

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СБРОСОВ

Учебно-методическое пособие
для выполнения практических работ по дисциплине



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СБРОСОВ

Учебно-методическое пособие
для выполнения практических работ по дисциплине

Севастополь
СевГУ
2024

УДК 628.31/.34(076.5)

ББК 30.69-5*я73

Т38

Р е ц е н з е н т :

Е.А. Магдыч - канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой ХиХТ

Ответственный за выпуск:

Г.В. Кучерик - канд. тех. наук, доцент, заведующий кафедрой РЭБ

Составители: Г.В. Кучерик, Ю.А. Омельчук

Т38 Технология очистки промышленных сбросов : учебно-методическое пособие для выполнения практических работ по дисциплине / Севастопольский государственный университет ; сост. : Г.В. Кучерик, Ю.А. Омельчук. – Севастополь : СевГУ, 2024. – 86 с. – Текст : электронный.

Цель пособия: оказание помощи студентам очной и заочной форм обучения в подготовке и выполнении практических и контрольных работ по дисциплине «Технология очистки промышленных сбросов», а также в получении ими теоретических знаний и приобретении практических навыков расчета параметров очистки промышленных сточных вод.

УДК 628.31/.34(076.5)

ББК 30.69-5*я73

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании Ученого совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 7 от 05 марта 2024 г.

© Кучерик Г.В., Омельчук Ю.А., 2024
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений.....	4
Общие методические указания.....	5
1. Умягчение воды.....	7
1.1. Теоретические сведения.....	7
1.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета.....	11
1.3. Примеры решения задач.....	12
2. Коагулирование примесей в воде.....	15
2.1. Теоретические сведения.....	15
2.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета.....	20
2.3. Примеры решения задач.....	21
3. Фильтрация воды.....	24
3.1. Теоретические сведения.....	24
3.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета.....	28
3.3. Примеры решения задач.....	29
4. Физико-химические основы очистки воды адсорбцией.....	36
4.1. Теоретические сведения.....	36
4.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета.....	42
4.3. Примеры решения задач.....	42
5. Ионнообменный метод очистки воды.....	49
5.1. Теоретические сведения.....	49
5.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета.....	57
5.3. Примеры решения задач.....	60
Перечень вопросов, выносимых на дифференцированный зачет.....	63
Список тестовых вопросов, выносимых на зачет.....	65
Словарь терминов.....	81
Список литературы.....	86

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

БПК – биологическое потребление кислорода;

Д – доза;

Ж – жесткость;

М – мутность;

ПАВ – поверхностно-активные вещества;

ПИ – противоионы;

ПОИ – потенциалопределяющие ионы;

Ц – цветность.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Цель изучения дисциплины «Технология очистки промышленных сбросов» - овладение знаниями научных основ и основных технологических приёмов очистки и обезвреживания сбросов на промышленных предприятиях.

Задачи изучения дисциплины: формирование системы знаний физико-химических основ современных методов очистки воды, а также комплекса знаний и умений, необходимых для проведения научных исследований в данном направлении, создания современных технологий водоподготовки и очистки сточных вод и квалифицированного управления существующими технологическими процессами.

Дисциплина «Технология очистки промышленных сбросов» является вариативной дисциплиной основных образовательных программ бакалавра по направлениям подготовки 05.03.06 Экология и природопользование и 20.03.02 Природообустройство и водопользование.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных студентами при освоении следующих дисциплин: «Высшая математика», «Физика», «Техническая химия», «Лабораторный химический анализ», «Химические методы анализа водных объектов», «Теоретические основы химических процессов».

В результате изучения дисциплины студент должен

знать:

- теоретические основы современных методов кондиционирования и очистки воды;
- основные подходы по организации ресурсосберегающих малоотходных технологий водопользования, водоподготовки и водоочистки;
- основные тенденции развития науки в этих направлениях;

уметь:

- проводить исследования по основным направлениям водоочистки, анализировать полученные результаты, выбирать направления внедрения полученных результатов в реальные технологии, разрабатывать технологические решения проблем водоочистки, реализовывать процесс очистки воды на практике;

владеть:

- основными методами технического анализа загрязнения окружающей среды, навыками выполнения научно-практических работ по выбранной специальности.

Дисциплина состоит из 7-ми разделов, в которых рассмотрены наиболее важные методы очистки воды от загрязнений, включая коагуляцию, флокуляцию, флотацию, адсорбцию, ионный обмен, мембранные и деструктивные методы очистки воды.

Показатели качества воды. Основные показатели качества хозяйственно-питьевых и технических вод. Классификация загрязнений по дисперсному составу. Требования к качеству воды различного назначения.

Реагентные методы очистки воды. Коллоидные частицы, строение, физическое объяснение стабильности коллоидных систем. Теория стойкости ионстабилизированных коллоидных систем. Условия коагуляции лиофобных коллоидных систем. Гетерокоагуляция и взаимная коагуляция. Молекулярно-кинетическая, гравитационная и градиентная коагуляция. Классификация флокулянтов. Свойства водных растворов флокулянтов. Механизм флокуляции.

Адсорбция и ионный обмен в очистке воды. Адсорбенты. Изотерма адсорбции растворенного вещества. Оценка основных технологических параметров адсорбционной очистки воды. Изменение химического потенциала компонента при его адсорбции из раствора. Регенерация адсорбентов. Кинетика и динамика адсорбции органических веществ из водных растворов. Уравнение Шилова. Селективность ионитов. Теория Грегора. Определение емкости ионита в статических условиях. Определение емкости ионита в динамических условиях. Регенерация ионита.

Очистка воды флотацией. Классификация методов адсорбционной пузырьковой сепарации. Физико-химические основы электрофлотации. Физико-химические основы пенной флотации. Физико-химические основы пенного фракционирования.

Мембранные методы очистки воды. Селективность и производительность мембран. Стабильные характеристики мембраны. Баромембранные процессы. Мембранные процессы с использованием непористых мембран. Механизм полупроницаемости мембран.

Очистка воды деструктивными методами. Окислительно-восстановительные процессы с использованием химических реагентов. Окисление примесей в воде с помощью кислорода. Электрохимическое окисление и радиационная очистка воды.

Принципиальные технологические схемы водоподготовки. Принципиальная технологическая схема реагентного умягчения воды. Принципиальная технологическая схема ионообменного обессоливания воды. Принципиальная технологическая схема очистки сточных вод.

1. УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ

1.1. Теоретические сведения

Умягчение воды – это процесс удаления из воды солей жесткости.

Жёсткость воды - совокупность свойств, обусловленных содержанием в воде ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Суммарная концентрация ионов Ca^{2+} (кальциевая жесткость воды) и Mg^{2+} (магниева жесткость воды) называется общей жесткостью воды. Различают жесткость временную карбонатную и некарбонатную. Карбонатная жесткость воды соответствует той части ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , которая эквивалентна содержащимся в воде гидрокарбонат-ионам.

Различают следующие типы воды (по жесткости):

- очень мягкие - 0...1,5 мг-экв/ дм³;
- мягкие - 1,5... 3,0 мг-экв/л;
- среднежесткие - 3,0... 4,5 мг-экв/ дм³;
- довольно жесткие - 4,5...6,5 мг-экв/ дм³;
- жесткие - 6,5...11,0 мг-экв/ дм³;
- очень жесткие - свыше 11,0 мг-экв/ дм³.

Присутствие в воде значительного количества солей кальция или магния делает воду непригодной для многих технических целей. Так, при продолжительном питании паровых котлов жесткой воды их стенки постепенно покрываются плотной коркой накипи. Такая корка уже при толщине слоя в 1 мм сильно понижает передачу теплоты стенками котла и, следовательно, ведет к увеличению расхода топлива. Кроме того, она может служить причиной образования вздутий и трещин, как в кипятильных трубах, так и на стенках самого котла. Жесткой водой нельзя пользоваться при проведении некоторых технологических процессов, например при крашении.

Приведенные выше примеры указывают на необходимость удаления из воды, применяемой для технических целей, солей кальция и магния. Удаление этих солей, называемое водоумягчением, входит в систему водоподготовки – обработки природной воды, используемой для питания паровых котлов и для различных технологических процессов.

Предъявляемые в промышленности требования к качеству потребляемой воды определяются специфическими условиями тех или иных технологических процессов. Так, в охлаждающих водооборотных системах общая жесткость воды должна быть в пределах 1,5-7,0 мг-экв/дм³, карбонатная жесткость - 1,5-3,0 мг-экв/дм³. Требования к качеству воды для подпитки систем охлаждения зависят от типа системы:

Показатель	Для оборотных систем	Для замкнутых систем
Жесткость временная	2 мг-экв/дм ³	0,9 мг-экв/дм ³
Жесткость общая	4 мг-экв/дм ³	1,9 мг-экв/дм ³

Содержание ионов жесткости в энергетической воде должно быть в пределах - 0,003...0,3 мг-экв/дм³. Общая жесткость воды хозяйственно-питьевого назначения не должна превышать 7 мг-экв/дм³.

Умягчение и обессоливание воды – это основные процессы водоподготовки, которые состоят в удалении солей кальция, магния и других металлов. Различают физические, физико-химические и химические способы умягчения воды.

Физические способы – термический (кипячение), дистилляция и вымораживание.

Термическим способом удаляют соли временной жесткости. Способ основан на нагреве воды, устраняет только временную (карбонатную) жесткость. Находит применение в быту. В промышленности применяется, например, на ТЭЦ.

При длительном кипячении растворимые $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ переходят в нерастворимые соединения и выпадают в осадок. Поэтому карбонатную жесткость называют также временной жесткостью. Количественно временную жесткость характеризуют содержанием гидрокарбонатов, удаляющихся из воды при её кипячении в течение часа. Жесткость, остающаяся после такого кипячения, называется постоянной.



Дистиллированную воду, не содержащую солей, получают перегонкой на специальных дистилляционных установках. Она необходима для приготовления химически чистых реактивов, лекарственных препаратов, в лабораторной практике и т.п. Вымораживание основано на различии температур кристаллизации воды и примеси.

Физико-химические способы – электрохимические, основанные на применении электролиза, электроосмоса, электрокоагуляции, и ионитовые (ионообменные), получившие широкое распространение.

Химический способ умягчения воды заключается в обработке ее растворами некоторых химических соединений с целью связывания ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и других в нерастворимые и легко удаляемые соединения. Этот метод оправдан при относительно больших расходах воды, поскольку связан с решением ряда специфических проблем: фильтрации осадка, точной дозировки реагента. Добавлением гашёной извести устраняют временную (карбонатную) жесткость. Добавлением соды - постоянную (некарбонатную) жесткость.

В целях одновременного устранения обоих видов жесткости применяют смесь гашёной извести и соды – содово-известковый метод. Лучшим реагентом для устранения общей жесткости воды является ортофосфат на-

трия Na_3PO_4 . Ортофосфаты кальция и магния очень плохо растворимы в воде, поэтому достигается лучшее умягчение воды.

Несмотря на то, что водные ресурсы относятся к категории возобновляемых, их интенсивное использование в отдельных районах и на некоторых производствах нередко неоправданно завышено, что приводит к возникновению их дефицита и, как следствие, тормозит экономическое и социальное развитие данной территории. Практически во всех видах водопотребления имеются существенные резервы экономии водных ресурсов. Особенно велики они в промышленности. Для большинства промышленных производств требования к качеству используемой воды значительно менее жесткие, чем к составу вод, подлежащих сбросу в водный объект или в городскую систему водоотведения. Поэтому производственные сточные воды гораздо выгоднее направлять на повторное использование в системах оборотного и последовательного водоснабжения, чем подвергать очистке, удовлетворяющей условиям сброса. В системах *оборотного* водоснабжения вода, использованная в технологическом процессе, после соответствующей обработки многократно используется для производственных нужд. В системах *последовательного* водоснабжения вода, использованная в одном технологическом процессе, после обработки или без таковой направляется для использования в другом технологическом процессе или на другом производстве. Обработка воды обеспечивает поддержание ее свойств в соответствии с требованиями конкретного технологического процесса, что достигается охлаждением или очисткой от излишнего содержания взвешенных веществ или плавающих примесей, повышенной минерализации и т.д. Наибольшее распространение оборотные системы водоснабжения получили в теплообменных циклах, где технологическая вода используется для отведения излишнего тепла от работающих агрегатов, после чего сама подается на охлаждение. Охлаждение воды происходит в градирнях (рис. 1) или в брызгательных бассейнах (рис. 2).

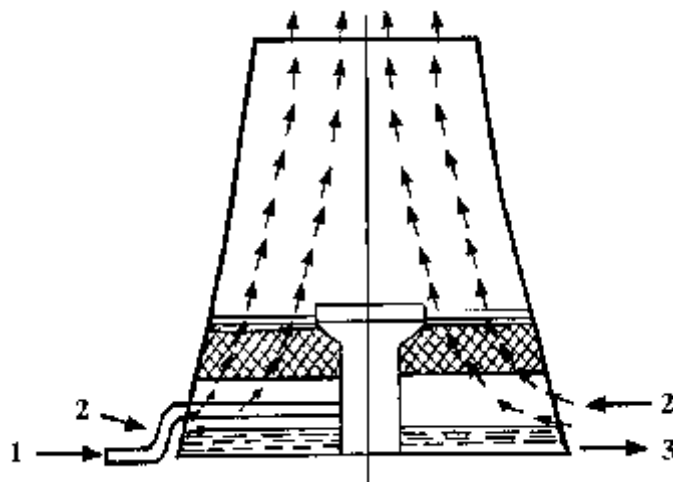


Рисунок 1 – Градирня башенного типа:

1 – нагретая вода; 2 – подача воздуха; 3 – охлажденная вода

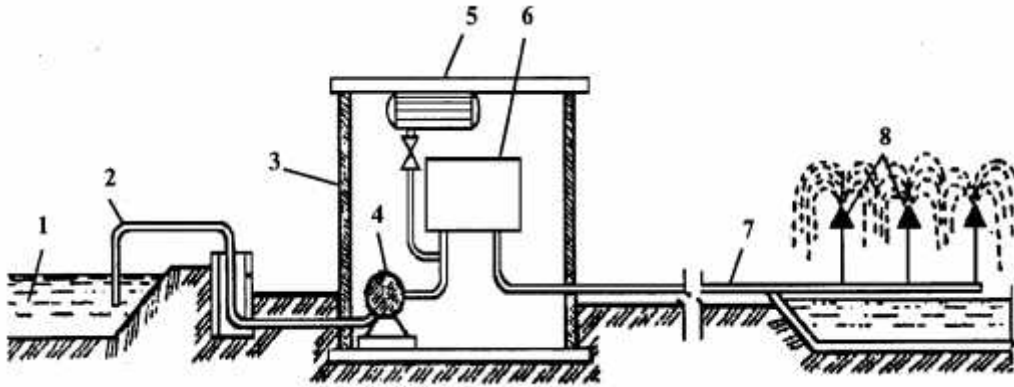


Рисунок 2 – Брызгательный бассейн:

- 1 – бассейн с охлажденной водой; 2 – водозабор; 3 – здание насосной;
 4 – насос; 5 – запасной бак; 6 – конденсатор;
 7 – трубопровод нагретой воды; 8 – фонтаны

В процессе охлаждения 2 – 3 % воды испаряется или разбрызгивается. Кроме того, из-за негерметичности теплообменной или водопроводной сети имеют место утечки воды. Поэтому оборотные системы должны постоянно пополняться свежей водой. За счет испарения в оборотном цикле возрастают минерализация и жесткость воды, что приводит к отложению солей (карбонатов кальция и магния) на стенках теплообменной аппаратуры и водопроводных труб.

Для снижения минерализации и жесткости воды в оборотной системе часть технологической воды (8 – 10 %) периодически заменяют свежей. Этот процесс называется *продувочным* циклом. Для повторного использования технологической воды, которая имела контакт с сырьем или готовой продукцией, ее подвергают очистке в соответствии с требованиями технологического процесса. Обратное водоснабжение позволяет в десятки раз уменьшить потребление свежей воды. Так, например, в производстве синтетического каучука при прямоточной системе водоснабжения на каждую тонну продукции расходуется 2100 м³ воды, при оборотной системе добавка свежей воды составляет 165 м³ на 1 т каучука.

Допустимый уровень жесткости или содержание других солей в свежей воде, подаваемой на подпитку системы, определяют из условий сохранения постоянного состава оборотной воды, которая циркулирует в системе:

$$Q_{св.} \cdot Ж_{доп.} = (Q_{к.в.} + Q_{п.п.} + Q_{продув.}) \cdot Ж_{об.} \quad (1.3)$$

где $Ж_{доп.}$ – жесткость свежей воды;

$Ж_{об.}$ – жесткость воды в оборотной системе;

$Q_{к.в.}$ – потери воды за счет капельного выноса;

$Q_{п.п.}$ – производственные потери воды;

$Q_{продув.}$ – сброс воды на продувку системы;

$Q_{св.}$ – подача свежей воды на подпитку.

[illegible]

Задание 2.

Определить допустимый уровень жесткости ($J_{\text{доп.}}$) свежей воды, подаваемой на подпитку водооборотной системы охлаждения, в зависимости от объема воды сбрасываемого на продувку системы. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Исходные данные для расчета допустимого уровня жесткости в воде, подаваемой на подпитку водородной системы

№ варианта	Общий объем системы, $W, \text{м}^3$	$J_{\text{об.}}$, мг-экв/дм ³	$Q_{\text{к.в.}}$, м ³ /сут	$Q_{\text{исп.}}$, м ³ /сут	$Q_{\text{п.п.}}$, м ³ /сут	$Q_{\text{продув.}}$, м ³ /сут		
1	40000	5,0	0,3% W	2,0% W	0,9% W	0	4% W	8% W
2	50000	5,1	0,4% W	2,1% W	0,8% W	0	5% W	10% W
3	30000	4,8	0,5% W	2,5% W	1,0% W	0	6% W	12% W
4	70000	4,6	0,4% W	2,4% W	1,1% W	0	3% W	6% W
5	100000	4,5	0,3% W	2,3% W	1,2% W	0	4% W	8% W
6	80000	4,7	0,3% W	2,3% W	1,0% W	0	5% W	10% W
7	120000	5,2	0,4% W	2,5% W	0,9% W	0	7% W	14% W
8	90000	5,5	0,5% W	2,5% W	0,8% W	0	10% W	20% W
9	25000	5,3	0,5% W	2,6% W	0,7% W	0	3% W	6% W
10	140000	5,4	0,5% W	2,6% W	0,6% W	0	4% W	8% W
11	60000	4,7	0,4% W	2,5% W	0,9% W	0	3% W	7% W
12	50000	4,9	0,4% W	2,4% W	1,0% W	0	4% W	7% W
13	45000	5,2	0,5% W	2,5% W	1,0% W	0	3% W	6% W
14	95000	4,6	0,3% W	2,4% W	1,1% W	0	5% W	9% W
15	110000	4,3	0,4% W	2,5% W	1,2% W	0	5% W	10% W
16	35000	4,4	0,4% W	2,3% W	1,3% W	0	5% W	11% W
17	65000	4,2	0,3% W	2,5% W	1,4% W	0	4% W	8% W
18	48000	4,7	0,5% W	2,4% W	1,1% W	0	4% W	9% W
19	95000	5,1	0,5% W	2,3% W	1,4% W	0	4% W	10% W
20	105000	5,0	0,3% W	2,1% W	1,1% W	0	5% W	9% W

1.3. Примеры решения задач

Пример решения задачи 1:

Определить степень умягчения воды (Z , %) с начальной жесткостью 4,7 мгэкв/ дм³, при доведении рН до 9,0, если при определении остаточной жесткости на титрование пробы воды объемом 50 мл пошло 1,3 мл 0,1 н трилона Б.

Дано:

$J_0 = 4,7$ мгэкв/ дм³

рН=9,0

$V_{\text{т.}} = 1,3$ мл

$C_{\text{т}} = 0,1$ н

$V_{\text{пр}} = 50$ мл

$Z = ?$

Решение:

Общую жесткость воды определяют комплексометрическим методом, который основан на свойстве трилона Б связывать ионы кальция и магния в комплексные соединения, оптимальным условием образования которых является $pH = 8...10$.

В качестве индикаторов при комплексометрическом титровании применяют различные органические вещества, в основном красители, образующие комплексы с ионами определяемых металлов (металлоиндикаторы). Наибольшее распространение получили хромоген черный ЕТ-00, кислотный хром темно-синий и мурексид.

Остаточную жесткость воды рассчитывают по формуле (1):

$$Ж_{ост} = \frac{C_T \cdot V_T \cdot 1000}{V_{пр}}, \text{ мг - экв / дм}^3 \quad (1)$$

где C_T – концентрация (нормальность использованного раствора трилона Б ($C_T = 0,1 \text{ Н}$);

V_T – объем трилона Б, мл, израсходованного на титрование;

$V_{пр}$ – объем пробы воды взятой на анализ, $V_{пр} = 50 \text{ мл}$;

1000 – коэффициент пересчета в мг-экв/ дм³.

Степень умягчения воды (Z , %) рассчитывают по формуле (2):

$$Z = \left(1 - \frac{Ж_{ост}}{Ж_0}\right) \cdot 100, \% \quad (2)$$

$$Ж_{ост} = \frac{C_T \cdot V_T \cdot 1000}{V_{пр}} = \frac{0,1 \cdot 13 \cdot 1000}{50} = 2,6, \text{ мг - экв / дм}^3$$

$$Z = \left(1 - \frac{2,6}{4,7}\right) \cdot 100 = 44,7\%$$

Ответ: 44,7 %.

Пример решения задачи 2:

Определить допустимый уровень жесткости ($Ж_{доп.}$) свежей воды, подаваемой на подпитку водооборотной системы охлаждения, если общий объем системы, W - 92000 м³; жесткость воды в оборотной системе, $Ж_{об.}$, 4,5 мг-экв/дм³; потери воды за счет капельного выноса, $Q_{к.в.}$ - 0,3% W м³/сут; потери воды на испарение, $Q_{исп.}$ - 2,5% W м³/сут, производственные потери воды, $Q_{п.п.}$ 1,0% W м³/сут; сброс воды на продувку системы, $Q_{продув.}$ - 4% W м³/сут.

Дано:

$$W = 92000 \text{ м}^3$$

$$Ж_{об.} = 4,5 \text{ мг-экв/дм}^3$$

$$Q_{к.в.} = 0,3\% W \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$Q_{исп.} = 2,5\% W \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$Q_{п.п.} = 1,0\% W \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$Q_{продув.} = 4\% W \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$Ж_{доп.} = ?$$

Решение:

$$Q_{к.в.} = 0,003 \cdot 92000 = 276 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

$$Q_{исп.} = 0,025 \cdot 92000 = 2300 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

$$Q_{п.п.} = 0,01 \cdot 92000 = 920 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

$$Q_{продув.} = 0,04 \cdot 92000 = 3680 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

$$Ж_{доп.} = \frac{(Q_{к.в.} + Q_{п.п.} + Q_{продув.}) \cdot Ж_{об.}}{Q_{к.в.} + Q_{п.п.} + Q_{продув.} + Q_{исп.}} = \frac{(276 + 920 + 3680) \cdot 4,5}{276 + 920 + 3680 + 2300} = 3,06 \text{ мг-экв / дм}^3$$

Ответ: 3,06 мг-экв/дм³.

2. КОАГУЛИРОВАНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ВОДЕ

2.1. Теоретические сведения

В подавляющем большинстве случаев в процессах водоподготовки и очистки сточных вод возникает проблема удаления из воды взвешенных мелкодисперсных частиц и коллоидных примесей.

Большинство веществ, которые обуславливают мутность и цветность воды, находятся в ней в коллоидном состоянии. Для осветления и обесцвечивания воды используют методы обработки, которые базируются на применении реагентов (коагулянтов и флокулянтов), обеспечивающих переведение в осадок коллоидно-дисперсных примесей и загрязнений.

Коагулянты – это соли алюминия и железа, способные гидролизываться в воде с образованием золь гидроксидов, которые могут коагулировать со взвешенными и коллоидными частичками, присутствующими в воде.

Кроме коагуляции, процессы осветления воды интенсифицируют за счет адсорбции и адгезии примесей на развитой поверхности гидроксидов металла.

Укрупнение примесей, которые находятся в воде, сопровождается повышением их гидравлической крупности, что повышает эффективность отстаивания, а также эффективность фильтрования, за счет улучшенной адгезии дисперсных и коллоидных частичек к фильтрующей загрузке.

Коллоидные системы. Коллоидные системы относятся к *дисперсным системам* – системам, где одно вещество в виде частиц различной величины распределено в другом. Дисперсные системы чрезвычайно многообразны; практически всякая реальная система является дисперсной. Дисперсные системы классифицируют прежде всего по размеру частиц дисперсной фазы (или степени дисперсности); кроме того, их разделяют на группы, различающиеся по природе и агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды.

Если дисперсионной средой является жидкость, а дисперсной фазой – твердые частицы, система называется взвесью или *суспензией*; если дисперсная фаза представляет собой капельки жидкости, то систему называют *эмульсией*. Эмульсии, в свою очередь, подразделяют на два типа: *прямые*, или "*масло в воде*" (когда дисперсная фаза – неполярная жидкость, а дисперсионная среда – полярная жидкость) и *обратные*, или "*вода в масле*" (когда полярная жидкость диспергирована в неполярной). Среди дисперсных систем выделяют также *пены* (газ диспергирован в жидкости) и *пористые тела* (твердая фаза, в которой диспергированы газ либо жидкость).

По степени дисперсности выделяют обычно следующие классы дисперсных систем:

Грубодисперсные системы – системы, размер частиц дисперсной фазы в которых превышает 10^{-7} м.

Коллоидные системы – системы, размер частиц дисперсной фазы в которых составляет $10^{-7} - 10^{-9}$ м. Коллоидные системы характеризуются гетерогенностью, т.е. наличием поверхностей раздела фаз и очень большим значением удельной поверхности дисперсной фазы. Это обуславливает значительный вклад поверхностной фазы в состояние системы и приводит к появлению у коллоидных систем особых, присущих только им, свойств.

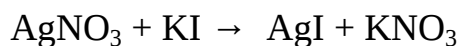
Иногда выделяют молекулярно(ионно)-дисперсные системы, которые, строго говоря, являются истинными растворами, т.е. гомогенными системами, поскольку в них нет поверхностей раздела фаз.

Коллоидные системы, в свою очередь, подразделяются на две группы, резко отличные по характеру взаимодействий между частицами дисперсной фазы и дисперсионной среды – *лиофобные коллоидные растворы (золи)* и растворы высокомолекулярных соединений (ВМС), которые ранее называли *лиофильными коллоидами*. К лиофобным коллоидам относятся системы, в которых частицы дисперсной фазы слабо взаимодействуют с дисперсионной средой; эти системы могут быть получены только с затратой энергии и устойчивы лишь в присутствии стабилизаторов.

Растворы ВМС образуются самопроизвольно благодаря сильному взаимодействию частиц дисперсной фазы с дисперсионной средой и способны сохранять устойчивость без стабилизаторов. Леофобные коллоиды и растворы ВМС различаются также и структурой частиц, составляющих дисперсную фазу. Для лиофобных коллоидов *единицей структуры* является сложный многокомпонентный агрегат переменного состава – *мицелла*, для растворов ВМС – *макромолекула*.

Строение коллоидной мицеллы. Леофобные коллоиды обладают очень высокой поверхностной энергией и являются поэтому термодинамически неустойчивыми; это делает возможным самопроизвольный процесс уменьшения степени дисперсности дисперсной фазы (т.е. объединение частиц в более крупные агрегаты) – *коагуляцию зольей*. Тем не менее золям присуща способность сохранять степень дисперсности – *агрегативная устойчивость*, которая обусловлена, во-первых, снижением поверхностной энергии системы благодаря наличию на поверхности частиц дисперсной фазы двойного электрического слоя и, во-вторых, наличием кинетических препятствий для коагуляции в виде электростатического отталкивания частиц дисперсной фазы, имеющих одноименный электрический заряд.

Строение структурной единицы леофобных коллоидов – *мицеллы* – может быть показано лишь схематически, поскольку мицелла не имеет определенного состава. Рассмотрим строение коллоидной мицеллы на примере *гидрозоля иодида серебра*, получаемого взаимодействием разбавленных растворов нитрата серебра и иодида калия:



Коллоидная мицелла золя иодида серебра (рис. 3) образована микрокристаллом иодида серебра, который способен к избирательной адсорбции из окружающей среды катионов Ag^+ или иодид-ионов. Если реакция проводится в избытке иодида калия, то кристалл будет адсорбировать иодид-ионы; при избытке нитрата серебра микрокристалл адсорбирует ионы Ag^+ . В результате этого микрокристалл приобретает отрицательный либо положительный заряд; ионы, сообщающие ему этот заряд, называются *потенциалопределяющими*, а сам заряженный кристалл – *ядром мицеллы*. Заряженное ядро притягивает из раствора ионы с противоположным зарядом – *противоионы*; на поверхности раздела фаз образуется двойной электрический слой. Некоторая часть противоионов адсорбируется на поверхности ядра, образуя т.н. *адсорбционный слой противоионов*; ядро вместе с адсорбированными на нем противоионами называют *коллоидной частицей* или *гранулой*. Остальные противоионы, число которых определяется, исходя из правила электронейтральности мицеллы, составляют *диффузный слой противоионов*; противоионы адсорбционного и диффузного слоев находятся в состоянии динамического равновесия адсорбции – десорбции.

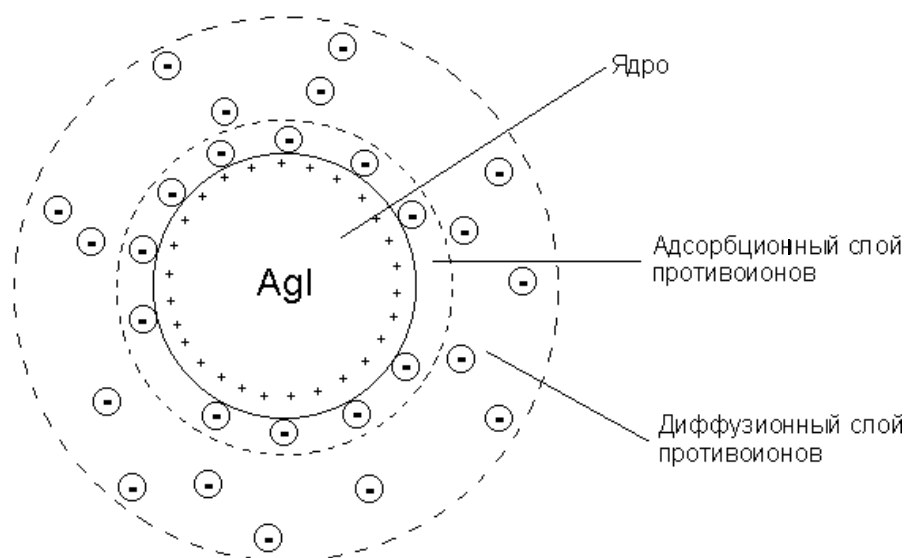
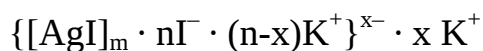
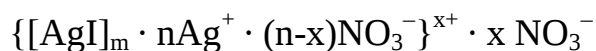


Рисунок 3 - Строение коллоидной мицеллы

Схематически мицелла золя иодида серебра, полученного в избытке иодида калия (потенциалопределяющие ионы – анионы I^- , противоионы – ионы K^+) может быть изображена следующим образом:



При получении золя иодида серебра в избытке нитрата серебра коллоидные частицы будут иметь положительный заряд:



Агрегативная устойчивость зелей обусловлена, таким образом, рядом факторов: во-первых, снижением поверхностной энергии дисперсной фазы (т.е. уменьшения движущей силы коагуляции) в результате образования двойного электрического слоя и, во-вторых, наличием кинетических препятствий для коагуляции в виде электростатического отталкивания имеющих одноименный заряд коллоидных частиц и противоионов. Еще одна причина устойчивости коллоидов связана с процессом гидратации (сольватации) ионов. Противоионы диффузного слоя сольватированы; эта оболочка из сольватированных противоионов также препятствует слипанию частиц.

Гетерокоагуляция, взаимная коагуляция, молекулярно-кинетическая, гравитационная и градиентная коагуляция. Реальные водные растворы, суспензии содержат коллоидные частицы с разными размерами и поверхностными потенциалами и являются полидисперсными системами. Эти воды являются гетерофазными системами, содержат несколько твердых или нерастворимых в воде жидких фаз, которые характеризуются разными степенями дисперсности и поверхностными потенциалами частиц.

Коагуляция в таких гетерофазных полидисперсных системах называется *гетерокоагуляцией*.

В данном случае стабильность коллоидных систем зависит от соотношения сил межмолекулярного притяжения и сил электростатического взаимодействия.

Электростатические силы могут быть силами отталкивания, если знаки зарядов коллоидных частиц одинаковые, или силами притяжения - если знаки противоположные.

Если знаки зарядов коллоидных частиц одинаковы, а величины зарядов этих частиц разные, то стабильность коллоидной системы определяется величиной поверхностного потенциала частицы с меньшим значением заряда (с низшим поверхностным потенциалом).

На процесс гетерокоагуляции в значительной мере влияет энергия взаимодействия коллоидных частиц с растворителем. Если энергия взаимодействия незначительная, что характерно для большинства лиофобных зелей, то основными силами, которые определяют стабильность систем, будут силы Ван-дер-Ваальса.

В том случае, если энергия взаимодействия коллоидных частиц с растворителем высока, именно она в значительной степени определяет стабильность коллоидных систем. При этом в данном растворе возможно изменение знака сил взаимодействия коллоидных частиц на противоположный. При одинаковых знаках зарядов и при высокой энергии взаимодействия с растворителем сила отталкивания может изменяться на силу притяжения. Такое бывает редко.

Одним из видов гетерокоагуляции является взаимная коагуляция. *Взаимная коагуляция* - это взаимодействие коллоидных частиц с противоположными знаками зарядов. В этом случае происходит быстрая коагуляция, так как и силы Ван-дер-Ваальса и электростатические силы направлены на притяжение частиц между собою.

Взаимная коагуляция, являющаяся отдельным процессом, состоит в агрегации разноименно заряженных частиц. Теория гетерокоагуляции создана Б.В.Дерягиным на основе общего подхода теории ДЛФО, то есть учета баланса сил притяжения и отталкивания между частичками.

Основные выводы этой теории:

- электростатические силы взаимодействия разноименно заряженных поверхностей изменяют знак и при всех расстояниях между частицами становятся силами притяжения;
- последние прибавляются к силам молекулярного притяжения и служат причиной быстрой коагуляции при любых концентрациях электролита.

Этот процесс широко применяют на практике для разрушения дисперсных систем, например, во время очистки воды.

Взаимная коагуляция наиболее эффективно проходит при равенстве зарядов и концентраций противоположно заряженных коллоидных частиц. Из-за отсутствия этого равенства процесс коагуляции проходит неэффективно или вообще не наступает. При большой разности в знаках зарядов частиц коагуляция остановится при образовании определенных конгломератов (агрегатов).

Большинство природных коллоидов заряжены отрицательно. Это кремниевая кислота, мелкие глинистые и грунтовые частички, гумусовые вещества. Глинистые грунтовые взвеси состоят из гидроалюмосиликатов общей формулы $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$. Глинистые и гуминовые вещества лучше коагулируют при снижении pH среды.

Большинство веществ, которые определяют мутность и цветность воды, являются гидрофобными или слабо гидрофильными коллоидами. При гидролизе коагулянтов также получают гидрофобные или слабогидрофильные коллоиды.

Сближение частиц на расстояние, при котором они коагулируют, достигается за счет броуновского движения, или направленного перемещения частиц, которые двигаются с резкой скоростью под действием силы тяжести, а также за счет разной скорости движения частиц в разных направлениях при перемешивании воды.

Если сближение частиц происходит за счет броуновского движения, то процесс коагуляции называют *молекулярно-кинетической коагуляцией*. Молекулярно-кинетическая коагуляция ускоряется при несимметричной форме частиц, при полидисперсности золя. По мере укрупнения частиц скорость коагуляции снижается.

Коагуляция за счет направленного перемещения частиц с разной скоростью под действием силы тяжести называется *гравитационной коагуляцией*. Скорость процесса увеличивается при полидисперсности систем, при развитой поверхности частиц золя коагулянта.

Градиентная коагуляция наблюдается в моно- и полидисперсных системах при условии, что размер некоторых частиц превышает критический размер 2-3 мкм. В этом случае перемешивание, которое приводит к неравномерному движению отдельных потоков воды, обуславливает столкновение и слипание частиц на границе макро- и микропотоков.

При увеличении интенсивности перемешивания скорость градиентной коагуляции возрастает до определенного предела. За этим пределом скорости перемешивания макро- и микропотоков таковы, что разность в скоростях движения разных потоков приводит к разрушению хлопьев. Скорость перемешивания оптимальна, когда образование и разрушение хлопьев происходит с одинаковой интенсивностью. При этом достигаются оптимальные размеры хлопьев. Для природной воды – это 30-60 актов в 1 с. Аналогично влияет и продолжительность перемешивания.

2.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета

Задание 3.

Определить необходимый объем раствора коагулянта (V_k) в зависимости от его концентрации (C_k), объема обрабатываемой воды (V) и выбранной дозы коагулянта (D_k). Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Зависимость объема раствора коагулянта в зависимости от объема обрабатываемой воды и дозы коагулянта

№ вар.	C_k , мг/дм ³	V , дм ³	D_k , мг/дм ³						V_k , см ³ (мл)					
			Проба						Проба					
			1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1000	0,2	5	10	15	20	25	30						
2	2000	0,9	2	7	15	20	25	30						
3	500	0,5	10	15	20	25	30	35						
4	1000	0,6	20	25	30	40	50	70						
5	500	0,4	20	40	60	80	100	120						
6	1000	0,8	5	15	25	40	50	70						
7	1500	0,8	5	10	20	30	40	50						
8	1000	0,9	50	70	100	150	200	250						
9	700	0,8	5	10	30	50	70	100						
10	800	1,0	10	20	30	50	70	100						
11	900	0,9	10	20	30	40	50	60						
12	1100	0,7	20	30	40	50	60	70						
13	1200	0,5	5	10	20	40	60	80						
14	1000	0,4	10	20	40	80	120	160						
15	900	0,8	5	15	25	35	50	60						
16	500	0,2	20	30	40	70	90	100						

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
17	800	0,4	15	30	45	70	100	150						
18	700	0,47	20	40	60	100	140	180						
19	600	0,5	5	10	20	30	50	70						
20	1000	0,5	10	20	30	40	50	70						

Задание 4.

Определить степень осветления воды (Z^1 , %) и степень ее обесцвечивания (Z^2 , %) в зависимости от исходной мутности (M_0) и цветности воды (C_0), мутности ($M_{\text{ост}}$) и цветности ($C_{\text{ост}}$) очищенной воды.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 4.

Методические рекомендации для выполнения расчетов.

Степень осветления воды рассчитывают по формуле (3):

$$Z^1 = \left(1 - \frac{M_{\text{ост}}}{M_0}\right) \cdot 100, \% \quad (3)$$

Степень обесцвечивания воды рассчитывают по формуле (4):

$$Z^2 = \left(1 - \frac{C_{\text{ост}}}{C_0}\right) \cdot 100, \% \quad (4)$$

2.3. Примеры решения задач**Пример решения задачи 3:**

Определить необходимый объем раствора коагулянта (V_k), если концентрация коагулянта C_k , 1100 мг/дм³, объем обрабатываемой воды V , 0,9 дм³, доза коагулянта (D_k) – 20 мг/дм³.

Дано:

$$C_k = 1100 \text{ мг/дм}^3$$

$$V = 0,9 \text{ дм}^3$$

$$D_k = 20 \text{ мг/дм}^3$$

$$V_k = ?$$

Решение:

$$C_k \cdot V_k = D_k \cdot V, \text{ отсюда } V_k = \frac{D_k \cdot V}{C_k}, \text{ мл}$$

$$V_k = \frac{20 \cdot 0,9 \cdot 1000}{1100} = 16 \text{ мл}$$

Ответ: 16 мл.

Таблица 4 - Исходные данные для расчета степени осветления (Z^1) и степени умягчения воды, в зависимости от остаточной мутности ($M_{\text{ост}}$) и цветности ($\Pi_{\text{ост}}$) воды

[illegible]

Пример решения задачи 4:

Определить степень осветления воды (Z^1 , %) и степень ее обесцвечивания (Z^2 , %) если исходная мутность раствора (M_0) составляла 120 мг/л, цветность воды (Π_0) - 190 град. После обработки пробы коагулянтом остаточная мутность ($M_{\text{ост}}$) составила - 60 мг/л, цветность ($\Pi_{\text{ост}}$) - 97 град.

Дано:

$M_0=120$ мг/л

$\Pi_0=190$ град

$M_{\text{ост}}= 60$ мг/л

$\Pi_{\text{ост}}= 97$ град

Z^1 , %=? Z^2 , %=?

Решение:

Степень осветления рассчитывают по формуле (3):

$$Z^1 = \left(1 - \frac{60}{120}\right) \cdot 100 = 50\%$$

Степень обесцвечивания рассчитывают по формуле (4):

$$Z^2 = \left(1 - \frac{97}{190}\right) \cdot 100 = 48,95\%$$

Ответ: 50 %, 48,95 %.

3. ФИЛЬТРОВАНИЕ ВОДЫ

3.1. Теоретические сведения

При подготовке воды для целей питьевого и хозяйственно-производственного водоснабжения, а также для очистки сточных вод промышленных предприятий в подавляющем большинстве случаев используют фильтровальные сооружения и отдельные установки, основным элементом которых является слой зернистой фильтрующей загрузки (кварцевый песок, измельчённый керамзит, клиноптилолит, антрацит и др.).

Фильтрация – это метод очистки воды от взвешенных веществ при пропускании их через пористый материал. В качестве пористого материала используют различные загрузки, которые состоят из кварцевого песка, дробленого керамзита, антрацита. Фильтрующим материалом могут быть специальные ткани, керамические и стеклянные пористые перегородки, синтетические полимерные мембраны.

На крупных станциях водоподготовки и водоочистки используют зернистую загрузку из кварцевого песка, керамзита и антрацита.

В процессах очистки воды фильтрованием различают два механизма фильтрации. *По первому механизму* загрязнения собираются тонким слоем на поверхности фильтрующего зернистого загрузки или фильтрующего материала. Этот механизм реализуется тогда, когда поры фильтрующего материала меньше, чем размеры взвешенных частиц или фильтрация происходит через намывной слой.

Намывной слой — это тонкий слой мелкодисперсных веществ, который оседает на поверхности фильтрующего материала. Он может формироваться из примесей, которые присутствуют в воде или из примесей, которые специально вносятся в воду. *Второй механизм* реализуется при задержании взвешенных веществ в объеме фильтрующего загрузки. Взвешенные вещества задерживаются за счет адгезии к частицам фильтрующего материала. Данный механизм реализуется при использовании насыпных фильтрующих материалов в скорых фильтрах.

На станциях водоподготовки и очистки сточных вод чаще всего используют насыпные фильтры. Их условно разделяют на медленные и скорые фильтры. При эксплуатации любых фильтров с насыпной загрузкой процесс фильтрации проходит периодически. На первой стадии происходит очистка воды при пропускании через пористый материал до исчерпания грязеемкости фильтров. Этот период называется *фильтрационным циклом*. О завершении фильтрационного цикла судят по проскоку взвешенных веществ или по повышению до критических значений гидравлического сопротивления фильтров. После завершения фильтрационного цикла, фильтры отключают на очистку - это вторая стадия. В случае скорых фильтров их просто промывают интенсивным потоком воды. В отдельных случаях подают вместе с водой

сжатый воздух, то есть реализуется водовоздушная промывка. Подача воды при промывании фильтров может быть снизу вверх и сверху вниз. При очистке медленных фильтров механически снимают верхний намывной слой. После очистки фильтр вновь используют в процессе фильтрования воды. Как правило, на станции есть определенное количество фильтров. Для обеспечения непрерывной работы станции фильтры на очищение отключают поочередно.

Медленные фильтры. Это фильтры, которые работают со скоростью фильтрования $0,1 \dots 0,2$ м/ч. Если концентрация взвешенных веществ не больше 25 мг/дм^3 , тогда скорость фильтрования составит $V = 0,2$ м/ч. Если концентрация взвешенных веществ до 50 мг/дм^3 , тогда скорость фильтрования должна быть до $0,1$ м/ч.

В медленных фильтрах реализуется первый механизм фильтрования, то есть механизм, при котором на поверхности зернистого материала образуется намывной слой из взвешенных веществ и все загрязнения задерживаются на поверхности фильтрующего материала. Достигается это за счет очень медленного фильтрования воды. После механической очистки фильтра намывной слой формируется в течение 1 - 2 суток. После формирования намывного слоя фильтр работает на протяжении нескольких месяцев, и даже лет. По достижению критического гидравлического сопротивления, фильтры отключают на очистку, которая осуществляется механически, и заключается в снятии намывного слоя загрязнения.

Преимуществом фильтров является их высокая эффективность при очистке воды. Они обеспечивают практически полное удаление взвешенных частиц без применения коагулянтов и флокулянтов, при этом они обеспечивают удаление большинства микроорганизмов из воды.

Недостатком является то, что они имеют большую площадь фильтрования (м^2) в результате малой скорости фильтрования, что требует больших капитальных затрат на их строительство. Другим недостатком является то, что их сложно очищать. Механическая очистка осуществляется вручную, именно поэтому медленные фильтры, которые широко использовались до 60-х годов прошлого столетия на станциях водоподготовки, практически полностью заменено на скорые фильтры. Однако в развитых странах возвращаются к использованию медленных фильтров, но их используют не на основной стадии фильтрования, а на стадии доочистки воды. При этом концентрация взвешенных веществ перед скорыми фильтрами находится в пределах $1 - 5 \text{ мг/дм}^3$, что позволяет увеличить фильтроцикл до 2 — 3 лет. В этом случае использование фильтров является рентабельным.

В медленных фильтрах основной слой фильтрующей загрузки имеет толщину $h = 1200$ мм с размерами зерен $d = 0,3 \dots 1$ мм. Поддерживающаяся загрузка состоит из нескольких пластов толщиной 50-150 мм: $h_1 = 50$ мм, $d = 1 \dots 2$ мм; $h_2 = 100$ мм, $d = 2 \dots 4$ мм; $h_3 = 100$ мм, $d = 4 \dots 8$ мм; $h_4 = 100$ мм,

$d = 8...16$ мм; $h_5 = 150$ мм, $d = 16...32$ мм. Высота пласта воды над фильтрующей загрузкой достигает 2 м.

Скорые фильтры. Эти фильтры работают при скорости фильтрования $5...10$ м/ч. В них реализуется второй механизм фильтрования. Загрязнения задерживаются в толщине пласта фильтрующего материала.

Процесс очистки лучше проходит при использовании коагулянтов, которые содействуют повышению адгезии зерен материала с частичками взвешенных веществ. Поверхность зерен кварцевого песка характеризуется отрицательным значением электрокинетического потенциала (ξ). Примеси, которые присутствуют в воде, также характеризуются отрицательным значением ξ -потенциала, поэтому золи, которые образовались при гидролизе коагулянта и имеют положительное значение ξ -потенциала, содействуют связыванию взвешенных веществ с зернами фильтрующего материала.

При применении скорых фильтров станция водоподготовки работает в непрерывном режиме с последовательным поочередным отключением фильтров на промывку. При нормальной работе станции продолжительность фильтроцикла составляет $8...12$ ч, число промывок $n = 2-3$ в сутки. Схема скорого фильтра приведена на рис. 1.

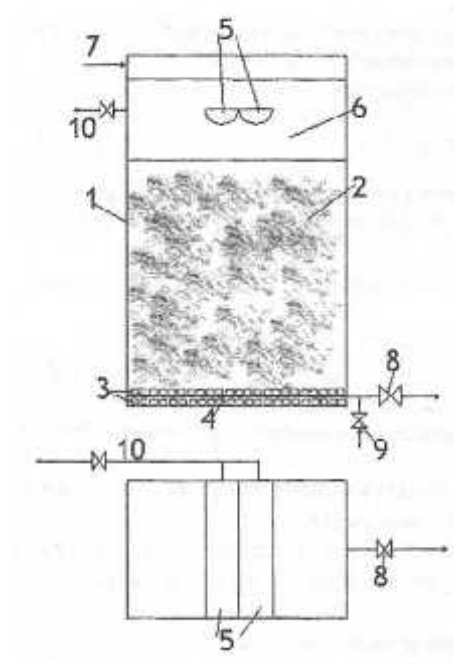


Рисунок 4 – Механический фильтр с зернистой загрузкой: 1 - корпус скорого фильтру; 2 - зернистый фильтрующий материал; 3 - поддерживающая загрузка (щебни, гравий); 4 - дренажная система; 5 - желоба для сбора промывной воды; 6 - пласт воды; 7 - подача воды в фильтр; 8 - вентиль на линии отвода фильтрованной воды; 9 - вентиль на линии подачи воды на промывку; 10 - вентиль на трубопроводе отвода промывной воды

При фильтровании вентили 9 и 10 закрыты, вода проходит через фильтрующий материал и через вентиль 8. При промывании вентиль 8 закрыт. Вода в фильтр не подается. Вентили 9 и 10 открыты. Вода проходит снизу вверх, промывая песок, и через желоба отводится. Желоба размещены на высоте, которая обеспечивает отвод промывной воды и предотвращает вынесение песка и других зернистых материалов через расширение загрузки при промывке.

Дренажная система используется в фильтрах с поддерживающейся загрузкой. Это система перфорированных труб, которые находятся в нижней части фильтра, в слое поддерживающегося загрузки.

В том случае, когда фильтрующая загрузка размещена на металлической сетке, дренажную систему не используют.

Как правило, дренажная система состоит из коллектора и ответвлений. Коллектор — это труба большого диаметра, которая проходит через весь фильтр. К ней присоединены трубы меньшего диаметра, которые перфорированы или имеют отверстия в виде щелей. В том случае, когда поддерживающая загрузка не используется, а дренажная система находится в фильтрующей загрузке, в трубах дренажной системы должны быть щели толщиной не более 0,1 мм и общей площадью всех щелей 1,5...2 % от площади фильтра.

Желоба для сбора промывной воды размещены на расстоянии не более 2,2 м.

Механическая фильтрация является необходимым элементом предварительной очистки воды перед системами обессоливания, будь это обратноосмотическая установка или ионный обмен. От качества механической очистки напрямую зависит эффективность, надежность и долговечность систем обессоливания. Основные функции механической фильтрации заключаются в отделении грубых примесей, в том числе взвешенных твердых веществ, коллоидного железа, органических комплексов, скоплений бактерий и вирусов.

В качестве фильтрующей загрузки широко используется речной или карьерный кварцевый песок.

Кварцевый песок - природный материал, который характеризуется высоким содержанием оксида кремния и незначительным количеством растворимых соединений кальция, железа и марганца. Кварцевый песок инертный, недорогой и широко распространенный материал. Он выгодно отличается мономинеральностью, однородностью по гранулометрическому составу, выдержанной фракцией.

Фильтрующая загрузка является основным рабочим элементом фильтровальных сооружений, поэтому правильный выбор ее параметров имеет первостепенное значение для их нормальной работы. Использование зернистых материалов для извлечения механических примесей из водной среды вызвано особенностью строения их слоя, в котором частицы материала чередуются с пустотами, называемыми порами слоя. Соединяясь между собой, поры слоя образуют поровые каналы, по которым протекает вода. От формы, размера и количества таких каналов в единице объема слоя будет зависеть не только гидравлический режим движения воды, но и качество её очистки.

К кварцевому песку для фильтрации воды, особенно питьевой, предъявляются строгие требования по содержанию кремния (не менее 98%) и

глинистых примесей (их стремятся минимизировать). Регламентируется химическая устойчивость зерен к воздействию с фильтруемой водой и механическая прочность частиц кварцевого песка - насколько легко они измельчаются и стираются.

В зависимости от типа фильтров используется от 2 до 5 разных фракций кварца, для верхних слоев - более крупные частицы, для нижних - мелкий кварцевый песок. Для фильтрации воды, нефтепродуктов и других жидкостей отдается предпочтение средним фракциям песка.

3.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета

Задание 5.

Рассчитать основные геометрические характеристики кварцевого песка по результатам ситового анализа. Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 5. Масса пробы песка 100 г.

Таблица 5 - Результаты ситового анализа пробы песка ($m = 100$ г)

№ варианта	Объем пор, V_p , мл	Объем слоя песка, V_0 , мл	Остаток (г), на сите с диаметром отверстий, d , см						
			0,25	0,41	0,56	0,68	0,80	1,01	1,28
1	24	58	9	6	36	30	6	3	2
2	25	59	8	7	35	31	5	4	3
3	26	60	7	8	37	32	4	3	2
4	27	62	8	4	38	30	6	4	2
5	28	62	9	5	37	32	5	4	2
6	23	57	8	6	36	30	7	3	3
7	24	58	8	7	35	32	6	3	3
8	25	59	9	5	37	31	5	4	2
9	26	60	7	5	38	32	6	3	3
10	24	59	6	7	36	31	7	4	2
11	23	57	8	6	35	31	7	3	2
12	25	60	9	5	36	32	6	3	2
13	26	61	9	3	37	34	7	2	2
14	26	59	8	6	36	32	5	3	2
15	27	62	7	8	35	32	5	3	3
16	28	63	8	7	37	30	6	3	3
17	28	64	7	7	38	29	7	4	3
18	26	61	9	6	36	32	6	4	3
19	24	58	8	7	38	31	5	3	3
20	23	57	7	8	36	30	7	3	3

Задание 6.

По зависимости остаточной мутности воды после фильтрования (C) от высоты слоя загрузки (x) определить коэффициенты в уравнении

$$y = ax + b,$$

где $y = C/C_0$, C_0 – исходная мутность воды; x – высота слоя загрузки.

Для каждого значения рассчитать степень осветления воды по формуле (5):

$$Z = (1 - C/C_0) \cdot 100, \% \quad (5)$$

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 6.

Таблица 6 - Зависимость остаточной мутности воды (C) при исходной мутности (C_0) от высоты слоя загрузки

№ вар.	C_0 , мг/дм ³	Остаточная мутность воды, C, мг/л					
		Высота слоя загрузки, см					
		10	12	14	16	18	20
1	2	3	4	5	6	7	8
1	30	12,0	10,0	8,0	6,0	4,0	1,5
2	50	14,5	12,2	10,0	7,9	6,0	4,1
3	70	22,3	18,0	13,7	10,1	5,9	2,2
4	60	24,3	21,0	18,0	14,8	12,1	8,9
5	40	14,1	11,0	7,9	5,2	1,9	0,0
6	30	16,0	12,9	10,1	6,8	4,2	1,0
7	40	18,1	14,9	12,1	8,8	6,1	2,9
8	80	29,0	25,1	20,8	17,2	12,9	9,0
9	100	32,0	27,1	21,9	16,9	12,2	6,9
10	90	33,0	26,9	21,1	14,9	9,1	3,0
11	80	28,0	24,0	20,2	15,8	12,1	8,2
12	70	29,2	24,0	18,9	14,1	8,9	4,1
13	60	16,0	12,9	10,1	6,8	4,2	1,0
14	50	14,1	11,0	7,9	5,2	1,9	0,0
15	80	22,3	18,0	14,0	10,0	5,8	2,1
16	90	29,0	25,1	20,8	17,2	12,9	9,0
17	110	32,0	27,1	21,9	16,9	12,2	6,9
18	100	24,3	21,0	18,0	14,8	12,1	8,9
19	120	33,0	26,8	21,2	15,0	9,2	3,0
20	50	16,0	12,9	10,1	6,9	4,1	1,0

3.3. Примеры решения задач

Пример решения задачи 5:

Рассчитать основные геометрические характеристики кварцевого песка, если масса пробы песка 100 г, объем пор, $V_{п}$, 23 мл, объем слоя песка, V_0 , 57 мл. По результатам ситового анализа остаток на сите диаметром 0,25 см составил 7 г; 0,41 см – 8 г; 0,56 см – 36 г; 0,68 см – 30 г; 0,80 см – 7 г; 1,01 см – 3 г; 1,28 см – 3 г.

Дано:

$m=100\text{ г};$

$V_{\text{п}}=23\text{ мл}$

$V_0=57\text{ мл}$

$d_1=0,25\text{ см}$ $m_1=7\text{ г}$

$d_2=0,41\text{ см}$ $m_2=8\text{ г}$

$d_3=0,56\text{ см}$ $m_3=36\text{ г}$

$d_4=0,68\text{ см}$ $m_4=30\text{ г}$

$d_5=0,80\text{ см}$ $m_5=7\text{ г}$

$d_6=1,01\text{ см}$ $m_6=3\text{ г}$

$d_7=1,28\text{ см}$ $m_7=3\text{ г}$

Рассчитать основные геометрические характеристики кварцевого песка

Решение:

1. Для проведения расчетов необходимо определить остаток на сите в долях от исходной массы q_i

$$q_i = \frac{m_i}{m}, \quad (6)$$

где m_i – масса остатка на сите определенного диаметра;

m – общая масса навески песка.

$$q_1 = \frac{7}{100} = 0,07$$

$$q_2 = \frac{8}{100} = 0,08$$

$$q_3 = \frac{36}{100} = 0,36$$

$$q_4 = \frac{30}{100} = 0,3$$

$$q_5 = \frac{7}{100} = 0,07$$

$$q_6 = \frac{3}{100} = 0,03$$

$$q_7 = \frac{3}{100} = 0,03$$

2. Диаметр зерен песка (d_i) определяется как среднеарифметическое значение между размерами отверстий сита (d_{0_i}) через которое песок прошел и на котором задержался:

$$d_i = \frac{d_{0_{i+1}} + d_{0_i}}{2}, \text{ см} \quad (7)$$

где $d_{0_{i+1}}$ – диаметр отверстия сита, через которое песок прошел;

d_{0_i} – диаметр сита, на котором песок задержался.

$$d_1 = \frac{0,25 + 0,41}{2} = 0,33 \text{ см}$$

$$d_2 = \frac{0,56 + 0,41}{2} = 0,485 \text{ см}$$

$$d_3 = \frac{0,68 + 0,56}{2} = 0,62 \text{ см}$$

$$d_4 = \frac{0,8 + 0,68}{2} = 0,74 \text{ см}$$

$$d_5 = \frac{1,01 + 0,8}{2} = 0,905 \text{ см}$$

$$d_6 = \frac{1,28 + 1,01}{2} = 1,145 \text{ см}$$

3. Пористость слоя песка (E) рассчитывают как отношение объема пор ($V_{\text{пор}}$) к объему слоя песка (V_c).

$$E = \frac{V_{\text{пор}}}{V_c} \quad (8)$$

$$E = \frac{23}{57} = 0,4$$

4. Средний поверхностный диаметр зерен d рассчитывают по формуле (9):

$$d = \frac{1}{\sum \frac{q_i}{d_i}}, \text{ см} \quad (9)$$

$$d = \frac{1}{\frac{0,07}{0,33} + \frac{0,08}{0,485} + \frac{0,36}{0,62} + \frac{0,3}{0,74} + \frac{0,07}{0,905} + \frac{0,03}{1,145}} = 0,68 \text{ см}$$

5. Удельную поверхность слоя песка (S_0) рассчитывают по формуле (10):

$$S_0 = 6 \sum \frac{q_i}{d_i}, \text{ см}^{-1} (\text{см}^2 / \text{см}^3) \quad (10)$$

$$S_0 = 6 \cdot \left(\frac{0,07}{0,33} + \frac{0,08}{0,485} + \frac{0,36}{0,62} + \frac{0,3}{0,74} + \frac{0,07}{0,905} + \frac{0,03}{1,145} \right) = 8,77 \text{ см}^{-1}$$

6. Эквивалентный диаметр каналов (d_E) рассчитывают по формуле (11):

$$d_E = \frac{4E}{S_0(1-E)}, \text{ см} \quad (11)$$

$$d_E = \frac{4 \cdot 0,4}{8,77 \cdot (1 - 0,4)} = 0,3, \text{ см}$$

7. Коэффициент формы (α_ϕ) (отношение наибольшего размера к наименьшему) рассчитывают по формуле (12):

$$\alpha_\phi = \frac{3d_E(1-E)}{2 \cdot E \cdot d} \quad (12)$$

$$\alpha_\phi = \frac{3 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,4)}{2 \cdot 0,4 \cdot 0,68} = 0,99$$

8. Коэффициент неоднородности (η) рассчитывают по формуле (13):

$$h = \frac{d_{80}}{d_{10}} \quad (13)$$

где d_{80} и d_{10} – диаметры отверстий сит, через которые проходит 80 и 10 % зерен песка;

$$d_{10} = d_m + \frac{(d_{m+1} - d_m)(10 - p_m)}{p_{m+1} - p_m} \quad (14)$$

где d_m – диаметр ближайшего сита, через которое прошло менее 10 % всего материала;

d_{m+1} – тоже, но более 10 %;

p_m – процентное количество материала, который прошел через сито диаметром d_m ;

p_{m+1} – тоже самое для сита диаметром d_{m+1} .

$$d_{80} = d_k + \frac{(d_{k+1} - d_k)(80 - p_k)}{p_{k+1} - p_k} \quad (15)$$

где d_k – диаметр сита, через которое прошло менее 80 % всего материала;

d_{k+1} – тоже самое, но более 80 %;

p_k – процентное количество материала, который прошел через сито диаметром d_k ;

p_{k+1} – процентное количество материала, который прошел через сито диаметром d_{k+1} .

Так как масса навески 100 г, то каждый грамм песка соответствует 1 %.

Процентное количество материала, прошедшее через сито диаметром d, %	Остаток на сите, г	Диаметр отверстий, d, мм
97%	3г	1.28мм
94%	3г	1.01мм
87%	7г	0.8мм
57%	30г	0.68мм
21%	36г	0.56мм
13%	8г	0.41мм
6%	7г	0.25мм

$$6 \langle 10 \Rightarrow d_m = 0,25 \text{ см}$$

$$13 \rangle 10 \Rightarrow d_{m+1} = 0,41 \text{ см}$$

$$d_{10} = 0,25 + \frac{(0,41 - 0,25)(10 - 6)}{13 - 6} = 0,34 \text{ см}$$

$$87 \rangle 80 \Rightarrow d_{k+1} = 0,8 \text{ см}$$

$$57 \langle 80 \Rightarrow d_k = 0,68 \text{ см}$$

$$d_{80} = 0,68 + \frac{(0,8 - 0,68)(80 - 57)}{87 - 57} = 0,77 \text{ см}$$

$$\eta = \frac{0,77}{0,34} = 2,26$$

Пример решения задачи 6:

При пропускании воды с начальной мутностью 50 мг/дм^3 через слой фильтрующей загрузки 10 см остаточная мутность воды, C , составила 16 мг/дм^3 ; 12 см – $12,9 \text{ мг/дм}^3$; 14 см – $10,1 \text{ мг/дм}^3$; 16 см – $6,9 \text{ мг/дм}^3$; 18 см – $4,1 \text{ мг/дм}^3$; 20 см – $1,0 \text{ мг/дм}^3$. По зависимости остаточной мутности воды после фильтрования (C) от высоты слоя загрузки (x) определить коэффициенты в уравнении $y = ax + b$. Для каждого значения рассчитать степень осветления воды.

Дано:

$$C_0 = 50 \text{ мг/дм}^3$$

$$x_1 = 10 \text{ см}$$

$$x_2 = 12 \text{ см}$$

$$x_3 = 14 \text{ см}$$

$$x_4 = 16 \text{ см}$$

$$x_5 = 18 \text{ см}$$

$$x_6 = 20 \text{ см}$$

$$C_1 = 16 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_2 = 12,9 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_3 = 10,1 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_4 = 6,9 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_5 = 4,1 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_6 = 1,0 \text{ мг/дм}^3$$

$$a = ? \quad b = ? \quad Z_1 = ? \quad Z_2 = ? \quad Z_3 = ? \quad Z_4 = ? \quad Z_5 = ? \quad Z_6 = ?$$

Решение:

1. Уравнение $y = ax + b$ – математическая зависимость, описывающая эффективность очистки от высоты слоя загрузки.

где $y = C/C_0$, C_0 – исходная мутность воды, мг/дм³;

C – остаточная мутность воды, мг/дм³

x – высота слоя загрузки.

$$x_1 = 10,$$

$$y_1 = \frac{16}{50} = 0,32$$

$$x_2 = 12,$$

$$y_2 = \frac{12,9}{50} = 0,258$$

$$x_3 = 14,$$

$$y_3 = \frac{10,1}{50} = 0,202$$

$$x_4 = 16,$$

$$y_4 = \frac{6,9}{50} = 0,138$$

$$x_5 = 18,$$

$$y_5 = \frac{4,1}{50} = 0,082$$

$$x_6 = 20,$$

$$y_6 = \frac{1}{50} = 0,02$$

Для того чтобы вычислить значение коэффициентов a и b , необходимо решить систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} 0,32 &= 10a + b \\ 0,258 &= 12a + b \\ 0,202 &= 14a + b \\ 0,138 &= 16a + b \\ 0,082 &= 18a + b \\ 0,02 &= 20a + b \end{aligned} \right\}$$

Решив систему уравнений, получим:

$$a = -0,031$$

$$b = 0,63$$

2. Степень осветления воды рассчитывают по формуле (5):

$$Z_1 = (1 - \frac{16}{50}) \cdot 100 = 68\%$$

$$Z_2 = (1 - \frac{12,9}{50}) \cdot 100 = 74\%$$

$$Z_3 = (1 - \frac{10,1}{50}) \cdot 100 = 79,8\%$$

$$Z_4 = (1 - \frac{6,9}{50}) \cdot 100 = 86,2\%$$

$$Z_5 = (1 - \frac{4,1}{50}) \cdot 100 = 91,8\%$$

$$Z_6 = (1 - \frac{1}{50}) \cdot 100 = 98\%$$

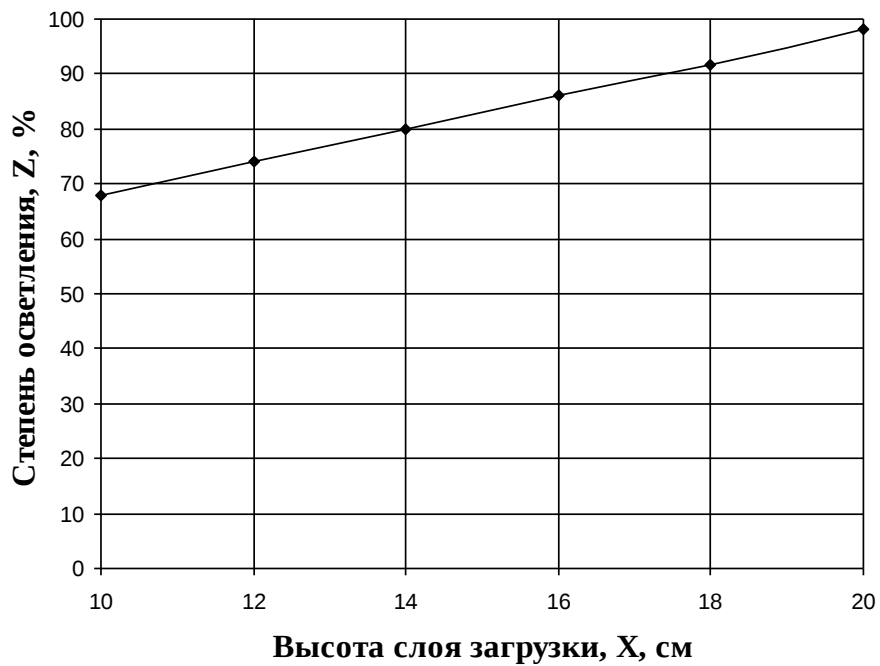


Рисунок 5 - Зависимость степени осветления воды от высоты слоя фильтрующей загрузки

Ответ: $a = -0,031$; $b = 0,62$; $Z_1 = 68 \%$; $Z_2 = 74 \%$; $Z_3 = 79,8 \%$; $Z_4 = 86,2 \%$; $Z_5 = 91,8 \%$; $Z_6 = 98 \%$.

4. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЧИСТКИ ВОДЫ АДсорбЦИЕЙ

4.1. Теоретические сведения

Адсорбция - это процесс концентрирования отдельных веществ или компонентов раствора на поверхности твердой фазы при самостоятельном переходе вещества из газовой фазы или раствора к поверхности раздела фаз.

Адсорбционное равновесие определяется двумя процессами - притяжением молекул к поверхности под действием межмолекулярных сил и тепловым движением молекул, которое направлено на восстановление концентраций на поверхности и в объеме фазы.

Адсорбентом, или веществом, на котором происходит адсорбция, является твердое вещество. Хотя в отдельных случаях адсорбция может происходить на поверхности жидкости. То есть, адсорбция может быть на границе раздела фаз газ - твердое вещество, жидкость - твердое вещество, газ-жидкость и жидкость - жидкость.

Адсорбция жидкостью происходит, если вязущее вещество наносят тонкой пленкой на твердый носитель. Это вязущее вещество имеет свойства жидкости, но она нанесена такой тонкой пленкой, что адсорбция происходит лишь на поверхности (газожидкостная хроматография).

Компонент, который адсорбируется, называют адсорбатом или адсорбтивом. Вещество, которое адсорбирует, называется адсорбентом.

Процесс адсорбции в газовой фазе зависит:

- от площади поверхности адсорбента;
- парциального давления компонента.

При адсорбции веществ из раствора на процесс влияют:

- концентрация раствора,
- энергия взаимодействия компонента с адсорбентом,
- энергия взаимодействия компонента с растворителем,
- энергия взаимодействия растворителя с адсорбентом.

Энергию адсорбции можно описать уравнением:

$$E_{ад} = E_a - E_p - E_r,$$

где $E_{ад}$ – энергия адсорбции из раствора;

E_a – энергия взаимодействия компонента с адсорбентом;

E_p – энергия взаимодействия компонента с растворителем;

E_r – энергия взаимодействия растворителя с адсорбентом.

О влиянии растворителя на процесс адсорбции можно судить, исходя из растворимости вещества. Как правило, чем больше растворимость ве-

щества, тем меньше ее адсорбция и, наоборот, чем меньше растворимость вещества, тем лучше проходит его адсорбция.

Процесс адсорбции является равновесным процессом. Концентрирование компонента на поверхности адсорбента проходит за счет сил межмолекулярного притяжения, а тепловое движение молекул растворителя и компонента, направленное на выравнивание концентрации компонента в растворе и на поверхности адсорбента, оказывает содействие процессу десорбции. Поэтому при контакте раствора с адсорбентом устанавливается определенное динамическое равновесие, при котором равновесной концентрации компонента в растворе отвечает определенная концентрация компонента на поверхности адсорбента.

Растворимость вещества с процессом адсорбции в определенной мере связывает **правило Траубе**, согласно которому в гомологическом ряду карбоновых кислот, произведение растворимости этих веществ на коэффициент распределения является величиной постоянной.

$$K \cdot C_s = \text{const},$$

где K – коэффициент распределения:

$$K = C_T / C_P,$$

C_s – максимальная растворимость вещества в данном растворителе;

C_T – концентрация компонента в твердой фазе;

C_P – концентрация компонента в растворе.

В зависимости от характера взаимодействия адсорбтива с адсорбентом, адсорбцию разделяют:

- на физическую;
- активированную;
- хемосорбцию.

Физическая адсорбция – это адсорбция за счет сил межмолекулярного взаимодействия Ван-дер-Ваальса. Характеризуется невысокими энергиями адсорбции 1...10 кДж / моль. При физической адсорбции процесс зависит лишь от относительной площади поверхности или адсорбционного объема адсорбента и не зависит от химических свойств веществ, которые адсорбируются. Физическая адсорбция не специфическая, полностью обратимая и происходит с большой скоростью. В особенности характерна для веществ, которые адсорбируются из парогазовой фазы.

Активированная адсорбция – это адсорбция, которая проходит с образованием специфических соединений между компонентом и адсорбентом с включением молекул компонента в кристаллическую структуру адсорбента. Такая адсорбция специфическая, необратимая, происходит медленно, с повышением температуры скорость возрастает и характеризуется высокими значениями энергии адсорбции ≈ 100 кДж / моль.

Хемосорбция – это адсорбция, которая происходит за счет связывания компонента с адсорбентом по определенным химическим реакциям. Эти процессы целиком описываются химическими реакциями, по которым они протекают, и энергия этих процессов равна энергии соответствующих химических реакций.

Если компонент находится в газовой фазе и контактирует с адсорбентом, то степень заполнения адсорбционной поверхности зависит от парциального давления компонента в растворе. Если адсорбция происходит из раствора, то поверхность адсорбента полностью заполнена молекулами компонента и молекулами растворителя. Относительная степень заполнения поверхности деления фаз суммой всех молекул (Q) всегда равняется 1. Тем не менее, соотношение количества компонента и растворителя в адсорбционном объеме и растворе будет разной. Эта разность соотношений называется избирательностью адсорбции:

$$Q = \frac{\frac{m_k^a}{m_p^a}}{\frac{m_k}{m_p}} > 1,$$

где $\frac{m_k^a}{m_p^a}$ – концентрация компонента в адсорбционном объеме;

$\frac{m_k}{m_p}$ – концентрация компонента в растворе.

То есть относительная величина заполнения поверхности деления фаз молекулами определенного компонента (Q_i) является функцией равновесной концентрации молекул компонента в адсорбционном слое и в равновесном растворе и характеризует избирательность адсорбции этого вещества из водного раствора. В случае отсутствия избирательности соотношение компонентов в адсорбционном слое и в растворе одинаковое. Избирательность адсорбции определяет принципиальную целесообразность адсорбционной технологии.

Об эффективности процесса адсорбции можно судить не только по избирательности, но и по величине **удельной адсорбционной емкости** – это количество адсорбированного вещества в единице массы или объема адсорбента.

Считается, что при физической адсорбции величина адсорбции не зависит от структуры молекулы вещества, которое адсорбируется, не зависит от его химических свойств, а определяется в основном площадью поверхности адсорбента. Исходя из этого, можно сказать, что удельная адсорбционная емкость будет возрастать при повышении пористости сорбента, то есть при уменьшении размеров пор. Если при одинаковом общем объеме всех пор снижать величину их эффективного радиуса, то площадь

поверхности раздела фаз будет возрастать. Тем не менее, размеры пор можно уменьшать до определенного предела.

В том случае, если эффективный радиус пор будет меньше, чем размеры сорбирующейся молекулы, то площадь поверхности пор теряет свой физический смысл, как характеристика границы деления двух фаз.

Зависимость величины удельной адсорбции от равновесной концентрации компонента в растворе называется **изотермой адсорбции** растворенного вещества.

Ее можно определить экспериментально, а можно рассчитать теоретически. При экспериментальном определении поступают таким образом:

Задавшись разными концентрациями растворов, смешивают их с адсорбентом. На одинаковых объемах растворов используют одинаковые навески адсорбента. Потом определяют равновесные концентрации компонента и рассчитывают величину удельной адсорбции.

C	C _p	a
C ₁	C _{p1}	a ₁
C ₂	C _{p1}	a ₂
C _n	C _{pn}	a _n

Величину адсорбции рассчитывают по формуле

$$a = \frac{(C - C_p) \cdot V_p}{m_a},$$

где C – начальная концентрация компонента;

C_p – конечная концентрация компонента;

V_p – объем раствора;

m_a – масса адсорбента.

Чтобы оценить равновесные условия адсорбционной очистки воды от растворимых веществ нужно знать удельный адсорбционный объем адсорбента (его основную характеристику) и изотерму адсорбции вещества из раствора.

Границы применения адсорбционных методов для очистки воды определяются стоимостью адсорбента и его эффективными дозами.

О целесообразности процесса адсорбции с экономической точки зрения можно судить по отношению объема очищенной воды (раствора V_p) к объему использованного адсорбента (V_a). Экономически целесообразным считается соотношение:

$$\frac{V_p}{V_a} > 50.$$

Адсорбенты. В практике водоочистки широко используются углеродные адсорбенты, синтетические полимерные адсорбенты и минеральные адсорбенты.

Органические адсорбенты делятся на углеродные и синтетические адсорбенты.

Минеральные адсорбенты – это, в основном, природные алюмосиликаты и глинистые материалы. Наиболее широкое применение для извлечения органических веществ нашли углеродные адсорбенты.

Углеродные адсорбенты. Это, в основном, активированный уголь, который получают из древесины и из разнообразного растительного сырья. Кроме того, к углеродным сорбентам относят сажу, бурый уголь, антрацит. Углеродные адсорбенты могут быть разными по своей пористости. В целом, по этому признаку их разделяют на 4 группы:

- непористые адсорбенты;
- однороднокрупнопористые;
- однородномелкопористые;
- неоднороднопористые.

Как правило, углеродные сорбенты содержат разнообразные поры, которые условно можно разделить на 3 группы (по их размерам). Главным критерием, который используют для оценки пор, является эффективный радиус пор:

$$R_e = \frac{2S}{P}$$

где S – площадь сечения поры;

P – периметр поры.

По эффективному радиусу поры делятся:

- на макропоры ($R_e > 100$ Нм);
- мезопоры ($100 \text{ Нм} > R_e > 1,5 \div 1,6$ Нм);
- микропоры ($1,5 \div 1,6 \text{ Нм} > R_e > 0,6$ Нм).

Если $R_e < 0,6$ Нм - то понятие поры теряет физическое содержание, как граница раздела фаз.

Размеры некоторых молекул органических веществ:

- метиламин CH_3NH_2 – 0,52 Нм;
- этиламин $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ – 0,65 Нм;
- НП-3 – 1,8 Нм ;
- ОП-10 – 6,9 Нм.

НП-3 и ОП-10 – ПАВ.

Микропоры составляют основную часть адсорбционного объема при адсорбции веществ, которые имеют маленькие и средние по размеру молекулы. При адсорбции высокомолекулярных соединений адсорбционный объем составляют в основном макро- и мезопоры.

Следует отметить, что площадь раздела фаз в значительной мере возрастает при переходе от макропористого к мезо- и к микропористостому адсорбенту.

Установлено, что удельная площадь поверхности макропор адсорбента составляет 20...40 тысяч м²/кг адсорбента, мезопор до 400 000 м²/кг адсорбента.

Синтетические адсорбенты. Синтетическими адсорбентами являются адсорбенты, полученные полимеризацией разнообразных органических мономеров. Часто это бывают продукты сополимеризации (например, стирола и дивинилбензола).

При использовании дивинилбензола можно получить сорбенты преимущественно с заданными размерами пор. Чаще всего это бывают узко-мезопористые адсорбенты. Можно создать сорбенты преимущественно с гидрофобными или гидрофильными свойствами.

На Украине и России была разработанная технология производства адсорбента марки "Полисорб".

Синтетические сорбенты могут быть гидрофобными и гидрофильными. Гидрофобные – это те адсорбенты, которые получены на основе гидрофобных мономеров (полистирол, дивинилбензол и т.п.).

Для получения гидрофильных сорбентов используют гидрофильные мономеры (виниловый спирт, винилпиридин и т.п.).

Уменьшение содержания в исходных смесях дивинилбензола приводит к повышению пористости сорбента.

Следует отметить, что синтетические адсорбенты значительно уступают по своей эффективности углеродным адсорбентам. Это обусловлено экранированием атомов углерода атомами водорода. В синтетических полимерах все связи скомпенсированы, поэтому они слабо взаимодействуют с компонентами.

Преимуществом этих адсорбентов является то, что они легко десорбируют сорбированные вещества.

Синтетические сорбенты имеют гелевую и негелевую пористость.

Гелевая пористость – это пористость между полимерными молекулами углеводными цепями полимерных агломератов.

Негелевая пористость – это пустоты между клубками полимерных молекул, или между гелевыми участками, то есть это каналы, которые получаются между сферическими гелевыми частицами.

Минеральные адсорбенты. Минеральные сорбенты являются относительно дешевыми и стойкими материалами. Важнейшими из них являются цеолиты и глинистые минералы. Это сорбенты на основе природных алюмосиликатов (цеолит, бентонит и т.п.). Данные сорбенты в значительной мере гидрофильные, так как содержат на своей поверхности полярные группы. Они способны к образованию водородных связей с молекулами воды. Средняя энергия таких связей 30...40 кДж/моль. Данные сорбенты

малоэффективны при извлечении органических веществ, но довольно эффективны при извлечении полярных органических веществ в т.ч. ПАВ.

4.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета

Задание 7.

Определить величину адсорбции органического компонента в зависимости от начальной и равновесной его концентрации в воде (C_n и C_p), объема обработанного раствора (V_p), массы адсорбента (m_a) (активированного угля). Построить изотерму адсорбции. Исходные данные приведены в таблице 7.

Задание № 8.

Определить какое из эмпирических уравнений адсорбции лучше описывает экспериментально полученную изотерму. После определения коэффициентов построить изотермы адсорбции по уравнению Фрейндлиха и уравнению Ленгмюра и сравнить их между собой и зависимостью, полученной экспериментально.

4.3. Примеры решения задач

Примеры решения задачи 7:

Определить величину адсорбции органического компонента в зависимости от начальной и равновесной его концентрации в воде (C_n и C_p), объема обработанного раствора (V_p), массы адсорбента (m_a) (активированного угля). Построить изотерму адсорбции. Исходные данные приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Зависимость равновесных концентраций органического компонента в воде от объема раствора, массы адсорбента, исходной концентрации компонента в воде

№ вар	m _а , г	V _р , дм ³	C _н , г/дм ³ в пробе №							C _р , г/дм ³ в пробе №						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1	10	1,0	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
2	8	0,8	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,02	0,11	0,21	0,32	0,4	0,6
3	2	0,3	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,02	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4
4	1	0,2	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,02	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4
5	5	0,8	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,03	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
6	4	0,5	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,02	0,11	0,21	0,32	0,4	0,6
7	3	0,3	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,02	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4
8	7	1,4	0,01	0,10	0,20	0,40	0,6	0,8	1,0	0,00	0,03	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
9	9	0,9	0,01	0,10	0,20	0,40	0,6	0,8	1,0	0,00	0,02	0,11	0,21	0,32	0,4	0,6
10	1	0,1	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,01	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4
11	10	2,0	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	0,00	0,02	0,10	0,2	0,3	0,4	0,6
12	8	1,6	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,02	0,11	0,21	0,32	0,4	0,6
13	6	1,2	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,03	0,11	0,22	0,30	0,4	0,6
14	7	1,4	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,02	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4
15	5	1,0	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	0,00	0,03	0,10	0,20	0,30	0,4	0,6
16	3	0,6	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,02	0,10	0,15	0,2	0,3	0,4
17	2	0,4	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,03	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
18	4	0,8	0,01	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,0	0,00	0,02	0,11	0,21	0,3	0,4	0,6
19	1	0,1	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,00	0,02	0,10	0,15	0,20	0,3	0,4
20	9	1,8	0,01	0,10	0,20	0,4	0,6	0,8	1,0	0,00	0,02	0,10	0,25	0,30	0,4	0,6

Дано:

$$m_a = 9 \text{ г}$$

$$V_p = 1.8 \text{ дм}^3$$

$$C_{n_1} = 0.01 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_1} = 0.00 \text{ г / дм}^3$$

$$C_{n_2} = 0.1 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_2} = 0.02 \text{ г / дм}^3$$

$$C_{n_3} = 0.2 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_3} = 0.1 \text{ г / дм}^3$$

$$C_{n_4} = 0.4 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_4} = 0.25 \text{ г / дм}^3$$

$$C_{n_5} = 0.6 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_5} = 0.3 \text{ г / дм}^3$$

$$C_{n_6} = 0.8 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_6} = 0.4 \text{ г / дм}^3$$

$$C_{n_7} = 1.0 \text{ г / дм}^3 \quad C_{p_7} = 0.6 \text{ г / дм}^3$$

a = ?**Решение:**

Величину адсорбции рассчитывают по формуле

$$a = \frac{(C_n - C_p) \cdot V_p}{m_a}, \text{ г / г}$$

$$a_1 = \frac{(0.01 - 0) \cdot 1.8}{9} = 0.002, \text{ г / г}$$

$$a_2 = \frac{(0.1 - 0.02) \cdot 1.8}{9} = 0.016, \text{ г / г}$$

$$a_3 = \frac{(0.2 - 0.1) \cdot 1.8}{9} = 0.02, \text{ г / г}$$

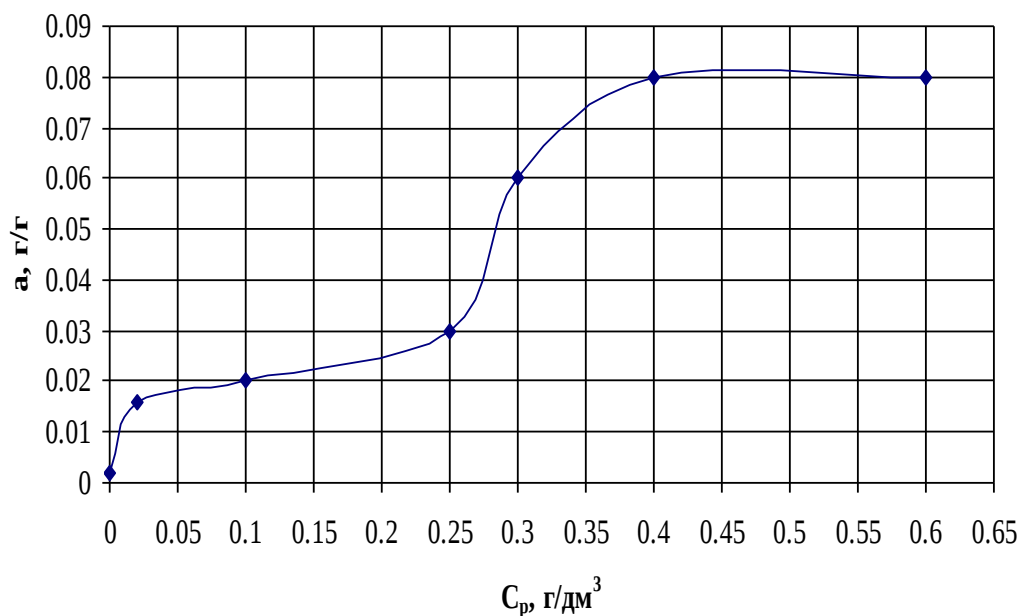
$$a_4 = \frac{(0.4 - 0.25) \cdot 1.8}{9} = 0.03, \text{ г / г}$$

$$a_5 = \frac{(0.6 - 0.3) \cdot 1.8}{9} = 0.06, \text{ г / г}$$

$$a_6 = \frac{(0.8 - 0.4) \cdot 1.8}{9} = 0.08, \text{ г / г}$$

$$a_7 = \frac{(1.0 - 0.6) \cdot 1.8}{9} = 0.08, \text{ г / г}$$

Изотерму адсорбции строят в координатах $a = f(C_p)$.



Примеры решения задачи 8:

Определить какое из эмпирических уравнений адсорбции лучше описывает экспериментально полученную изотерму. После определения коэффициентов построить изотермы адсорбции по уравнению Фрейндлиха

и уравнению Ленгмюра и сравнить их между собой и зависимостью, полученной экспериментально.

Решение:

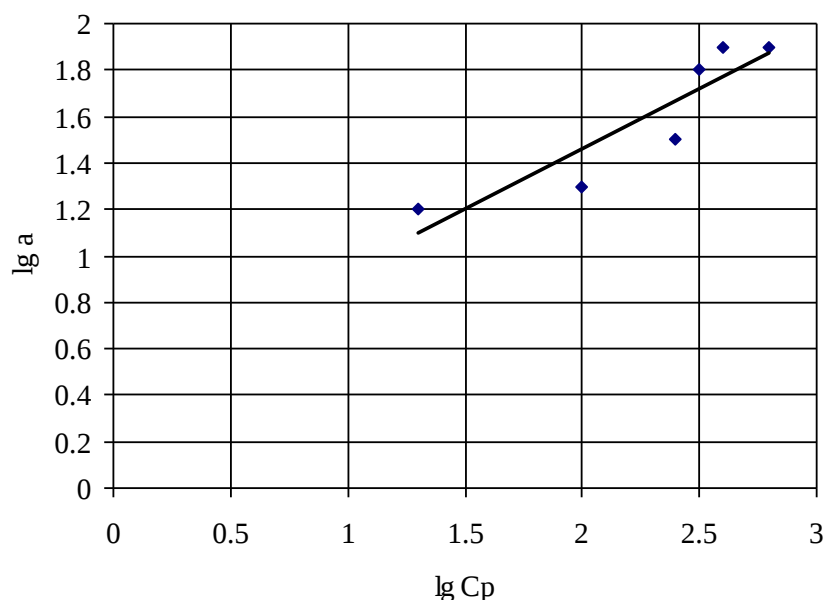
Эмпирическое уравнение Фрейндлиха имеет вид: $a = K \cdot C_p^{1/n}$

Для определения коэффициентов K и n необходимо исходя из экспериментальных данных построить зависимость $\lg a = f(\lg C_p)$. Логарифмируя уравнение $a = K \cdot C_p^{1/n}$ получим: $\lg a = \lg K + \frac{1}{n} \lg C$.

№	C_p , мг/дм ³	a , мг/г	$\lg C_p$	$\lg a$
1	0	2	-	0.3
2	20	16	1.3	1.2
3	100	20	2	1.3
4	250	30	2.4	1.5
5	300	60	2.5	1.8
6	400	80	2.6	1.9
7	600	80	2.8	1.9

Значения C_p и a берут в мг/дм³ и мг/г соответственно.

В координатах $\lg C_p$ и $\lg a$ отмечают полученные точки. И проводят через них прямую «на глаз» (либо в Excel с помощью линии тренда).



Уравнение прямой имеет вид: $\lg a = \lg K + \frac{1}{n} \lg C$, где $b = \lg K = 0.4$, отсюда $K = 10^{0.4} = 2.51$; $k = \frac{1}{n} = \text{tga} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{1.9 - 1.1}{2.8 - 1.3} = 0.53$, (где $\text{tg } a$ рассчитывают

как отношение противолежащего (L_1) катета к прилежащему (L_2)). Отсюда

$$n = \frac{1}{k} = \frac{1}{0.53} = 1.87.$$

Тогда уравнение полученной прямой имеет вид: $\lg a = 0.4 + 0.53 \lg C$.
Рассчитываем значения $\lg a_i$ и найдем значения a_i :

$$\lg a_2 = 0.4 + 0.53 \lg 20 = 1.089$$

$$\lg a_3 = 0.4 + 0.53 \lg 100 = 1.46$$

$$\lg a_4 = 0.4 + 0.53 \lg 250 = 1.67$$

$$\lg a_5 = 0.4 + 0.53 \lg 300 = 1.71$$

$$\lg a_6 = 0.4 + 0.53 \lg 400 = 1.78$$

$$\lg a_7 = 0.4 + 0.53 \lg 600 = 1.87$$

тогда

$$a_2 = 10^{1.089} \cdot 10^{-3} = 0.012 \text{ г/г};$$

$$a_3 = 10^{1.46} \cdot 10^{-3} = 0.028 \text{ г/г};$$

$$a_4 = 10^{1.67} \cdot 10^{-3} = 0.046 \text{ г/г};$$

$$a_5 = 10^{1.71} \cdot 10^{-3} = 0.051 \text{ г/г};$$

$$a_6 = 10^{1.78} \cdot 10^{-3} = 0.06 \text{ г/г};$$

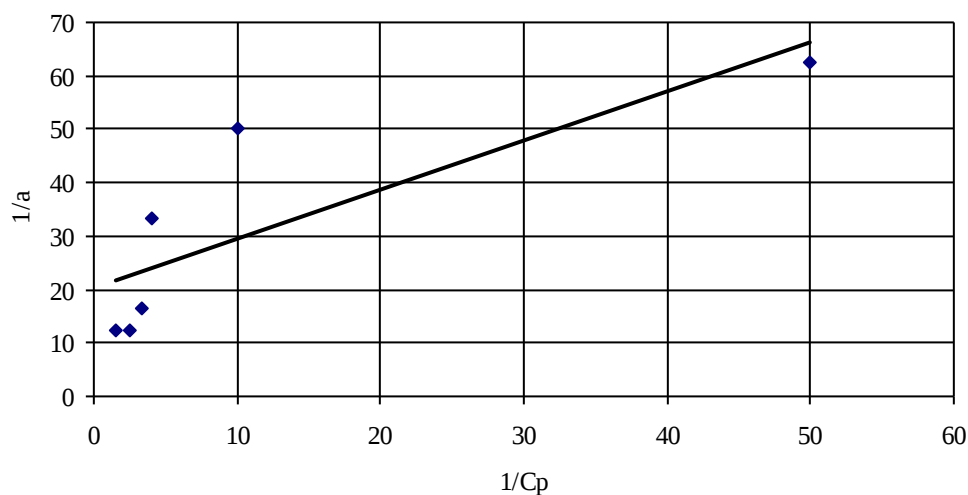
$$a_7 = 10^{1.87} \cdot 10^{-3} = 0.07 \text{ г/г}.$$

Для определения коэффициентов в уравнении Ленгмюра, которое имеет вид $a = a_\infty \cdot \frac{K \cdot C_p}{1 + K \cdot C_p}$, необходимо исходя из экспериментальных данных построить зависимость $\frac{1}{a} = f\left(\frac{1}{C_p}\right)$.

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{a_\infty \cdot K \cdot C_p} + \frac{K \cdot C_p}{a_\infty \cdot K \cdot C_p} = \frac{1}{a_\infty} + \frac{1}{a_\infty \cdot K \cdot C_p}.$$

№	C_p , г/дм ³	a , г/г	$\frac{1}{C_p}$, дм ³ /г	$\frac{1}{a}$, г/г
1	0	0.002	-	-
2	0.02	0.016	50	62.5
3	0.1	0.02	10	50
4	0.25	0.03	4	33.3
5	0.3	0.06	3.3	16.6
6	0.4	0.08	2.5	12.5
7	0.6	0.08	1.6	12.5

В координатах $1/C_p$ и $1/a$ отмечают полученные точки. И проводят через них прямую «на глаз».



Уравнение прямой имеет вид: $\frac{1}{a} = \frac{1}{a_\infty} + \frac{1}{K \cdot a_\infty} \cdot \frac{1}{C_p}$, где из графика $b = \frac{1}{a_\infty} = 22$, отсюда $a_\infty = \frac{1}{22} = 0.045$; a_∞ - это самое большое значение – предельная сорбция.

$k = \frac{1}{K \cdot a_\infty} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{L_1}{L_2} = \frac{64 - 22}{50 - 1.6} = 0.87$, (где $\operatorname{tg} \alpha$ рассчитывают как отношение противолежащего (L_1) катета к прилежащему (L_2)). Тогда $K = \frac{1}{k \cdot a_\infty} = \frac{1}{0.87 \cdot 0.045} = 25.5$.

Тогда уравнение полученной прямой имеет вид $\frac{1}{a} = 22 + 0.87 \cdot \frac{1}{C_p}$.

Рассчитываем значения $\frac{1}{a_i}$ и a_i :

$$\frac{1}{a_2} = 22 + 0.87 \cdot 50 = 65.5$$

$$\frac{1}{a_3} = 22 + 0.87 \cdot 10 = 30.7$$

$$\frac{1}{a_4} = 22 + 0.87 \cdot 4 = 25.5$$

$$\frac{1}{a_5} = 22 + 0.87 \cdot 3.3 = 24.9$$

$$\frac{1}{a_6} = 22 + 0.87 \cdot 2.5 = 24.2$$

$$\frac{1}{a_7} = 22 + 0.87 \cdot 1.6 = 23.4$$

тогда

$$a_2 = \frac{1}{65.5} = 0.0152 \text{ г/г;}$$

$$a_3 = \frac{1}{30.7} = 0.0326 \text{ г/г;}$$

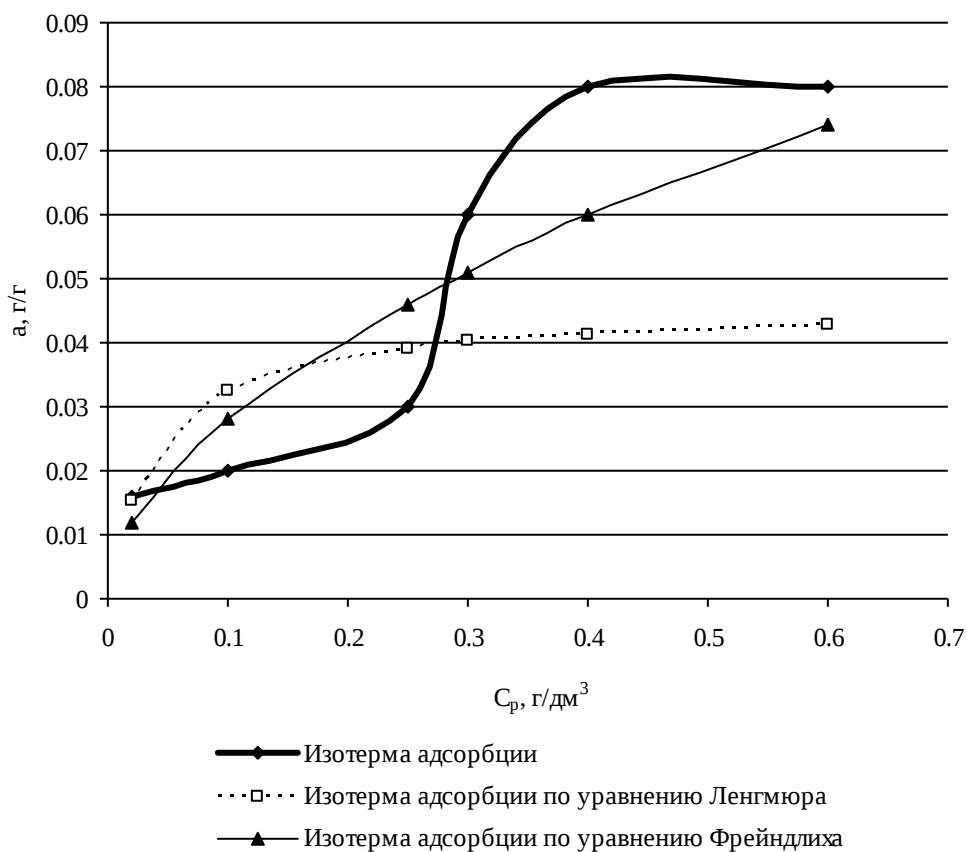
$$a_4 = \frac{1}{25.5} = 0.0392 \text{ г/г;}$$

$$a_5 = \frac{1}{24.9} = 0.0402 \text{ г/г;}$$

$$a_6 = \frac{1}{30.7} = 0.0412 \text{ г/г;}$$

$$a_7 = \frac{1}{23.4} = 0.0432 \text{ г/г.}$$

Чтобы определить какое из эмпирических уравнений адсорбции лучше описывает экспериментально полученную изотерму, построим все три графика в координатах C_p , a . Из графика видно, что изотерма адсорбции по уравнению Фрейндлиха более точно описывает данный экспериментальный процесс.



5. ИОНООБМЕННЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ ВОДЫ

5.1. Теоретические сведения

Ионообменный метод широко применяется в процессах водоподготовки и очистки сточной воды. В процессе водоподготовки метод используется для смягчения и обессоливание воды, которая применяется для подпитки водооборотных систем охлаждения и энергетических систем. При очистке сточной воды метод применяется для изъятия ионов тяжелых и цветных металлов, радионуклидов, органических соединений, способных к ионизации.

Процесс ионного обмена – это процесс, при котором происходит обмен противоионов материала на ионы, которые находятся в воде. Как правило, противоионами, которые находятся в ионите и которые могут переходить в раствор являются катионы H^+ , K^+ , Na^+ и анионы Cl^- , SO_4^{2-} , OH^- , NO_3^- . Из раствора могут сорбироваться на катионите Ca^{2+} , Mg^{2+} , катионы тяжелых и цветных металлов, амины, аммонийные органические соединения и другие органические соединения, которые могут образовывать катионы. На анионите – сульфаты, нитраты, нитриты, хроматы, молибдаты и другие анионные соединения тяжелых металлов, силикаты, бораты, сульфиды, феноляты и другие органические и неорганические соединения.

Ионообменный материал – это водонерастворимый природный или синтетический материал, на поверхности которого фиксированы анионные, катионные или и те и другие группы.

Фиксированные ионы – это потенциалопределяющие ионы. Они крепко связаны с каркасом матрицы ионообменного материала и не способны к переходу из твердой фазы в раствор.

Ионы, которые компенсируют заряд фиксированных ионов, находятся рядом с ними и способны к обмену называются *противоионами*. Они определяют форму ионита и способны переходить в раствор в обмен на точно эквивалентное количество других ионов того же знака, которые поступают в ионит из внешнего раствора (обменных ионов раствора).

Эквивалентность обмена является главным признаком ионообменных процессов и ионита. Это обусловлено общей электронейтральностью ионита. Т.е. суммарный заряд всех противоионов должен равняться суммарному заряду фиксированных ионов, а общее количество эквивалентов фиксированных ионов должно соответствовать общему количеству эквивалентов противоионов.

На самом деле процесс ионного обмена проходит значительно сложнее, так как наряду с противоионами в ионит могут проходить и **коионы**, т.е. ионы того же знака заряда, которым обладают фиксированные. Чаше всего это случается при применении концентрированных растворов, когда

происходит так называемая *сверхэквивалентная сорбция электролита*, за счет проникновения в ионит недиссоциированных молекул или частично диссоциированных молекул, в состав которых входит коионы.

Проникновение коионов в ионит из насыщенных растворов происходит по причине того, что:

- при этом практически нивелируется (компенсируется) поверхностный заряд за счет высокой концентрации противоионов и сжатия диффузного слоя противоионов;

- в концентрированных растворах всегда большая концентрация недиссоциированных молекул, что оказывает содействие проникновению коионов в ионит.

Сверхэквивалентная сорбция может происходить также за счет образования ассоциатов из противоионов, которые изымаются из раствора. Например, при переходе хроматов в бихроматы, фосфатов в полифосфаты.

Тип ионита зависит от вида противоионов. Если противоионами являются анионы, то это анионит с фиксированными катионными группами; если противоионами являются катионы, то это катионит с фиксированными анионными группами. Иониты, в которых фиксированными группами являются катионы и анионы, а соответственно противоионами являются анионы и катионы называются *полиамфолитами*.

Тип противоионов определяет форму ионита. **Катиониты** могут быть в кислой и солевой формах. Если противоионами являются протоны, то катионит находится в кислой форме или H^+ -форме. Если противоионами в катионите являются ионы металла, то катионит находится в солевой форме. При этом возможно уточнение: Na^+ -форма.

Анионит может быть в основной и солевой формах. Если противоионами являются гидроксидные анионы, то анионит в основной форме. Если противоионами являются анионы кислот – солевая форма. Возможное уточнение – Cl^- - форма и NO_3^- - форма.

Полиамфолиты могут быть в кислотно-основной форме (когда противоионами являются H^+ и OH^-), кислотно-солевой форме (протоны и анионы кислот), основно-солевой форме (противоионами являются гидроксо анионы и катионы металлов) и в солевой форме (катионы металлов и анионы кислот).

Селективность ионитов. Теория Грегора. Ионообменный процесс – это всегда равновесный процесс. Переход ионита из одной формы в другую зависит от селективности противоионов и их концентрации.

Как правило, при удалении ионов из разбавленных растворов движущей силой процесса ионного обмена является селективность ионов. Т.е. ионы с большей селективностью вытесняют противоионы с меньшей селективностью, которые находятся в ионите, занимая их место. При этом ионы с меньшей селективностью переходят в раствор. Когда в ионите на-

ходятся противоионы с большей селективностью, а в растворе ионы с меньшей селективностью, то процесс ионного обмена не будет протекать. Это касается разбавленных растворов.

При использовании концентрированных растворов электролитов противоионы с меньшей селективностью могут вытеснять из ионита противоионы с большей селективностью, в том случае, когда концентрация противоионов с меньшей селективностью будет значительно большей по сравнению с концентрацией более селективных противоионов. Здесь движущей силой является избыточная концентрация или тенденция к выравниванию концентраций. Эту особенность ионного обмена используют при регенерации ионита, т.е. при восстановлении емкости ионита. Восстановление емкости ионита означает переводение его в форму способную к сорбции определенных ионов.

Таким образом, в процессе сорбции движущей силой является селективность ионита по определенным ионам, а в процессе регенерации – тенденция к выравниванию концентрации и концентрационный напор.

Селективность ионов в значительной мере зависит от их заряда. Как правило, лучше сорбируются ионы с высшим зарядом вследствие еще более сильного электростатического притяжения. В ряду однозарядных ионов (с одинаковым зарядом), лучше сорбируются ионы с большим радиусом (меньшим радиусом гидратной оболочки. *Гидратная оболочка* – окружение иона, состоящее из одного или нескольких слоев определенным образом ориентированных молекул воды).

Считается, что менее гидратированные ионы легче переходят из водной среды в другую фазу (на твердую поверхность). Более гидратированные ионы легче переходят в водный раствор.

Для характеристики ионообменного материала используют понятие емкости ионита. Емкость ионита – это количество ионов (мг-экв), которые способны сорбироваться единицей объема или массы ионита. Чаще определяется в г-экв/м³.

Емкость зависит от многих факторов. В частности, от:

- количества функциональных групп в единице объема ионита;
- температуры раствора;
- селективности ионов, их концентрации;
- времени контакта раствора с ионитом;
- скорости процесса ионного обмена.

Как правило, в практике ионного обмена пользуются понятиями обменная емкость ионита в статических условиях и обменная емкость ионита в динамических условиях.

В динамических условиях определяют емкость ионита до проскока и полную емкость ионита.

Определение емкости ионита в статических условиях. Емкость ионита в статических условиях определяют исходя из начальной и конечной концентраций ионов в растворе, объема раствора и массы или объема ионита:

$$E_{CT} = \frac{V(C_n - C_p)}{V_u}$$

$$E_{CT} = \frac{V(C_n - C_p)}{m_u}$$

где V – объем раствора, из которого выделяют ионы;

C_n и C_p – начальная и равновесная концентрации раствора;

V_u и m_u – объем и масса ионита.

Емкость ионита в статических условиях измеряют в г-экв/м³ или в г-экв/т.

Массу сорбированных ионов в г или в г-экв определяют по формуле

$$m = V(C_n - C_p).$$

Как видно из формул, емкость ионита в статических условиях зависит от соотношения объема ионита и раствора, а также от величины начальной концентрации. Когда объем раствора и начальная концентрация раствора недостаточно большие, не будет достигнуто предельной обменной емкости ионита, будет установлено промежуточное значение обменной емкости.

С другой стороны, при большом объеме раствора и большой его концентрации, масса ионов, которые сорбируются, будет превышать емкость ионита и будет достигнута полная (предельная) емкость в статических условиях.

Для того, чтобы определить влияние концентрации на обменную емкость строят изотерму адсорбции (рис. 6).

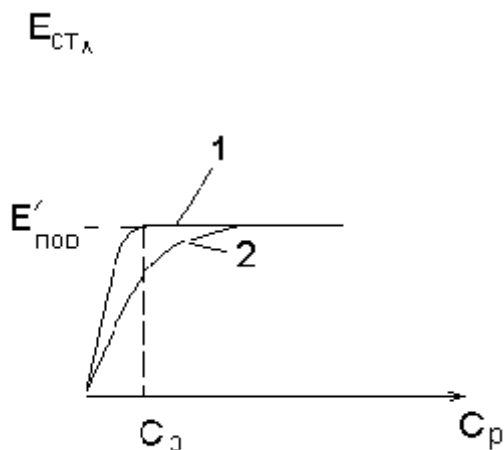


Рисунок 6 - Изотерма адсорбции ионов в статических условиях:

1 - Изотерма адсорбции из концентрированного раствора;

2 - Изотерма адсорбции из разбавленного раствора

Изотермы адсорбции в ионном обмене, по обыкновению, отличаются от обычных изотерм адсорбции. Они являются более выпуклыми на начальном участке и мало изменяются дальше с ростом концентрации при условии что ионы, которые сорбируются, не образуют ассоциатов или других соединений.

Пользуясь изотермой адсорбции при известном количестве раствора концентрации ионов, которые извлекаются и остаточной концентрации можно определить необходимый объем ионита для очистки воды в статических условиях.

$$V_u = \frac{V(C_n - C_o)}{E_{ст}}, \text{ м}^3$$

где V_u – объем ионита;

V – объем раствора;

C_n – начальная концентрация ионов;

C_o – остаточная концентрация ионов;

$E_{ст}$ – обменная емкость ионита в статических условиях, определенная по изотермам адсорбции ионов по значению C_o .

Определение адсорбционной емкости в динамических условиях.

В динамических условиях обменная емкость определяется исходя из изотермы адсорбции.

Количество ионов, сорбированных ионитом в динамических условиях до проскока ионов на выходе из колонки относительно объема ионита называется *емкостью ионита до проскока*.

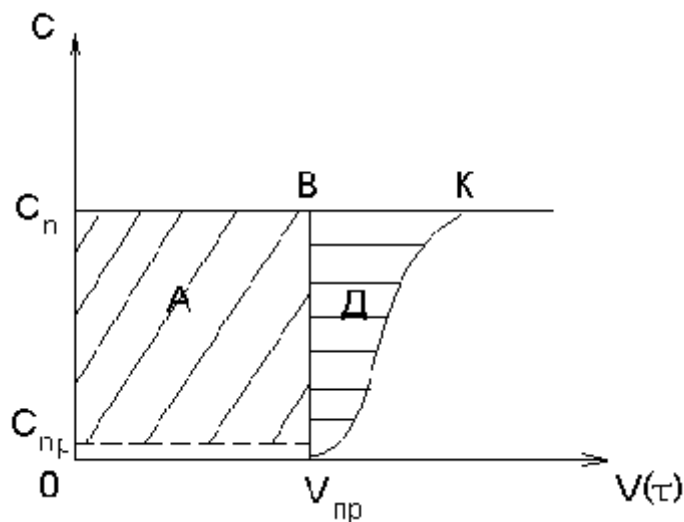


Рисунок 7 - Кривая адсорбции

Динамические условия – это условия, при которых через слой сорбента с заданной скоростью фильтруют раствор электролита. Для построения исходной кривой адсорбции в пробах, которые отбираются из колонки, измеряют концентрацию данных ионов. Процесс завершается в случае, ко-

гда концентрация на выходе из колонки равняется начальной концентрации.

Концентрацией проскока может быть любая минимально фиксированная концентрация, а может быть выбрана определенная концентрация исходя из требований к качеству очищенной воды.

Количество сорбированных ионов до проскока будет пропорционально площади фигуры А, которая находится над исходной кривой адсорбции и под линией, проходящей параллельно оси, на которой отложены объемы раствора.

$$S_A = S_{(C_n OV_{np} B)} \approx V_{np} C_n = m_{np}$$

где V_{np} – объем раствора отобранного до проскока;

C_n – начальная концентрация ионитов;

m_{np} – масса сорбированных до проскока ионов.

$$E_{np} = \frac{m_{np}}{V_u} \text{ - емкость ионита до проскока,}$$

где m_{np} – масса сорбированных до проскока ионов;

V_u – объем ионита.

Полная объемная емкость в динамических условиях – это количество сорбированных ионов отнесенное к объему ионита, при условии, что исходная концентрация (концентрация на выходе) равна начальной концентрации.

Количество сорбированных ионов при условии достижения полной емкости (m_n) будет пропорционально суммарной площади фигур А и Д:

$$m_n = S_A + S_D.$$

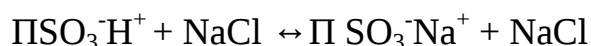
Тогда полная динамическая обменная емкость ионита рассчитывается по формуле

$$E_{n.д.} = \frac{m_n}{V_i}.$$

Следует отметить, что емкость до проскока и полная обменная динамическая емкость ионита для каждого типа ионов являются относительно постоянными величинами. В определенной мере, емкость ионита зависит от концентрации используемых растворов. При значительном повышении концентрации растворов емкость ионита (включая емкость до проскока и полную обменную емкость) будет возрастать вследствие повышения степени замещения ионов.

Регенерация ионита. Процесс восстановления емкости ионита является очень важным этапом ионообменной очистки воды. Учитывая высокую стоимость ионообменных материалов, можно сказать, что применение ионита может быть экономически целесообразным лишь при эффективной регенерации ионита.

Процесс регенерации ионита сводится к переводению ионита в исходную форму после исчерпания его емкости в процессе ионообмена. Для катионов, которые используются в кислой форме процесс ионного обмена можно описать уравнением:



Переработка таких отработанных регенерационных растворов, которые всегда являются сложными смесями является отдельной интересной темой. На самом деле, без решения проблемы утилизации регенерационных растворов применение ионного обмена невозможно.

Процесс регенерации ионита описывается исходной кривой десорбции ионов. Кривая строится как зависимость концентрации ионов, которые десорбируются из объема пропущенного регенерационного раствора, к относительной затрате регенерационного раствора, который определяется как отношение объема регенерационного раствора к объему ионита:

$$q_n = V_{p.p.} / V_u,$$

где $V_{p.p.}$ – объем пропущенного регенерационного раствора;

V_u – объем ионита.

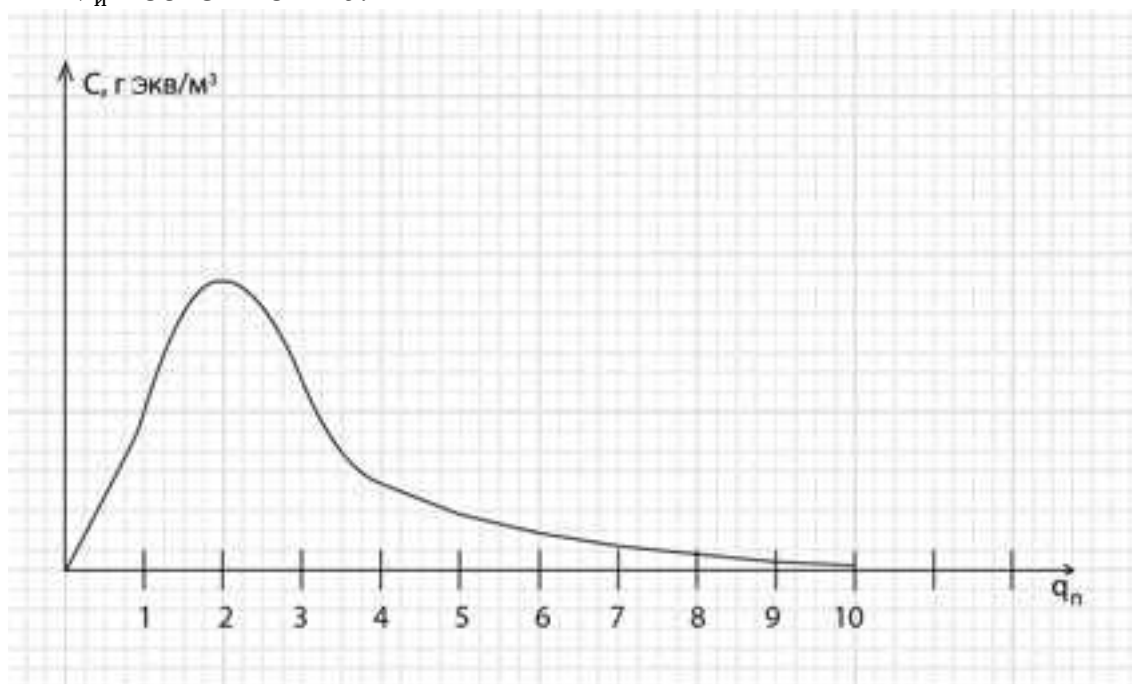


Рисунок 8 - Кривая десорбции ионов при регенерации ионита

Как видно из исходной кривой десорбции, основная масса сорбированных ионов вымывается при $q_p = 3-4$. Это происходит при удачно выбранной концентрации регенерационного раствора. Об эффективности десорбции можно судить по зависимости степени десорбции (Z , %) от удельного расхода регенерационного раствора (q_p).

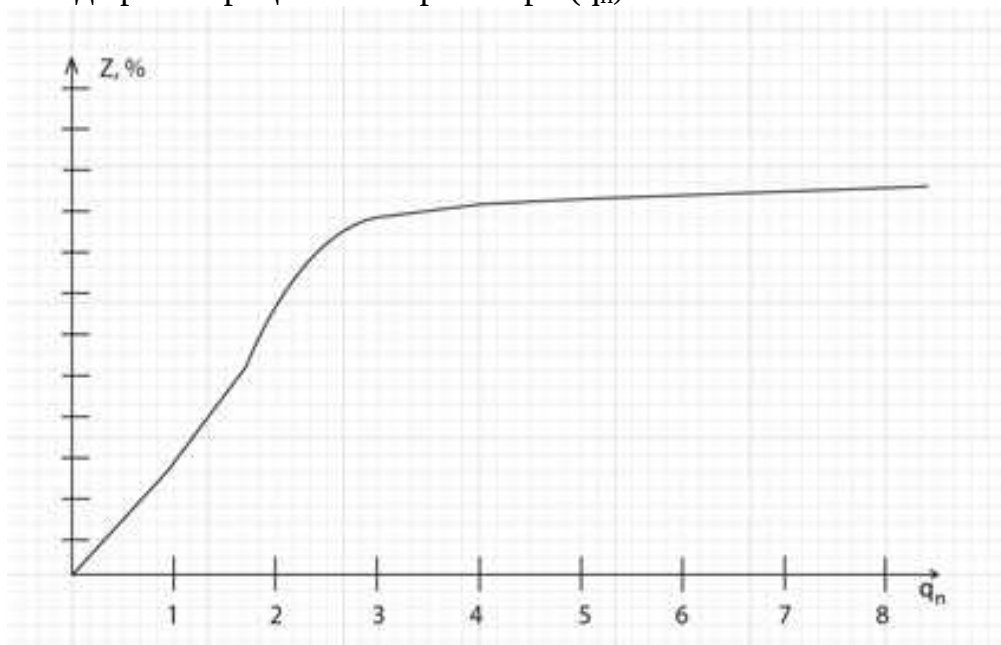


Рисунок 9 - Зависимость степени десорбции ионов от удельной затраты регенерационного раствора

Как видно из рис. 9, при удачно выбранной концентрации регенерационного раствора основная масса ионов десорбируется при $q_p = 3-4$ ($Z > 90\%$).

Степень десорбции рассчитывают исходя из массы десорбированных ионов ($m_{д.с.и.}$) при пропускании определенного объема регенерационного раствора и массы сорбированных ионов ($m_{с.и.}$):

$$Z = \frac{m_{д.с.и.}}{m_{с.и.}} \times 100\%$$

Массу десорбированных ионов рассчитывают исходя из объема отобранного регенерационного раствора (V_p) и концентрации ионов в нем (C_u):

$$m_{д.с.и.} = V_p \cdot C_u$$

При этом масса десорбированных ионов рассчитывается для каждой отобранной пробы. Для нескольких проб (n), масса десорбированных ионов при пропуске n проб раствора рассчитывается как сумма:

$$m_{д.с.и.}^n = m_{д.с.и.}^1 + m_{д.с.и.}^2 + \dots + m_{д.с.и.}^n$$

Исходя из этого можно определить степень регенерации в зависимости от пропущенного объема регенерационного раствора:

$$Z_1 = \frac{m_{\partial.c.u.}^1}{m_{c.u.}} \times 100\%$$

$$Z_2 = \frac{m_{\partial.c.u.}^1 + m_{\partial.c.u.}^2}{m_{c.u.}} \times 100\%$$

$$Z_n = \frac{m_{\partial.c.u.}^n}{m_{c.u.}} \times 100\% .$$

5.2. Индивидуальные задания для выполнения расчета

Задание 9.

Построить выходную кривую адсорбции хроматов в зависимости от исходной концентрации раствора (C_0), объема пробы (V_p), объема ионита (V_i), объема пропущенного раствора. Определить обменную емкость ионита до проскока, полную обменную динамическую емкость ионита. Исходные данные приведены в табл. 8.

Таблица 8 - Зависимость выходной концентрации хроматов от пропущенного объема раствора

№ вар.	C_0 , г/дм ³	V_p , дм ³	V_i , см ³	Зависимость концентрации хроматов, С, г/дм ³ от номера пробы								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,250	1,0	20	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,050	0,100	0,200	0,250
2	0,350	1,0	30	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,060	0,200	0,320	0,350
3	0,250	2,0	40	0,000	0,000	0,002	0,003	0,010	0,080	0,150	0,250	0,250
4	0,250	3,0	50	0,000	0,001	0,001	0,005	0,090	0,200	0,250	0,250	0,250
5	0,200	4,0	60	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,050	0,190	0,200	0,200
6	0,400	2,0	70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,010	0,090	0,250	0,400
7	0,300	3,0	80	0,000	0,000	0,000	0,003	0,008	0,012	0,150	0,270	0,300
8	0,450	3,0	90	0,000	0,000	0,000	0,050	0,150	0,320	0,450	0,450	0,450
9	0,400	3,0	100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,170	0,340	0,360	0,400
10	0,300	2,0	50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,150	0,240	0,300	0,300
11	0,300	2,0	40	0,000	0,000	0,000	0,010	0,090	0,210	0,300	0,300	0,300
12	0,300	3,0	60	0,000	0,000	0,000	0,012	0,100	0,200	0,290	0,300	0,300
13	0,400	2,0	70	0,000	0,000	0,000	0,007	0,009	0,050	0,280	0,380	0,400
14	0,350	3,0	80	0,000	0,000	0,001	0,002	0,009	0,070	0,220	0,350	0,350
15	0,450	1	30	0,000	0,001	0,010	0,040	0,170	0,340	0,450	0,450	0,450
16	0,150	4,0	50	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,010	0,050	0,140	0,150

Концентрацией проскока может быть любая минимально фиксированная концентрация, а может быть выбрана определенная концентрация, исходя из требований к качеству очищенной воды.

Для определения обменной емкости ионита до проскока необходимо определить массу сорбированных хроматов до проскока. Это значение оп-

ределяют по формуле (4.1) как произведение исходной концентрации на пропущенный объем раствора до проскока (V_p^{np}) (16):

$$m_c^{np} = C_0 \cdot V_p^{np}, \text{ г} \quad (16)$$

где C_0 – исходная концентрация раствора, г/дм³;

$$V_p^{np} = V_p \cdot n, \text{ дм}^3;$$

V_p – объем отобранных проб, дм³;

n – число проб отобранных до проскока.

Общую массу сорбированных хроматов определяют по формуле (17):

$$m_c^n = V_p \cdot [(C_0 - C_1) + (C_0 - C_2) + \dots + (C_0 - C_n)], \text{ г} \quad (17)$$

где $C_1, C_2, \dots, C_n$ – концентрации хроматов соответственно в 1-й, 2-й, ..., n -й отобранных после фильтрования пробах, мг/дм³.

Обменная динамическая емкость ионита до проскока рассчитывается по формуле (18)

$$E_{np} = \frac{m_c^{np}}{V_i}, \text{ г/см}^3 \quad (18)$$

Полная обменная динамическая емкость ионита определяется по формуле

$$E_{полн} = \frac{m_c^n}{V_i}, \text{ г/см}^3 \quad (19)$$

Процесс восстановления емкости ионита является очень важным этапом ионообменной очистки воды. Учитывая высокую стоимость ионообменных материалов, можно сказать, что применение ионита может быть экономически целесообразным лишь при эффективной регенерации ионита. Процесс регенерации ионита сводится к переводению ионита в исходную форму после исчерпания его емкости в процессе ионного обмена.

Для перевода катионита в исходную Na^+ -форму его обрабатывают 10%-ным раствором хлорида натрия. Для перевода анионита в исходную OH^- -форму ионит обрабатывают 4%-ным раствором щелочи.

Процесс регенерации ионита описывается исходной кривой десорбции ионов. Кривая строится как зависимость концентрации ионов, которые десорбируются из объема пропущенного регенерационного раствора, или относительной затраты регенерационного раствора, который определяется как отношение объема регенерационного раствора к объему ионита (20).

$$q_{y\partial} = \frac{V}{V_i}, \text{ см}^3/\text{см}^3 \quad (20)$$

где V – объем пропущенного раствора определяется как

$$V = n \cdot V_p, \text{ см}^3,$$

где n – число отобранных проб;

V_p – объем отобранных проб, см^3 ;

Степень регенерации i -й пробой рассчитывают по формуле (21) как отношение массы десорбированных ионов к общей массе сорбированных ионов:

$$Z_i = \frac{\sum_{j=1}^i m_{\partial.c.}}{m_c^n} \cdot 100, \% \quad (21)$$

где m_c^n – масса сорбированных ионов, г (формула (4.2));

$m_{\partial.c.}$ – масса десорбированных ионов: $m_{\partial.c.} = V_p \cdot C_i$, г

C_i – концентрация хроматов в i -й пробе регенерационного раствора, $\text{г}/\text{дм}^3$;

V_p – объем отобранных проб, дм^3 .

Задание 10.

Построить выходную кривую десорбции хроматов из анионита АВ-17-8 при пропускании раствора, содержащего $100 \text{ г}/\text{дм}^3$ NaOH и $100 \text{ г}/\text{дм}^3$ NaCl. Объем пробы раствора (V_p) равен объему ионита (V_i). Число проб $n = 10$. Исходные данные приведены в табл. 9.

Таблица 9 - Зависимость выходной концентрации десорбции хроматов от объема пропущенного раствора

№ вар.	$V_p, \text{ см}^3$	$V_i, \text{ см}^3$	Зависимость концентрации хроматов, C , $\text{г}/\text{дм}^3$ от номера пробы									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	20	5	18	32	15	3	1	0,5	0,4	0,3	0,2
2	30	30	6	20	27	16	2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
3	40	40	6	28	20	19	1	0,5	0,2	0,3	0,1	0,1
4	50	50	5	35	18	6	1	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1
5	60	60	4	34	23	5	2	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1
6	70	70	8	32	20	5	2	0,4	0,5	0,3	0,1	0,1
7	80	80	8	32	20	4	1	0,3	0,3	0,4	0,1	0,1
8	90	90	9	33	21	5	2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
9	100	100	9	30	22	6	1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1
10	50	50	6	34	20	5	1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1
11	40	40	5	30	20	8	1	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
12	60	60	8	30	20	4	1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1
13	70	70	7	33	21	4	1	0,5	0,4	0,3	0,3	0,1
14	80	80	9	30	21	4	1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
15	30	30	6	20	27	15	2	0,5	0,2	0,2	0,1	0,1
16	50	50	8	32	19	5	1	0,3	0,3	0,3	0,2	0,1

5.3. Примеры решения задач

Пример решения задачи 9:

Через анионит объемом $V_i=40 \text{ см}^3$ пропускают раствор, содержащий $C_0=0,15 \text{ г/дм}^3$ хроматов, отбирают пробы по $V_p=8 \text{ дм}^3$ и определяют остаточное содержание ионов хрома. В первой пробе остаточное содержание хромат-ионов составило $C_1=0 \text{ г/дм}^3$; второй - $C_2=0,001 \text{ г/дм}^3$; третьей - $C_3=0,007 \text{ г/дм}^3$; четвертой - $C_4=0,07 \text{ г/дм}^3$. Необходимо построить выходную кривую адсорбции хроматов в зависимости от исходной концентрации раствора (C_0), объема пробы (V_p), объема ионита (V_i), объема пропущенного раствора. Определить обменную емкость ионита до проскока ($E_{пр}$), полную обменную динамическую емкость ионита ($E_{полн}$).

Дано:

$$V_i=40 \text{ см}^3$$

$$C_0=0,15 \text{ г/дм}^3$$

$$V_p=8 \text{ дм}^3$$

$$C_1=0 \text{ г/дм}^3$$

$$C_2=0,001 \text{ г/дм}^3$$

$$C_3=0,007 \text{ г/дм}^3$$

$$C_4=0,07 \text{ г/дм}^3$$

$$C_5=0,15 \text{ г/дм}^3$$

$$E_{пр}=? \quad E_{полн}=?$$

Решение:

1. График зависимости остаточной концентрации хроматов от объема пропущенного раствора представлен на рис. 5.

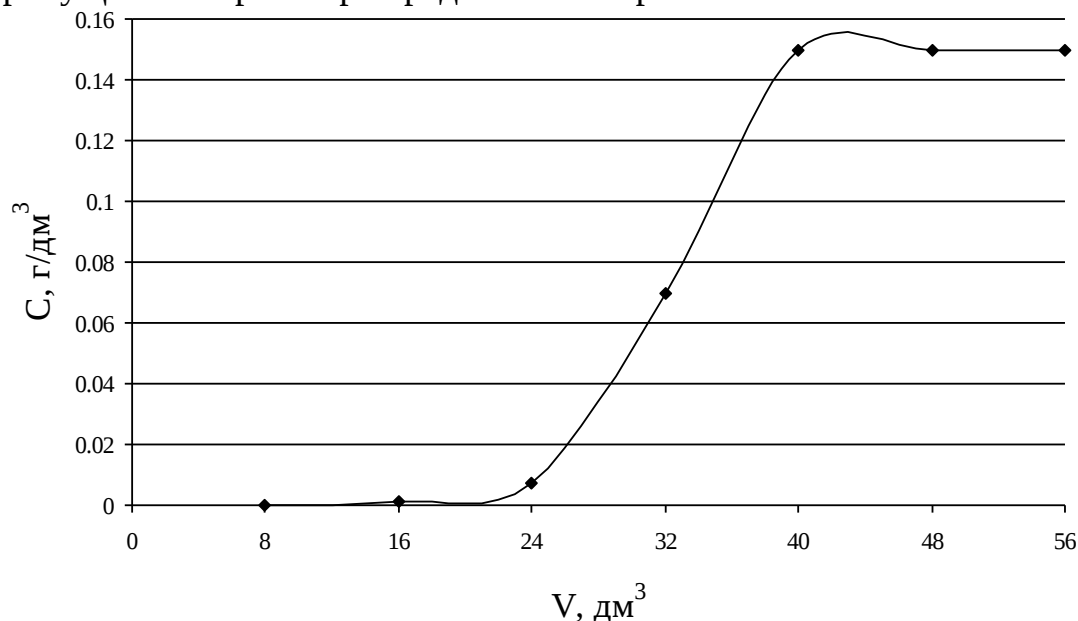


Рисунок 10 - Зависимость остаточной концентрации хроматов от объема пропущенного раствора

Концентрацией проскока будем считать минимально фиксированную концентрацию, т.е. проскок наступил во второй пробе (до проскока отобрана одна проба – 8 дм³).

1. Согласно формуле (16): $m_c^{\text{пр}} = 0,15 \cdot 1 \cdot 8 = 1,2 \text{ г}$.

2. По формуле (17):

$$m_c^n = 8[(0,15 - 0) + (0,15 - 0,001) + (0,15 - 0,007) + (0,15 - 0,07) + (0,15 - 0,15)] = 4,176 \text{ г}.$$

3. По формуле (18): $E_{\text{пр}} = \frac{1,2}{40} = 0,03 \text{ г/см}^3$.

4. По формуле (19): $E_{\text{полн}} = \frac{4,176}{40} = 0,1 \text{ г/см}^3$.

Ответ: $E_{\text{пр}} = 0,03 \text{ г/см}^3$; $E_{\text{полн}} = 0,1 \text{ г/см}^3$.

Пример решения задачи 10:

Через отработанный ионит объемом 40 см³ (масса севших хромат ионов $m_c^n = 4,176 \text{ г}$ - см. задача 9) пропускают раствор, содержащий 100 г/дм³ NaOH и 100 г/дм³ NaCl. Отбирают пробы объемом 40 см³ и определяют содержание хроматов: $C_1=10 \text{ г/дм}^3$; $C_2=35 \text{ г/дм}^3$; $C_3=20 \text{ г/дм}^3$; $C_4=3 \text{ г/дм}^3$; $C_5=0,5 \text{ г/дм}^3$. Необходимо построить выходную кривую десорбции хроматов из ионита в координатах – выходная концентрация хроматов (C) удельного расхода раствора (q_y). Определить степень регенерации ионита.

Дано:

$m_c^n = 4,176 \text{ г}$
$V_p = 40 \text{ см}^3$
$V_i = 40 \text{ см}^3$
$C_1 = 10 \text{ г/дм}^3$
$C_2 = 35 \text{ г/дм}^3$
$C_3 = 20 \text{ г/дм}^3$
$C_4 = 3 \text{ г/дм}^3$
$C_5 = 0,5 \text{ г/дм}^3$
$Z = ?$

Решение:

Для определения степени регенерации необходимо определить массу десорбированных ионов в каждой пробе: $m_{\text{д.с.}} = V_p \cdot C_i$:

$$m_{\text{д.с.}_1} = 10 \cdot 0,04 = 0,4 \text{ г}$$

$$m_{д,с,2} = 35 \cdot 0,04 = 1,4г$$

$$m_{д,с,3} = 20 \cdot 0,04 = 0,8г$$

$$m_{д,с,4} = 3 \cdot 0,04 = 0,12г$$

$$m_{д,с,5} = 0,5 \cdot 0,04 = 0,02г$$

По формуле (21) определяем степень регенерации ионита каждой пробой.

$$Z_1 = \frac{0,4}{4,176} \cdot 100 = 9,6\%$$

$$Z_2 = \frac{0,4 + 1,4}{4,176} \cdot 100 = 43\%$$

$$Z_3 = \frac{0,4 + 1,4 + 0,8}{4,176} \cdot 100 = 62\%$$

$$Z_4 = \frac{0,4 + 1,4 + 0,8 + 0,12}{4,176} \cdot 100 = 65\%$$

$$Z_5 = \frac{0,4 + 1,4 + 0,8 + 0,12 + 0,02}{4,176} \cdot 100 = 66\%$$

График зависимости концентрации хроматов от удельного расхода регенерационного раствора представлен на рис. 11.

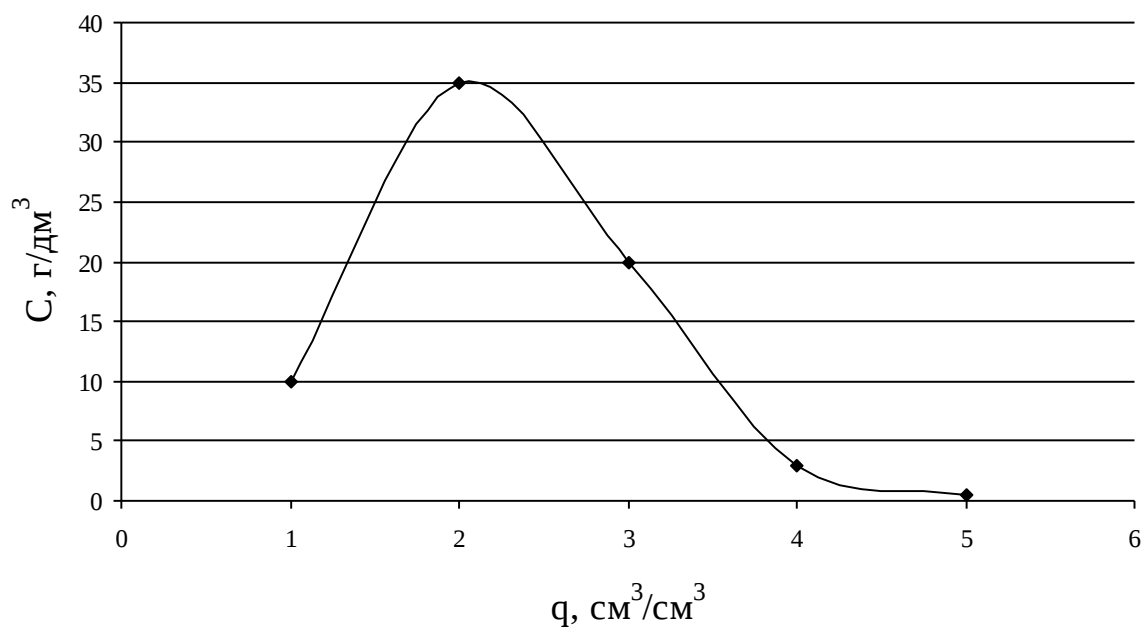


Рисунок 11 - Зависимости концентрации хроматов от удельного расхода регенерационного раствора

Ответ: 9,6 %, 43 %, 62 %, 65 %, 66 %.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ЗАЧЕТ

1. Влияние углекислоты на реакцию среды в природных и сточных водах.
2. Щелочность воды.
3. Временная, постоянная и общая жесткость воды.
4. Сухой, плотный остаток и остаток после прокаливания.
5. Требования к качеству воды в водооборотных системах охлаждения.
6. Требования к качеству воды для подпитки систем охлаждения.
7. Требования к качеству энергетической воды.
8. Основные методы умягчения воды.
9. Коллоидные частицы, строение, физическое объяснения стабильности коллоидных систем.
10. Строение двойного электрического слоя.
11. Теория стойкости ионстабилизированных коллоидных систем.
12. Теория ДЛПФО. Условия коагуляции лиофобных коллоидных систем.
13. Гетерокоагуляция и взаимная коагуляция.
14. Молекулярно-кинетическая, гравитационная и градиентная коагуляция.
15. Гидролиз коагулянтов.
16. Влияние реакции среды и концентрации ионов на процесс коагуляции.
17. Прозрачность воды. Мутность воды. Концентрация взвешенных веществ.
18. Цветность воды.
19. Физические показатели качества воды.
20. Классификация загрязнений по дисперсному состоянию.
21. Разделение гетерогенных систем.
22. Механическая очистка воды.
23. Влияние коагулянтов и флокулянтов на процессы фильтрации.
24. Определение метода адсорбции при очистке воды.
25. Адсорбент, адсорбат (адсорбтив).
26. Избирательность адсорбции.
27. Энергия адсорбции.
28. Влияние растворимости вещества на адсорбцию. Правило Траубе.
29. Физическая, активированная и химическая адсорбция.
30. Удельная адсорбционная емкость.
31. Адсорбенты.
32. Изменение химического потенциала компонента при его адсорбции.
33. Константа адсорбционного равновесия. Уравнение.

34. Вычисление изотермы адсорбции веществ из растворов без экспериментальных измерений.

35. Оценка основных технологических параметров адсорбционной очистки воды от растворенных органических веществ.

36. Регенерация адсорбентов.

37. Влияние ионизации молекул их адсорбцию.

38. Влияние ассоциации молекул на их адсорбцию.

39. Кинетика адсорбции органических молекул из воды.

40. Динамика адсорбции органических веществ из воды.

41. Определение метода ионного обмена при очистке воды.

42. Катионит, анионит, полиамфолит.

43. Потенциалопределяющие (фиксированные) ионы, противоионы и коионы.

44. Форма ионита.

45. Эквивалентность ионного обмена.

46. Селективность ионита.

47. Теория Грегора (осмотическая теория).

48. Емкость ионита.

49. Определение емкости ионита в статических условиях.

50. Определение емкости ионита в динамических условиях.

51. Регенерация ионитов.

52. Определение метода флотации.

53. Классификация методов адсорбционной пузырьковой сепарации.

54. Физико-химические основы пенной флотации.

55. Физико-химические основы пенного фракционирования.

56. Физико-химические основы электрофлотации.

57. Пневматическая флотация.

58. Напорная флотация.

59. Химическая, механическая флотация.

60. Мембранные методы очистки воды.

61. Баромембранные методы очистки воды.

62. Суть методов диализа и первапорации.

63. Что такое мембранная дистилляция?

64. Селективность и производительность мембран.

65. Механизм полупроницаемости мембран.

66. Влияние рабочего давления на работу мембран.

67. Влияния температуры на производительность мембран.

68. Влияние концентрации вещества на процессы мембранного разделения.

69. Влияния природы растворенных веществ на мембранные процессы.

70. Влияние концентрационной поляризации на работу мембран.

СПИСОК ТЕСТОВЫХ ВОПРОСОВ, ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЧЕТ

1. Чем обусловлены уникальные свойства воды (высокие температуры кипения и плавления)?

- а) молекулярной массой воды;
- б) химическим строением, которое обуславливает образование водородных связей;
- в) валентностью атома кислорода;
- г) энергией связи кислород-водород;
- д) поляризацией связи кислород-водород.

2. Структура воды в жидком и твердом состоянии?

- а) молекулы воды образуют кристаллическую структуру;
- б) молекулы воды неупорядочены в жидком состоянии и образуют кристаллическую решетку в твердом состоянии;
- в) вода имеет кластерную структуру, образует ассоциаты содержащие 12 - 150 молекул;
- г) вода аморфна;
- д) вода имеет сложную структуру.

3. К каким показателям качества воды относятся температура, мутность и цветность?

- а) к органолептическим показателям;
- б) к химическим показателям;
- в) к бактериологическим показателям;
- г) к физическим показателям качества воды;
- д) к физико-химическим показателям качества воды.

4. Что такое мутность воды?

- а) концентрация растворимых в воде соединений;
- б) концентрация грубодисперсных примесей;
- в) концентрация коллоидных частиц;
- г) показатель обратный к прозрачности воды, зависит от содержания взвешенных веществ в воде;
- д) концентрация взвешенных веществ.

5. В каких единицах измеряют цветность воды?

- а) в градусах платиново-кобальтовой или хроматно-кобальтовой шкалы;
- б) в мг/дм³;
- в) в баллах;
- г) в мгэкв/дм³;
- д) в см высоты прозрачного слоя воды.

6. Как определяются органолептические показатели качества воды?

- а) оптическими методами;
- б) физическими методами;
- в) дегустатором;
- г) методом массометрии;
- д) методом хроматографии.

7. Какие показатели относятся к химическим показателям качества воды?

- а) вкус, привкус, запах;
- б) реакция среды, сухой остаток, остаток после прокаливания, концентрация азотосодержащих соединений, сульфатов, хлоридов, фосфатов, железа, марганца, радиоизотопов и ядовитых веществ;
- в) температура, мутность и цветность;
- г) коли-титр, колииндекс, БПК;
- д) содержание патогенных микроорганизмов.

8. Какие вещества образуют в воде гетерогенные системы?

- а) взвеси и коллоиды;
- б) растворимые в воде газы;
- в) нитраты и нитриты;
- г) растворимые в воде органические вещества;
- д) щелочи, кислоты, соли, которые обуславливают минерализацию воды.

9. Какие размеры частиц коллоидной степени дисперсности?

- а) $> 10^{-3}$ см;
- б) $> 10^{-5}$ см;
- в) 10^{-6} - 10^{-7} см;
- г) $< 10^{-7}$ см;
- д) 10^{-5} - 10^{-6} см.

10. Какая может быть мутность питьевой воды?

- а) < 5 мг/дм³;
- б) $< 0,5$ мг/дм³;
- в) $> 1,5$ мг/дм³;
- г) 3 мг/дм³;
- д) $0,5 - 1,0$ мг/дм³.

11. Где используется техническая вода?

- а) для полива и орошения полей;

б) в промышленности и энергетике, в системах охлаждения, тепло-снабжения;

в) для снабжения предприятий пищевой промышленности;

г) для питьевого водоснабжения;

д) для коммунально-бытовых объектов.

12. Коллоидная частица в ионстабилизированной коллоидной системе,

а) это мицелла;

б) это ядро с сорбированными потенциалопределяющими потоками;

в) это ядро коллоидной частицы с плотным слоем противоионов;

г) это диффузный слой противоионов;

д) это электронейтральная частичка твердой фазы в воде.

13. Какие ионы являются противоионами в мицелле формулы: $\{m[Al(OH)_3]_nH^+(n-x)Cl\}_xCl$?

а) Cl^- ;

б) H^+ ;

в) H^+ и Cl^- ;

г) Al^{3+} ;

д) OH^- .

14. Поверхностный заряд ядра коллоидной частицы обусловлен наличием сорбированных:

а) противоионов;

б) потенциалопределяющих ионов;

в) коионов;

г) протонов;

д) анионов.

15. Противоионы в мицелле находятся:

а) в диффузном слое противоионов;

б) в диффузном и плотном слоях противоионов;

в) на поверхности ядра коллоидной частицы;

г) в ядре коллоидной частицы;

д) на границе скольжения между плотным и диффузным шаром противоионов.

16. Энергия взаимодействия между двумя коллоидными частицами ионстабилизированных системах зависит:

а) от энергии взаимодействия частиц с растворителем и растворенными веществами;

- б) от знака заряда коллоидных частиц;
- в) от величины заряда коллоидных частиц и концентрации раствора;
- г) от скорости перемешивания раствора;
- д) от величины сил межмолекулярного взаимодействия, силы электростатического взаимодействия энергии взаимодействия частиц с растворителем, расстояния между частицами.

17. Стабильность лиофильных коллоидных систем зависит:

- а) от энергии взаимодействия частиц с растворителем, то есть от способности частиц к гидратации;
- б) от сил межмолекулярного взаимодействия (сил Ван-дер-Ваальса);
- в) от скорости перемешивания раствора;
- г) от величины и знака электрокинетического потенциала частиц;
- д) от внешних механических и химических воздействий.

18. Стабильность лиофобных коллоидных систем зависит:

- а) от способности частиц к гидратации, то есть от энергии взаимодействия с растворителем;
- б) от интенсивности перемешивания раствора;
- в) от температуры и давления;
- г) от величины силы электростатического отталкивания частиц и суммарной энергии взаимодействия частиц;
- д) от химического состава коллоидных частиц.

19. Значение минимального потенциала на поверхности коллоидных частиц при котором происходит коагуляция по теории ДЛФО для слабозаряженных частиц зависит :

- а) от Ван-дер-Ваальсового притяжения, диэлектрической проницаемости воды, толщины диффузного слоя противоионов;
- б) от типа противоионов;
- в) от типа потенциалопределяющих ионов;
- г) от температуры заряда противоионов, постоянной Больцмана;
- д) от концентрации катионов в воде.

20. Эффективность коагуляции золь с высокими значениями поверхностных потенциалов частиц ($\phi_0 > 100$ МВ) зависит:

- а) от гидрофобности коллоидных частиц;
- б) от концентрации противоионов в растворе и величины их заряда;
- в) от типа потенциалопределяющих ионов;
- г) от величины поверхностного натяжения;
- д) от температуры и давления.

21. Коагулирующая способность противоионов возрастает:

- а) с увеличением величины заряда и радиуса иона;
- б) уменьшением величины заряда и радиуса иона;
- в) увеличением радиуса гидратной оболочки иона;
- г) переходом от катионов к анионам;
- д) повышением температуры.

22. Какой процесс называется взаимной коагуляцией?

- а) агрегация положительно заряженных коллоидных частиц;
- б) агрегация лиофильных частиц;
- в) агрегация разноименно заряженных коллоидных частиц;
- г) агрегация отрицательно заряженных частиц;
- д) агрегация коллоидных частиц гидроксидов металлов.

23. От какого фактора зависит градиентная коагуляция?

- а) от концентрации противоионов в воде;
- б) от интенсивности перемешивания раствора;
- в) от скорости перемещения частиц под действием силы тяжести;
- г) от броуновского движения;
- д) от молекулярно-кинетического потенциала.

24. Какие вещества называют коагулянтами?

- а) вещества, которые повышают эффективность осветления воды за счет интенсификации процесса коагулирования нерастворимых в воде соединений;
- б) соли щелочных металлов;
- в) соли щелочноземельных металлов;
- г) вещества, которые способствуют стабилизации лиофобных коллоидных систем;
- д) вещества, которые стабилизируют лиофильные коллоидные системы.

25. Коагулянтами могут быть:

- а) соли цинка и кадмия;
- б) соли алюминия и железа;
- в) соли щелочноземельных металлов;
- г) силикаты;
- д) полифосфаты.

26. Гидроксиды металлов в воде в процессе коагуляции образуются в результате:

- а) диссоциации солей металлов;

- б) взаимодействия металлов с водой;
- в) гидролиза солей алюминия и железа;
- г) растворения оксидов металлов;
- д) коррозии металлов.

27. Как влияет на pH среды процесс гидролиза солей железа и алюминия?

- а) повышает pH;
- б) не влияет на pH среды;
- в) повышает pH в присутствии солей жесткости;
- г) снижает pH среды независимо от состава воды;
- д) снижает pH воды в воде с низкой щелочностью, в воде с высокой щелочностью pH снижается мало.

28. Какие вещества называют флокулянтами?

- а) поверхностно-активные вещества;
- б) диспергаторы соединений железа и фосфатов в воде;
- в) неорганические электролиты;
- г) высокомолекулярные соединения, которые используются для интенсификации процессов очистки воды и обезвоживания осадков;
- д) оксихлориды металлов.

29. К каким флокулянтам относится полиакриламид:

- а) катионным;
- б) неорганическим;
- в) природным;
- г) анионным;
- д) неионным синтетическим.

30. Активированная кремниевая кислота – это:

- а) неионный флокулянт;
- б) органический анионный флокулянт;
- в) неорганический анионный флокулянт;
- г) неорганический катионный флокулянт;
- д) синтетический органический флокулянт.

31. В структуру катионных флокулянтов входят:

- а) полиэферы;
- б) аминные и аммонийные группы;
- в) амидные и карбоксильные группы;
- г) сульфонатные и сульфомидные группы;
- д) полисиликаты.

32. Степень диссоциации ионогенных групп и разворачивание молекул флокулянтов повышаются при:

- а) снижении концентрации флокулянта;
- б) повышении концентрации флокулянта;
- в) повышении концентрации индифферентного электролита;
- г) повышении концентрации противоионов;
- д) повышении молекулярного веса флокулянта.

33. Наибольших линейных размеров достигают флокулянты:

- а) с разветвленной структурой;
- б) линейной структурой;
- в) хаотической структурой;
- г) звездообразной структурой;
- д) сетчатой структурой.

34. В структуру анионных флокулянтов включены:

- а) полиамидные фрагменты;
- б) полиэфиры;
- в) полиамины;
- г) карбоксильные, сульфонатные, фосфонатные, сульфатные группы;
- д) полиспирты.

35. Как влияют на свойства растворов флокулянты?

- а) повышают их плотность;
- б) повышают их мутность;
- в) повышают поверхностное натяжение воды;
- г) повышают их вязкость;
- д) повышают их цветность.

36. Какой показатель вязкости раствора не зависит от концентрации флокулянта?

- а) динамическая вязкость;
- б) кинетическая вязкость;
- в) приведенная вязкость;
- г) характеристическая вязкость;
- д) вязкость раствора.

37. Как зависит характеристическая вязкость раствора флокулянтов от их молекулярной массы?

- а) возрастает прямо пропорционально с ростом молекулярной массы;
- б) снижается пропорционально молекулярной массе;
- в) возрастает по степенной зависимости;

- г) не зависит от молекулярной массы;
- д) зависит только при очень высоких концентрациях флокулянта.

38. Что такое процесс флокуляции?

- а) это стабилизация коллоидных систем с помощью высокомолекулярных соединений;
- б) это процесс растворения флокулянтов в воде;
- в) это процесс укрупнения коллоидных и взвешенных примесей в воде за счет связывания отдельных частиц макромолекулами флокулянтов;
- г) это адсорбция полимерных молекул коллоидными частицами;
- д) это диспергирование взвешенных частиц в присутствии полимеров.

39. Что такое адсорбция?

- а) это процесс поглощения химических веществ раствором;
- б) это процесс поглощения газов растворителем;
- в) это переход компонента из одного растворителя в другой при условии, что растворители не смешиваются;
- г) это процесс концентрирования отдельных веществ или компонентов на поверхности твердой фазы при самопроизвольном переходе вещества из газовой фазы или раствора к поверхности раздела фаз;
- д) это процесс самопроизвольного перехода компонента из поверхности твердой фазы в раствор или газовую фазу.

40. Энергия адсорбции зависит:

- а) только от концентрации раствора;
- б) от природы взаимодействия компонента и адсорбента;
- в) от энергии взаимодействия компонента с растворителем и адсорбентом и энергии взаимодействия растворителя с адсорбентом;
- г) парциального давления компонента;
- д) площади поверхности адсорбента.

41. Адсорбция возрастает при:

- а) повышении растворимости вещества;
- б) при разведении растворов;
- в) при снижении растворимости вещества;
- г) повышении температуры;
- д) при повышении энергии взаимодействия растворителя с адсорбентом.

42. Физическая адсорбция:

- а) является специфической и необратимой;
- б) является медленным необратимым процессом;

- в) происходит за счет химических реакций;
- г) не специфическая, обратимая, проходит с большой скоростью;
- д) не зависит от площади поверхности адсорбента.

43. Избирательность адсорбции зависит:

- а) от соотношения количеств компонента и растворителя в растворе;
- б) от равновесной концентрации;
- в) от соотношений концентраций компонента в адсорбционном объеме и растворе;
- г) от площади поверхности адсорбента;
- д) от величины адсорбционного объема.

44. Удельная адсорбционная емкость – это:

- а) количество вещества в единице объема растворителя;
- б) это количество адсорбированного вещества;
- в) это количество адсорбированного растворителя;
- г) это количество адсорбированного вещества единицей массы или объема адсорбента;
- д) это количество адсорбированного растворителя единицей объема адсорбента.

45. Удельная адсорбционная емкость зависит:

- а) от объема раствора;
- б) от массы адсорбента;
- в) от объема адсорбента;
- г) от времени достижения равновесного состояния в системе;
- д) от начальной и равновесной концентраций компонента в растворе.

46. Однородномелкопористые адсорбенты преимущественно содержат:

- а) макропоры;
- б) мезопоры;
- в) микропоры;
- г) мезопоры и макропоры;
- д) макропоры и микропоры.

47. Константа адсорбционного равновесия это:

- а) отношение активности вещества в адсорбционном объеме к активности этого вещества в растворе;
- б) это отношение концентраций разных компонентов в растворе;
- в) это отношение количеств компонента и растворителя к массе адсорбента;

г) это отношение количества адсорбированного компонента к массе адсорбента;

д) это отношение коэффициентов активности компонента в адсорбционном объеме и растворе.

48. Уравнение парциальной изотермы адсорбции:

а) показывает зависимость величины адсорбции компонента от его концентрации в растворе;

б) описывает зависимость активности компонента от его концентрации в растворе;

в) описывает зависимость величины адсорбции от величины адсорбционного объема;

г) показывает зависимость величины адсорбции воды от величины ее молярного объема;

д) связывает величину адсорбции с величиной относительного заполнения адсорбционного объема компонентом.

49. Стандартное уменьшение энергии адсорбции при адсорбции сложной молекулы органического вещества равно:

а) относительному заполнению адсорбционного объема;

б) константе адсорбционного равновесия;

в) энергии взаимодействия компонента с адсорбентом;

г) сумме уменьшений энергии адсорбции отдельных фрагментов молекул;

д) химическому потенциалу компонента в растворе.

50. Масса адсорбента необходимая для очистки заданного объема воды в статических условиях зависит:

а) от исходной концентрации компонента;

б) от равновесной концентрации компонента;

в) от величины удельной адсорбции и концентрации проскока;

г) от величины удельной адсорбции, начальной концентрации и концентрации проскока;

д) от изотермы адсорбции.

51. Как влияет ионизация молекул на их адсорбцию?

а) не влияет;

б) адсорбция возрастает при увеличении ионизации;

в) адсорбция неионизированных молекул меньше, чем ионизированных;

г) величина адсорбции зависит от концентрации неионизированных молекул;

д) адсорбция ионизированных и неионизированных молекул одинакова.

52. Адсорбция ПАВ резко возрастает при:

- а) увеличении молекулярного веса ПАВ;
- б) увеличении объема микропор в адсорбенте;
- в) достижении критической концентрации мицеллообразования;
- г) достижении равновесной концентрации вещества в растворе;
- д) переходе от неионогенных ПАВ к катионным или анионным ПАВ.

53. При концентрациях выше критической концентрации мицеллообразования адсорбция ПАВ будет увеличиваться:

- а) на микропористых адсорбентах;
- б) на непористых и макропористых адсорбентах;
- в) при образовании мицелл в растворе;
- г) при сорбции молекул ПАВ на поверхности мицелл;
- д) при ассоциации молекул ПАВ в растворе.

54. Скорость адсорбции вещества возрастает:

- а) при снижении концентрации компонента;
- б) при уменьшении равновесной адсорбции;
- в) при повышении равновесной концентрации компонента и снижении равновесной адсорбции;
- г) в начальный период адсорбции при высокой концентрации компонента в растворе и низком значении величины адсорбции;
- д) при снижении значений коэффициентов поверхностного массопереноса.

55. Процесс адсорбции вещества из раствора является:

- а) пятистадийным процессом;
- б) двухстадийным процессом;
- в) трехстадийным процессом;
- г) одностадийным процессом;
- д) четырехстадийным процессом.

56. Внешний массоперенос при адсорбции является лимитирующей стадией адсорбции:

- а) при очень низких концентрациях компонента;
- б) при высоких концентрациях компонента;
- в) при высоких концентрациях компонента при перемешивании;
- г) при интенсивном перемешивании раствора;
- д) при значениях критерия БИО (Bi) $> 0,1$.

57. При адсорбции в динамических условиях зоной массопереноса или толщиной рабочего слоя адсорбента называют:

- а) зону формирования фронта адсорбции;
- б) толщину неиспользованного слоя адсорбента;
- в) общую длину слоя адсорбента;
- г) участок адсорбента, где концентрация компонента изменяется от начальной к концентрации проскока;
- д) участок адсорбента, где концентрация компонента снижается от начальной к нулю.

58. Время защитного действия адсорбента, по уравнению Шилова, зависит:

- а) от равновесной концентрации компонента;
- б) от концентрации проскока;
- в) от толщины слоя адсорбента, коэффициента защитного действия адсорбента, потери времени защитного действия;
- г) длины зоны формирования фронта адсорбции;
- д) зернистости адсорбента.

59. Процесс ионного обмена при очистки воды:

- а) это обмен ионами в растворах солей;
- б) это обмен ионами в растворах кислот и оснований;
- в) это процесс обмена противоионов ионообменного материала на противоионы которые находятся в воде;
- г) это процесс обмена ионами при нейтрализации растворов кислот растворами оснований;
- д) это процесс обмена противоионов ионита на коионы раствора.

60. Катиониты – это:

- а) полимерные микропористые материалы;
- б) нерастворимые в воде материалы содержащие в своей структуре фиксированные (связанные) катионные группы;
- в) нерастворимые в воде материалы, которые содержат в своей структуре фиксированные (связанные) анионные группы;
- г) иониты, противоионами в которых выступают анионы;
- д) сорбенты, содержащие в своей структуре аминные группы.

61. Потенциалопределяющими ионами в анионитах есть:

- а) анионы;
- б) анионы и катионы;
- в) сульфонаты и фосфонаты;
- г) катионы;
- д) карбоксилаты.

62. Форму ионита определяет:

- а) тип полимерного материала;
- б) зернистость материала;
- в) тип потенциалопределяющих ионов;
- г) тип противоионов;
- д) тип коионов.

63. Переход ионита из одной формы в другую (процесс ионного обмена) зависит от:

- а) обменной емкости ионита;
- б) скорости фильтрования раствора;
- в) типа коионов;
- г) селективности противоионов и их концентрации;
- д) типа потенциалопределяющих ионов.

64. Селективность ионита по ионам возрастает при:

- а) снижении концентрации ионов;
- б) повышении концентрации ионов;
- в) повышении заряда и снижении объема гидратированного иона;
- г) повышении радиуса гидратной оболочки иона;
- д) уменьшении радиуса иона.

65. Обменная емкость ионита – это:

- а) количество ионов, способное сорбироваться единицей объема или массы ионита;
- б) объем пор ионита;
- в) масса растворителя сорбированная единицей массы ионита;
- г) влажность ионита;
- д) удельная площадь поверхности адсорбции.

66. Обменная емкость в статических условиях зависит:

- а) от времени контакта раствора с ионитом;
- б) от кинетических факторов;
- в) от лимитирующей стадии процесса;
- г) от начальной концентрации ионов;
- д) от равновесной концентрации ионов.

67. Обменную емкость ионита в динамических условиях определяют:

- а) по изотерме адсорбции;
- б) по выходной кривой адсорбции;
- в) по исходной концентрации раствора;

- г) по скорости фильтрования раствора;
- д) по равновесной концентрации ионов.

68. Для регенерации сильнокислотного катионита и перевода его в Na^+ форму используют:

- а) растворы соляной кислоты;
- б) растворы серной кислоты;
- в) растворы щелочи;
- г) растворы хлорида натрия;
- д) растворы соды.

69. Метод флотации – это:

- а) метод очистки воды отстаиванием;
- б) метод очистки воды при пропускании ее через пористые материалы;
- в) метод очистки воды обработке ее коагулянтом;
- г) метод очистки воды при использовании флокулянтов и отстаивания;
- д) метод очистки воды, основанный на пропускании пузырьков газов через воду для вынесения этих примесей на поверхность в виде пленки, шлама или пены.

70. Удаление из воды ПАВ при пропускании пузырьков газа – это:

- а) макро флотация;
- б) пенная флотация;
- в) пенное фракционирование;
- г) микро флотация;
- д) пленочная флотация.

71. Метод, в котором диспергирование газа в водной среде происходит за счет пропускание его через пористую перегородку, называют:

- а) механической флотацией;
- б) вакуумной флотацией;
- в) напорной флотацией;
- г) пневматической флотацией;
- д) электрохимической флотацией.

72. Процесс электрофлотации происходит за счет образования пузырьков газов:

- а) при насыщении воды воздухом при давлении;
- б) при выделении растворенных газов в вакууме;
- в) при образовании газов при электролизе воды;

- г) при механическом перемешивании воды;
- д) при выделении газов образующихся за счет химических реакций.

73. Мембранные методы очистки воды основаны на использовании:

- а) песчаной фильтрующей загрузки;
- б) полупроницаемых мембран;
- в) металлических сеток и решеток;
- г) намывных фильтров;
- д) насыпной фильтрующей загрузки.

74. Мембранные методы очистки воды, основанные на фильтровании раствора через полупроницаемые мембраны за счет избыточного давления называют:

- а) диализом;
- б) баромембранными процессами;
- в) первапорацией;
- г) электродиализом;
- д) мембранной дистилляцией.

75. Показатель, который определяют из соотношения рабочего и осмотического давления при минимальной производительности мембраны называют:

- а) коэффициентом отражения мембраны;
- б) коэффициентом фильтрования мембраны;
- в) селективностью мембраны;
- г) обменным потоком через мембрану;
- д) коэффициентом задержания.

76. Баромембранный процесс используемый для удаления из воды ионов и низкомолекулярных веществ называют:

- а) микрофильтрацией;
- б) обратным осмосом;
- в) ультрафильтрацией;
- г) диализом;
- д) первапорацией.

77. Величина рабочего давления в обратном осмосе зависит:

- а) от селективности процесса;
- б) от производительности процесса;
- в) от температуры процесса;
- г) от материала мембраны;

д) от осмотического давления данного раствора.

78. В каком мембранном методе используют наиболее высокие рабочие давления?

- а) в диализе;
- б) в мембранной дистилляции;
- в) в обратном осмосе;
- г) в ультрафильтрации;
- д) нанофильтрации.

79. В каком мембранном процессе движущей силой является градиент концентраций растворенного вещества с обеих сторон мембраны?

- а) в ультрафильтрации;
- б) в мембранной дистилляции;
- в) в микрофильтрации;
- г) в диализе;
- д) в нанофильтрации.

80. В каком методе движущей силой процесса является разность парциального давления паров растворителя с обеих сторон мембраны?

- а) в диализе;
- б) в обратном осмосе;
- в) в мембранной дистилляции;
- г) в микрофильтрации;
- д) в ультрафильтрации.

81. Как влияет концентрационная поляризация на работу мембраны?

- а) повышает продуктивность;
- б) снижает селективность;
- в) снижается продуктивность и селективность мембраны;
- г) увеличивается трансмембранный поток;
- д) снижается рабочее давление.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Адсорбция - это процесс концентрирования отдельных веществ или компонентов раствора на поверхности твердой фазы при самостоятельном переходе вещества из газовой фазы или раствора к поверхности раздела фаз. **Физическая адсорбция** - это адсорбция за счет сил межмолекулярного взаимодействия Ван-дер-Ваальса. **Активированная адсорбция** - это адсорбция, которая проходит с образованием специфических соединений между компонентом и адсорбентом с включением молекул компонента в кристаллическую структуру адсорбента.

Адсорбент - вещество, которое адсорбирует.

Адсорбат (адсорбтив) - компонент, который адсорбируется.

Адсорбционный объем - пленка вещества, которая находится на поверхности адсорбента.

Адсорбционная пузырьковая сепарация - все процессы, связанные с переходом вещества в слой пены за счет адсорбции к пузырькам газа.

Вязкость жидкости - это свойство жидкости оказывать сопротивление передвижению ее частиц и характеризующее степень ее текучести. **Динамическая вязкость жидкости** - сила сопротивления перемещению слоя жидкости площадью 1 см^2 на 1 см со скоростью 1 см/сек . **Кинематический коэффициент вязкости ν** может быть получен как отношение динамической вязкости к плотности вещества, $\text{м}^2/\text{с}$. **Приведенная вязкость** зависит от концентраций раствора, свойств высокомолекулярных соединений, свойств растворителя, в значительной мере зависит от взаимодействия макромолекул в растворе между собою. **Характеристическая вязкость** - величина, которая определяется относительным изменением вязкости раствора при добавлении полимера, $\text{см}^3/\text{г}$, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Гелевая пористость - это пористость между полимерными молекулами и углеводными цепями полимерных агломератов.

Гетерокоагуляция - коагуляция в гетерофазных полидисперсных системах называется.

Гетерогенная система состоит из двух и больше фаз - жидкость и твердые примеси.

Гомогенная система - однородная система, химический состав и физические свойства которой во всех частях одинаковы или меняются непрерывно, без скачков (между частями системы нет поверхностей раздела). В гомогенной системе из двух и более химических компонентов каждый компонент распределен в массе другого в виде молекул, атомов, ионов. Составные части гомогенной системы нельзя отделить друг от друга механическим путем.

Гравитационная коагуляция - коагуляция за счет направленного перемещения частиц с разной скоростью под действием силы тяжести.

Градиентная коагуляция наблюдается в моно- и полидисперсных системах при условии, что размер некоторых частиц превышает критический размер 2...3 мкм. В этом случае перемешивание, которое приводит к неравномерному движению отдельных потоков воды, обуславливает столкновение и слипание частиц на границе макро- и микропотоков.

Гуминовые вещества - полициклические органические вещества, которые имеют плоскую структуру из ароматических циклов.

Динамические условия - это условия, при которых через слой сорбента с заданной скоростью фильтруют раствор электролита.

Длина рабочего слоя сорбента - это такой участок адсорбента, на котором концентрация компонента в растворе при его фильтровании через слой адсорбента уменьшается от начальной концентрации до нуля.

Емкость ионита – это количество ионов (мг-экв), которые способны сорбироваться единицей объема или массы ионита. Чаще определяется в г-экв/м³.

Емкость ионита до проскока - количество ионов, сорбированных ионитом в динамических условиях до проскока ионов на выходе из колонки относительно объема ионита.

Жесткость воды обусловлена наличием солей кальция и магния. Различают общую и временную жесткость воды. Общая жесткость воды состоит из карбонатной (временной), обусловленной наличием гидрокарбонатов кальция и магния, и некарбонатной (постоянной), обусловленной солями кальция и магния, где анионами являются анионы сильных кислот - в основном хлориды и сульфаты.

Изотерма адсорбции растворенного вещества - зависимость величины удельной адсорбции от равновесной концентрации компонента в растворе.

Изоэлектрическая точка - точка нулевого заряда, состояние поверхности тела (или частицы дисперсной фазы) в контакте с раствором электролита, характеризующееся равным числом положительных и отрицательных зарядов в адсорбционном слое.

Ионный обмен - это процесс, при котором происходит обмен противоионов материала на ионы, которые находятся в воде.

Ионообменный материал - это водонерастворимый природный или синтетический материал, на поверхности которого находятся фиксированные анионные, катионные или и те и другие группы.

Кавитация (от лат, cavitas - пустота), образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (так называемых кавитационных пузырьков, или каверн).

Коагулянты - это соли алюминия и железа, способные гидролизироваться в воде с образованием золь гидроксидов, которые могут коагули-

ровать со взвешенными и коллоидными частичками, присутствующими в воде.

Коли-индекс - число кишечных палочек в 1 дм³ воды.

Коли-титр - количество см³ воды, в которых находится 1 кишечная палочка.

Концентрация проскока - это та концентрация, которая допускается в очищенной воде.

Мембранные методы очистки воды - это методы, которые основаны на применении полупроницаемых мембран.

Минеральные адсорбенты - это, в основном, природные алюмосиликаты и глинистые материалы.

Мутность (мг/дм³) - показатель обратный прозрачности воды, зависит от содержания взвешенных веществ, таких как глинистые вещества, органические вещества, мелко-дисперсный песок и т.п.

Набухание полимера - это самопроизвольный процесс поглощения ВМС низкомолекулярной жидкости - растворителя, приводящий к значительному увеличению массы и объема взятого образца.

Негелевая пористость - это пустоты между клубками полимерных молекул, или между гелевыми участками, то есть это каналы, которые получают между сферическими гелевыми частицами.

Противоионы (ПИ) - ионы, которые компенсируют заряд фиксированных ионов и находятся рядом с ними и способны к обмену.

Полная объемная емкость в динамических условиях (ПОДЕ) – это количество сорбированных ионов, отнесенное к объему ионита, при условии, что исходная концентрация (концентрация на выходе) равна начальной концентрации.

Порог коагуляции - минимальная концентрация электролита, при которой наступает переход коллоидной системы из стойкого в нестойкое состояние (коагуляция).

Потенциалопределяющие ионы - это ионы, способные достраивать кристаллическую решетку ядра коллоидной частицы, адсорбируясь на поверхности такой частички.

Полупроницаемость - это проницаемость лишь для растворителя или для компонента.

Регенерация ионита - процесс переведения ионита в исходную форму после исчерпания его емкости в процессе ионообмена.

Сверхэквивалентная сорбция электролита происходит за счет проникновения в ионит недиссоциированных молекул или частично диссоциированных молекул, в состав которых входят коионы.

Синтетическими адсорбентами являются адсорбенты, полученные полимеризацией разнообразных органических мономеров.

Сухой, плотный остаток и остаток после прокаливания. Сухой остаток получают после прокаливания профильтрованной воды. Плотный остаток получают после выпаривания нефильтрованной воды. Прокаленный остаток - остаток, который получается после прокаливания сухого остатка при температуре свыше 400°C . Сухой и прокаленный остаток дают информацию о минерализации воды и содержании в ней органических растворенных веществ. Сухой остаток говорит о количестве в воде всех растворимых веществ, прокаленный - о содержании минеральных растворимых веществ (они при прокаливании не сгорают).

Удельная адсорбционная емкость - это количество адсорбированного вещества единицей массы или объема адсорбента.

Фиксированные ионы – потенциалопределяющие ионы. Они крепко связаны с каркасом матрицы ионообменного материала и не способны к переходу из твердой фазы в раствор.

Флокулянты - высокомолекулярные соединения, которые используются для интенсификации процессов очистки воды и обезвоживания осадков. **Катионные** - флокулянты, в структуру которых входят катионные группы, чаще всего, это аминные $-\text{NH}_2$ или аммонийные группы $(-\text{NH}_4)$ (полиэтиленмин, сополимеры винилпиридина, ВА-212 и др.). К ним относят полиамины, полиаммонийные соли, включая и пиридиновые соединения. Аминные или аммонийные группы могут быть включены непосредственно в полимерную цепь, а могут быть включены в побочные ответвления полимерной молекулы при введении функциональных групп путем модификации полимеров. **Анионные** - флокулянты, в структуру которых включены анионные группы, такие как карбоксильные: $-\text{COOH}$, сульфоновые $-\text{SO}_3\text{H}$, сульфатные $=\text{SO}_4$, фосфатные $\equiv\text{PO}_4$ и т.п. группы (активная кремниевая кислота, полиакрилат натрия, альгинат натрия, лигносульфонаты и др.). Чаще всего анионными флокулянтами являются поликарбоновые кислоты, полисульфаты и полисульфонаты, фосфорированные полисахариды, карбоксицеллюлоза и т.п. вещества. **Амфотерные** - полимеры, содержащие одновременно анионные и катионные группы: полиакриламид, белки и др.. **Неионогенные** - флокулянты, которые не содержат функциональных групп, способных к диссоциации в воде с образованием ионов (полимеры, содержащие неионогенные группы: $-\text{OH}$, $=\text{CO}$ (крахмал, оксиэтилцеллюлоза, поливиниловый спирт, полиакрилонитрил и др.). К неионогенным флокулянтам относятся полиспирты, полиамиды, полиэфиры.

Флокуляция – это процесс укрупнения коллоидных и взвешенных примесей при использовании флокулянтов.

Флотация – это метод очистки природных и сточных вод основан на использовании пузырьков газов для вынесения примесей на поверхность воды в виде пленки, шлама или пены. Суть метода **пенной флотации** сводится к удалению разных веществ, макро-, микро- и коллоидных

частиц из растворов с помощью ПАВ. При **осадительной флотации**, кроме ПАВ, вводится реагент, способный образовывать осадок с веществами, которые выделяются, причем в нерастворенном состоянии вещество, связанное с реагентом, переходит чаще всего при концентрировании в пену. **Адсорбционно-коллоидной флотацией** называется метод, основанный на удалении растворимого вещества предварительно адсорбированного на коллоидных частицах за счет флотации коллоидных частиц. При **напорной флотации** воду насыщают воздухом при избыточном давлении в специальных пневматических камерах, при этом достаточно, чтобы лишь часть воды насыщалась воздухом. Выделение пузырьков газов происходит при внесении водовоздушной смеси в флотационную камеру, в которой давление снижается до атмосферного. Вследствие понижения растворимости газов, при уменьшении давления, воздух выделяется в виде мелких пузырьков. В случае **пневматической флотации** диспергирование газа происходит за счет пропускания его через пористую перегородку. Размеры пузырьков газа при этом зависят от высоты слоя жидкости, размеров пор и давления воздуха. **Механическая флотация** – это метод, при котором воздух смешивается с водой с помощью высокооборотных импеллерных мешалок. При **вакуумной флотации** в флотационной камере создается вакуум, который приводит к выделению растворимых в воде газов за счет уменьшения их растворимости при снижении давления. В случае **электрохимической флотации** образование газов происходит за счет электролиза воды при пропускании постоянного электрического тока через воду. На катодах происходит выделение водорода (H_2), на анодах происходит выделение кислорода (O_2), а также в отдельных случаях растворения анодов с образованием гидроксидов металлов. Наиболее распространенными методами флотации является напорная флотация, пневматическая и электрохимическая флотации. Метод **механической флотации** в основном применяется при обогащении руд и редко используется при очищении воды. **Химическая флотация**, которая основана на образовании газов за счет протекания химических реакций, мало распространена из-за низкой эффективности и вторичного загрязнения воды реагентами.

Хемосорбция - это адсорбция, которая происходит по счет связывания компонента с адсорбентом по определенным химическим реакциям.

Щелочность воды обусловлена присутствием в воде ионов OH^- и HCO_3^- , CO_3^{2-} .

Электроосмос - движение жидкости через капилляры или пористые диафрагмы при наложении внешнего электрического поля.

Электрофорез - перемещение коллоидных частиц в электрическом поле при неподвижном растворе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Луканин, А. В. Инженерная экология: процессы и аппараты очистки сточных вод и переработки осадков : учеб. пособие / А. В. Луканин. — Москва : ИНФРА-М, 2018. — 605 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа: <https://new.znaniyum.com>]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org / 10.12737/22139](http://www.dx.doi.org/10.12737/22139). - ISBN 978-5-16-012132-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniyum.com/catalog/product/924677>.
2. Ксенофонов, Б. С. Водоподготовка и водоотведение : учебное пособие / Б. С. Ксенофонов. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. — 298 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-8199-0679-8. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniyum.com/catalog/product/1083206>.
3. Тимофеева, С. С. Промышленная экология. Практикум : учеб. пособие / С.С. Тимофеева, О.В. Тюкалова. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2017. — 128 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-102505-5. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniyum.com/catalog/product/858602>.
4. Ветошкин, А.Г. Инженерная защита гидросферы от сбросов сточных вод : учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Инфра-Инженерия, 2019. - 296 с. - ISBN 978-5-9729-0277-4. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniyum.com/catalog/product/1053372>.
5. Луканин, А. В. Процессы и аппараты биотехнологической очистки сточных вод: Учебное пособие/Луканин А.В. - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 242 с. (Высшее образование: Бакалавриат) ISBN 978-5-16-011332-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znaniyum.com/catalog/product/519990>.

Учебное издание

**ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ
ПРОМЫШЛЕННЫХ СБРОСОВ**

Учебно-методическое пособие

Составители: **Кучерик** Галина Валентиновна,
Омельчук Юлия Аркадьевна

В авторской редакции

Изд. № 42/2024. Объем 5,5 п.л. Усл. печ. л. 5,11. Уч.-изд. л. 5,39.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»