 K_{\text{set}} D_{\text{set}}^2 u_0 ; \quad (4)$$

для отстойников с тонкослойными блоками при перекрестной схеме работы

$$g_{\text{set}} = \frac{7,2 K_{\text{set}} H_{\text{bl}} L_{\text{bl}} u_0}{K_{\text{dis}} h_{\text{ti}}} ; \quad (5)$$

для отстойников с тонкослойными блоками при противоточной схеме

$$g_{\text{set}} = 3,6 K_{\text{set}} H_{\text{bl}} B_{\text{bl}} v_w , \quad (6)$$

где K_{set} – коэффициент использования объема, принимаемый по табл.31 СНиП 2.04.03 – 85;

L_{set} – длина секции, отделения, м ;

L_{bl} – длина тонкослойного блока (модуля), м.;

B_{set} – ширина секции, отделения, м ;

B_{bl} – ширина тонкослойного блока, м ;

D_{set} – диаметр отстойника, м ;

d_{en} – диаметр впускного устройства, м ;

u_0 – гидравлическая крупность задерживаемых частиц, мм/с, определяемая по формуле (30) СНиП 2.04.03 – 85;

v_{tb} – турбулентная составляющая , мм/с, принимаемая по табл.32 СНиП 2.04.03 –85 в зависимости от скорости потока в отстойнике v_w , мм/с ;

H_{bl} – высота тонкослойного блока, м ;

h_{ti} – высота яруса тонкослойного блока (модуля), м ;

K_{dis} – коэффициент сноса выделенных частиц, принимаемый при плоских пластинах равным 1,2 , при рифленных пластинах – 1.

После расчета g_{set} , исходя из общего расхода сточных вод, определяются количество рабочих единиц отстойников N

$$N = g_w / g_{\text{set}} . \quad (7)$$

Пример 1. Требуется рассчитать отстойник, работающий по противоточной схеме, показанной на Рисунок 1, для очистки коагулированных сточных вод литейного производства расходом 500 м³/ч, сточные воды с концентрацией механических примесей 1000мг/л образуются постоянно, температура сточных вод T_w (в среднем) 30 °С. Экспериментально в заводской лаборатории

установлено, что требуемая степень очистки (содержание взвесей 150 – 200 мг/л) обеспечивается при задержании частиц гидравлической крупностью 0,2 мм/с. Крупность определена по кривым кинетики отстаивания, полученным при температуре 20 °С в слое 100 мм.

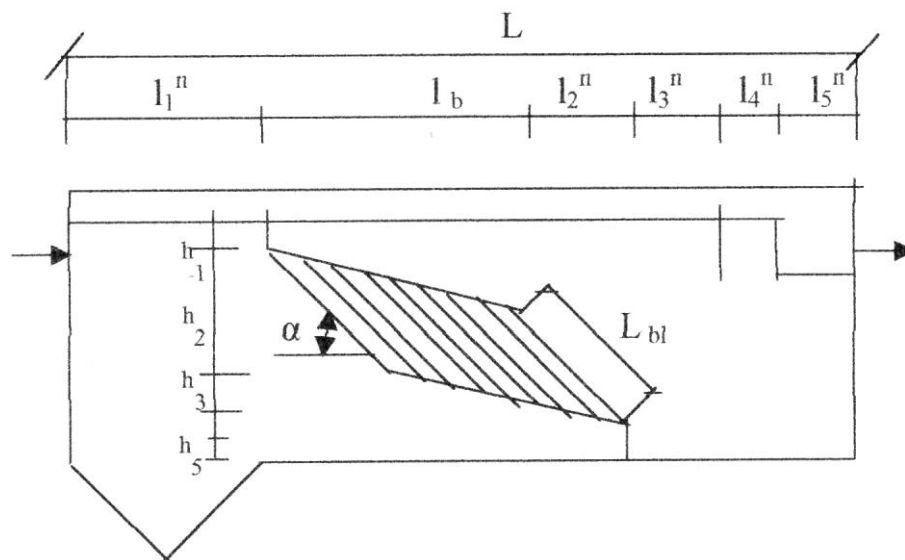


Рисунок 1 Схема отстойника, оборудованного тонкослойными блоками, работающего по противоточной схеме

По формуле (31) СНиП 2.04.03-85 уточняем величину гидравлической крупности

$$U_0^t = \mu_{lab} U_0 / \mu_{pr} = 0,2 \cdot 1,005 / 0,8007 = 0,25 \text{ мм/с},$$

где μ_{lab} , μ_{pr} - вязкость воды при соответствующих температурах в лабораторных и производственных условиях;

U_0 – гидравлическая крупность частиц, полученная по формуле (30) СНиП 2.04.03 –85, мм/с.

По формуле [2]

$$L_{bl} = v_w h_{ti} / U_0 = (5 \cdot 0,1) / 0,25 = 2 \text{ м},$$

где v_w – скорость потока в ярусе;

h_{ti} - высота яруса, определяем длину пластины в ярусе L_{bl} , задавшись предварительно по табл.3.1 СНиП 2.04.03-85 высотой яруса $h_{ti} = 0,1\text{м}$; и скоростью потока в ярусе $v_w = 5\text{мм/с}$

Назначаем угол наклона пластин, определенный экспериментально:

$$\alpha = 50^\circ.$$

Задаемся количеством секций отстойника $N = 5$ и определяем производительность одной секции

$$g_{set} = 500 / 5 = 100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Задаемся шириной одной секции $B_{bl} = 3 \text{ м}.$

Определяем длину зоны L_b [2] тонкослойного отстаивания, если коэффициент использования ее объема в соответствии с табл.31 СНиП 2.04.03-85 $K_{set} = 0,5$:

$$L_b = g_{set} / (3,6 K_{set} v_w B_{bl}) = 100 / (3,6 \cdot 0,5 \cdot 3) = 3,7 \text{ м.}$$

Задаем длину зон тонкослойного отстойника (Рисунок 1):

$$l_1^n = 1,5 \text{ м;}$$

$$l_2^n = 2 \sin (90 - 50^\circ) = 2 \cdot 0,64 = 1,28 \text{ м;}$$

$$l_3^n = 0,3 \text{ м; } l_4^n = 0,1 \text{ м; } l_5^n = 0,5 \text{ м,}$$

а затем определяем общую рабочую длину отстойника по формуле [2]

$$L_{стр} = 3,7 + 1,5 + 1,28 + 0,3 + 0,1 + 0,5 = 7,38 \approx 8 \text{ м.}$$

Определяем общую глубину воды в отстойнике $H_{стр.}$, предварительно задавшись высотой зон:

$$h_1^n = 0,1; h_2^n = 2 \sin 50^\circ = 2 \cdot 0,77 = 1,54;$$

$$h_3^n = 0,3;$$

$$h_4^n = 0,2;$$

$$h_5^n = 0,3 ,$$

по формуле [2]

$$H_{стр.} = h_m + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = 0,1 + 1,54 + 0,3 + 0,2 + 0,3 = 2,44 \text{ м} = 2,5 \text{ м}$$

Принимаем удаление осадка в приямок скребковым механизмом. По формуле (37) СНиП 2.04.03 – 85 определяем расход удаляемого осадка

$$Q_{mud} = (1000 - 200) 500 / (100 - 96) 2,6 \cdot 10^4 = 3,85 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

2.2. Установки для электрохимической очистки сточных вод.

Электрокоагуляторы со стальными электродами.

Электрокоагуляторы со стальными электродами относятся к нестандартному оборудованию, которое следует применять для очистки сточных вод предприятий различных отраслей промышленности от шестивалентного хрома и других металлов при расходе сточных вод не более $50 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Корпус электрокоагулятора представляет собой прямоугольный резервуар, изготовленный из синтетических кислотостойких материалов (полиизобутилен, полипропилен и др.), или футерованный изнутри этими материалами. Электрокоагулятор оборудуется вытяжным вентиляционным устройством (например, бортовыми отсосами) для удаления газов, образующихся при

электролизе сточных вод. Целесообразно, чтобы дно электрокоагулятора имело небольшой уклон (до 5°) в сторону выхода сточных вод.

Наибольшее применение получили в настоящее время электрокоагуляторы с помещенными в них пакетами (блоками) плоских пластинчатых электродов, расположенных вертикально, параллельно друг другу.

Движение потока сточных вод в электрокоагуляторе следует осуществлять вдоль поверхности электродных пластин в вертикальном направлении (снизу вверх или сверху вниз) либо в горизонтальном направлении.

Для равномерного распределения воды между электродами и равномерного ее отвода рекомендуется предусмотреть в электрокоагуляторе или в отдельных его секциях приемные и сборные камеры. Приемные камеры отделяются от рабочего пространства электрокоагулятора дырчатыми перегородками, которые рассчитываются как распределитель высокого сопротивления (отношение суммарного сечения отверстий в перегородках к общему сечению электрокоагулятора составляет $\geq 0,3$).

Электроды (катоды и аноды), помещенные в электролизер, изготавливаются из низкоуглеродистой стали (Ст3, Ст4 и т.п.) и могут иметь толщину от 3 до 6 мм. Первоначальное расстояние между соседними электродами должно составлять 5-10 мм.

Рекомендуются следующие размеры электродных пластин: длина 0,6-1, ширина 0,3-0,6 м. Целесообразно использование электродов (анодов и катодов) в виде блоков. Блок электродов представляет собой набор стальных пластин, закрепленных на общей раме. Пластины через одну подключаются к катодной и анодной шинам источника постоянного тока с помощью припаянных к ним токоподводов. Для предотвращения коротких замыканий пластины в двух-трех местах по своей высоте разделяются прокладками из диэлектрика (текстолит, винипласт и др.), выполненными, например, в виде колец. Электродные пластины у своего основания или по их высоте (с обеих сторон) рекомендуется вставлять в " гребенку ", также изготовленную из материала-диэлектрика. Масса одного электродного блока не должна превышать 0,05 т.

Электродные шины изготавливаются из медных (латунных) или алюминиевых прутков или полос, закрепляются на изоляторах на корпусе электрокоагулятора и соединяются с соответствующими

полюсами источника постоянного электрического тока. Диаметры (сечение) электродных, а также токоподводящих шин (кабелей), соединяющих электролизер с источником тока, во избежание перегрева, рассчитываются на максимальную токовую нагрузку.

При расчете электрокоагулятора определяются общая поверхность и количество электродов, конструктивные размеры и число электрокоагуляторов и величина тока в электрической цепи. При этом основными исходными параметрами для расчета являются: расход сточных вод; исходная концентрация шестивалентного хрома и ионов тяжелых металлов в сточных водах; анодная плотность тока; удельный расход электричества, необходимый для обработки единицы объема сточных вод.

Пример 2. Расчет электрокоагулятора со стальными электродами для очистки хромосодержащих сточных вод

Исходные данные для расчета: расход сточных вод составляет 10 м³/ч (при круглосуточной работе установки), исходные концентрации шестивалентного хрома и цинка – соответственно 50 и 20 мг/л; величина тока в электрической цепи

$$I_{\text{cur}} = 3,1 C_{\text{en}} g_w = 10 \cdot 50 \cdot 3,1 = 1550 \text{ А},$$

где C_{en} – исходная концентрация шестивалентного хрома;

g_w – расход сточных вод.

К установке принимается один выпрямитель переменного тока, вырабатывающий ток величиной до 1600 А при максимальном напряжении до 12 В. Общая поверхность анодов составит:

$$f_{\text{pl}} = I_{\text{cur}} / i_{\text{an}} = 1550 / 150 = 10,3 \text{ м}^2,$$

i_{an} – анодная плотность тока, А/м².

Размеры одной электродной пластины принимаются следующими: ширина $b_{\text{pl}} = 300$ мм, рабочая высота $h_{\text{pl}} = 600$ мм. Рабочая поверхность одного электрода будет равна:

$$f_{\text{pl}}' = 2 b_{\text{pl}} h_{\text{pl}} = 2 \cdot 0,3 \cdot 0,6 = 0,36 \text{ м}^2$$

Общее количество электродных пластин составит

$$N_{\text{pl}} = 2 f_{\text{pl}} / f_{\text{pl}}' + 1 = 2 \cdot 10,3 / 0,36 + 1 = 57 + 1 = 58.$$

Принимаются к установке два электродных блока, каждый из которых состоит из 30 стальных пластин. Рабочий объем электрокоагулятора будет равен:

$$W_{\text{ek}}' = f_{\text{pl}} b = 10,3 \cdot 0,008 = 0,082 \text{ м}^3.$$

Расстояние между двумя соседними электродами b принято равным 0,008 м. Время обработки сточных вод (время пребывания сточных вод в межэлектродном пространстве электрокоагулятора) составит

$$t = W_{\text{ek}} \cdot g_w = 0,082 \cdot 10 = 0,008 \text{ ч} = 0,008 \cdot 3600 = 28,8 \text{ с}.$$

Удельный расход металлического железа для обработки сточных вод определяем по формуле

$$Q_{Fe} = g_{Fe} C_{en} g_w \cdot 24 / 1000 K_{ek} = 2.5 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 24 / 1000 \cdot 0,8 = 37,6 \text{ кг/сут},$$

где g_{Fe} - удельный расход металлического железа, г, для удаления 1 г одного из компонентов сточных вод;

K_{ek} - коэффициент использования материала электродов, в зависимости от толщины электродных пластин принимаемый равным 0,6 – 0,8.

Ширина одного электродного блока при толщине одной электродной пластины 5 мм будет равна:

$$B = N_э \delta + b (N_э - 1) = 30 \cdot 0,005 + 0,008 (30 - 1) = 0,38 \text{ м}.$$

2.3. Адсорберы.

Аппаратурное оформление адсорбционной очистки сточных вод активными углями включает комплекс оборудования и его обвязки, обеспечивающий в общем случае следующие технологические операции:

- а) подачу сточных вод в адсорбер;
- б) контакт сточных вод с адсорбентом в адсорбере;
- в) отделение очищенной воды от адсорбента и вывод ее из адсорбционной аппаратуры;
- г) вывод отработанного адсорбента из адсорбера с утилизацией или регенерацией его;
- д) загрузку в адсорбер чистого адсорбента.

Выбор конструкции адсорберов прежде всего обусловлен дисперсным составом адсорбента, который принимается с учетом дефицитности, его стоимости и возможности регенерации.

В зависимости от дисперсного состава адсорбента принципиальные конструкции адсорберов можно подразделить на следующие типы:

I - адсорбер с неподвижной или движущейся загрузкой, через которую водный поток фильтруется или нисходящим потоком со скоростью до 20 м/ч, или восходящим - со скоростью до 12 м/ч, применяется для фракции 0,8 - 5 мм;

II - адсорбер с псевдоожиженной загрузкой, расширение слоя которого осуществляется не менее чем на 50 % восходящим потоком воды со скоростью 10-40 м/ч, применяется для фракций 0,25 - 2,5 мм;

III - адсорберы-смесители применяются для фракций 0,05 - 0,5 мм;

IV - патронные адсорберы с фильтрованием воды со скоростью 1-12 м/ч через слой адсорбента толщиной 0,5 - 2 см, применяются для фракций 0,02 - 0,1 мм.

Адсорберы I типа могут применяться для очистки любых объемов сточных вод самого широкого спектра концентраций и химического строения извлекаемых примесей.

Для проектирования адсорберов должны быть известны следующие параметры: размеры адсорберов, объем и масса загрузки адсорбента, режим смены загрузки, количество и технологическая схема обвязки адсорберов, тип и количество используемой арматуры.

При расчете адсорберов необходимы следующие исходные параметры:

- расход сточных вод;
- начальная концентрация загрязнений;
- концентрация загрязнений в очищенной воде;
- изотерма адсорбции;
- скорость фильтрования сточной воды через загрузку или скорость движения сточной воды через поперечные сечения адсорбера;
- объем адсорбента, единовременно выгружаемого из адсорбционной установки;
- ориентировочная продолжительность периода работы адсорбента до проскока и соответственно замены отработанного адсорбента чистым;
- требуемая степень отработки ;
- кажущаяся и насыпная плотность адсорбента.

В том случае, когда физико-химический состав загрязнений в сточной воде неизвестен, например, в многокомпонентной сточной воде после биохимической очистки, в расчете концентраций адсорбата может использоваться обобщенный показатель, в частности, ХПК, БПК, органический углерод.

Расчет размеров адсорберов начинают с определения общей площади адсорбционной установки, используя формулу (82) СНиП 2.04.03-85, а затем, выбрав конструкцию и площадь поперечного сечения одного адсорбера, рассчитывают минимально необходимое число параллельно работающих адсорберов.

Пример 3. Расчет адсорбционной установки с плотным неподвижным слоем гранулированного активного угля для очистки многокомпонентной воды.

Исходные данные :

производительность $g_w = 10$ тыс м³/сут или 417 м³/ч;
 начальная величина ХПК (C_{en}) = 625 мг/л;
 конечная величина ХПК (C_{ex}) = 50 мг/л ;
 изотерма адсорбции соответствует уравнению Фрейндлиха: α_{sb} в мг/г ; C в мг/л ;
 $\alpha_{sb}^{min} = 253 C_{ex}^{1/2}$; линейная скорость относительно стен адсорбера v составляет 10 м/ч;
 ориентировочная продолжительность работы установки до проскока $t_{адс.}^{op} = 24$ ч;
 уголь АГ-3, его кажущаяся плотность $\gamma_{sb}^{каж} = 0,90$;
 насыпная $\gamma_{sb}^{н\acute{a}с} = 0,45$;
 высота слоя угля в одном адсорбере $H_{ads} = 2,50$ м ;
 заданная степень исчерпания емкости сорбента $K_{sb} = 0,7$;
 диаметр адсорбера $B = 3,5$ м.

Порядок расчета: определяем максимальную сорбционную емкость α_{sb}^{max} в соответствии с изотермой, мг/г :

$$\alpha_{sb}^{max} = 253 C_{en}^{1/2} = 253 \cdot 0,625^{1/2} = 200 .$$

Находим общую площадь одновременно и параллельно работающих адсорберов, м²:

$$F_{ad} = g_w / v = 1000 / 24 \cdot 10 = 41,7$$

Количество параллельно и одновременно работающих линий адсорберов при $D = 3,5$ м, шт. :

$$N_{ads} = F_{ads} / f_{ags} = 41,7 \cdot 4 / 3,14 \cdot 3,5^2 = 4,3.$$

Принимаем к работе четыре параллельно и одновременно работающих линий адсорберов при скорости фильтрации 11 м/ч. Максимальная доза активного угля, г/л (кг / м) :

$$D_{sb}^{max} = (C_{en} - C_{ex}) / \alpha_{sb}^{min} = (625 - 50) / 253(0,05)^{1/2} = 9,9.$$

Доза активного угля, выгружаемого из адсорбера, г/л (кг/м³) :

$$D_{sb} = (C_{en} - C_{ex}) / K_{sb} \cdot \alpha_{sb}^{max} = (625 - 50) / 0,7 \cdot 200 = 4,1$$

Ориентировочная высота загрузки, обеспечивающая очистку, м:

$$H_{op2} = D_{sb}^{max} g_w t_{ads}^{op} / F_{ads} \gamma_{sb}^{н\acute{a}с} = 9,9 \cdot 417 \cdot 24 / 41,7 \cdot 450 = 5,3$$

Ориентировочная высота загрузки, выгружаемая из адсорбера, м :

$$H_{op1} = D_{sb} g_w t_{ads}^{op} / F_{ads} \gamma_{sb}^{н\acute{a}с} = 4,1 \cdot 417 \cdot 24 / 41,7 \cdot 450 = 2,2 .$$

Высота слоя отработанного адсорбента, выгружаемого из адсорбера, принимается равной загрузке одного адсорбера $H = 2,5$ м, резервная высота загрузки $H_3 = 2,5$ м, $H_2 = 5$.

Общая высота загрузки адсорбента в адсорбционной установке принимается с учетом установки одного резервного адсорбера, м:

$$H_{\text{tot}} = H_1 + H_2 + H_3 = 2,5 + 5 + 2,5 = 10.$$

Общее количество последовательно установленных в одной линии адсорберов

$$N_{\text{ads}} = 10/2,5 = 4 \text{ шт.}$$

Продолжительность работы t_{ads} адсорбционной установки до проскока (при одном адсорбере, находящемся в процессе перегрузки), ч :

$$t_{1 \text{ ads}} = [2C_{\text{ex}}(H_3 + H_2)\varepsilon(a_{\text{sb}}^{\text{max}} + C_{\text{en}})]/yC_{\text{en}}^2;$$

при порозности загрузки

$$\varepsilon = 1 - 0,45/0,9 = 0,5$$

$$t_{1\text{ads}} = 2 \cdot 0,05 \cdot 7,5 \cdot 0,5 (0,625 + 200) / 11 \cdot (0,625)^2 = 17,5.$$

Продолжительность работы одного адсорбера до исчерпания емкости, ч:

$$\begin{aligned} t_{2\text{ads}} &= 2 C_{\text{en}} K_{\text{sb}} H_1 \varepsilon (a_{\text{sb}}^{\text{max}} + C_{\text{en}}) / yC_{\text{en}}^2 = \\ &= 2 \cdot 0,625 \cdot 0,7 \cdot 2,5 \cdot 0,5 (0,625 + 200) / 11 \cdot 0,625^2 = 51. \end{aligned}$$

Таким образом, требуемая степень очистки может быть достигнута непрерывной работой четырех параллельных линий адсорберов, в каждой из которых по четыре последовательно установленных адсорбера, из которых один резервный находится в режиме перегрузки. Каждый адсорбер при этом работает в течение 51ч, отключение одного адсорбера в последовательной цепи на перегрузку производится через 17 ч.

Произведем расчет объема загрузки одного адсорбера, м :

$$\omega_{\text{sb}} = f_{\text{ads}} H_{\text{ads}} = 3,14 \cdot 3,5^2 \cdot 2,5 / 4 = 24 ;$$

сухой массы угля в одном адсорбере, т :

$$P_{\text{sb}} = \omega_{\text{sb}} \gamma^{\text{HAC}}_{\text{sb}} = 450 \cdot 24 = 11.$$

При перезагрузке четырех адсорберов через каждые 17 ч (по одному из каждой линии) затраты угля составят, т/ч :

$$3_{\text{sb}} = W_{\text{sb}}^p / t_{2\text{ads}} = (11 \cdot 4) / 51 = 0,86,$$

что соответствует дозе угля, г/л :

$$D_{\text{sb}} = 3_{\text{sb}} / g_w = 0,86 / 417 = 2,1.$$

3. Темы типовых курсовых проектов.

1. Очистка сточных вод от крупнодисперсных примесей.
2. Очистка промышленных сточных вод методом отстаивания.
3. Доочистка сточных вод на фильтрах с зернистой загрузкой.
4. Применение напорных гидроциклонов в процессах очистки сточных вод.
5. Сооружения для коагулирования воды.
6. Флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод.
7. Очистка сточных вод от нефтепродуктов.
8. Флотационные методы очистки сточных вод.
9. Биологическая очистка промышленных сточных вод.
10. Особенности биохимической очистки в окситенках.
11. Очистка сточных вод биофильтрами.
12. Адсорбенты и адсорбционные процессы в решении проблемы очистки сточных вод.
13. Обессоливание сточных вод ионитами.
14. Мембранная технология в очистке сточных вод.
15. Обезвоживание осадков сточных вод.
16. Обработка воды методом электродиализа.
17. Очистка сточных вод методом электрокоагуляции.
18. Извлечение токсичных примесей из сточных вод электрохимическими методами.
19. Установки обеззараживания сточных вод.
20. Подготовка воды в пищевой промышленности с помощью озонаторов.
21. Реагентные методы очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов.
22. Очистка сточных вод в гальваническом производстве.
23. Способы очистки сточных вод от соединений хрома.
24. Проблемы очистки и регенерации СОЖ.
25. Сооружения для очистки поверхностного стока с территории промышленных предприятий.
26. Технологии обработки осадков природных и сточных вод.
27. Мировые тенденции в области современных технологий очистки сточных вод.
28. Термическое обезвреживание сточных вод.

Методики и примеры расчетов, вспомогательные справочные материалы, необходимые для выполнения курсового проекта, содержатся в рекомендуемой литературе.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.04.03 –85. Канализация. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. – М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1986.- 72с.
2. Проектирование сооружений для очистки сточных вод . Справочное пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990.- 192 с.
3. Пааль Л.Л., Кару Я.Я., Мельдер Х.А., Репин Б.Н. Справочник по очистке природных и сточных вод – М.: Высшая школа, 1994.- 336 с.
4. Василенко А.А. Водоотведение. Курсовое проектирование. Киев.1988
5. Мельдер Х.А., Пааль Л.Л. Малогабаритные канализационные очистные установки. М., 1987.
6. Лысов В.А., Турянский И.П. и др. Проектирование и расчет водопроводных очистных сооружений.-Ростов н/Д , 2000.- 139 с.
7. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. М., 1984.
8. Справочник проектировщика. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Под ред. Н.В.Самохина. М.,1981.
9. Кульский Л.А. Теоретические основы и технология кондиционирования воды. Процессы и аппараты. – Киев.: Наук.думка, 1983.- 523с.
10. Технология и оборудование для очистки промышленных и бытовых стоков.: Альбом ВНИИТЭМР. – М., 1992. – 63с.
11. Родионов А.И., Кузнецов Ю.П. и др. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
12. Черепанов К.А. и др. Утилизация вторичных материальных ресурсов в металлургии. – М.: Металлургия, 1994
13. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990. – 352с.
14. Доусон Г., Мерсер Б. Обезвреживание токсичных отходов. – М.: Стройиздат, 1996. – 288 с.
15. Кольман-Иванов Э.Э., Гусев Ю.И. и др. Машины химических производств. Атлас конструкций. – М.: Машиностроение, 1981.
16. Охрана окружающей среды.(Справочное пособие). – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 127 с.
17. Аникиев В.В., Захарова П.В. и др. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов. – М.: Изд-во ассоциации строительных вузов, 2002. – 295 с.

18. Яковлев С.В. Биохимические процессы в очистке сточных вод.- М.: Стройиздат, 1980.-200 с.

19. Генулер Г.Л. Развитие теории конструирования водоочистных флотационных аппаратов/ СИБПРОЕКТ- Новосибирск: Наука, 2004.- 317 с.