

Р. И. Ибрагимова Н. Ю. Бусыгин

**ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»

Р. И. Ибрагимова Н. Ю. Бусыгин

**ОСНОВЫ ЗАЩИТЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия

Санкт-Петербург
2017



ВВЕДЕНИЕ

Общие методические указания

Для изучения курса студентам рекомендуется следующий порядок. Материал необходимо изучать последовательно, по программе и учебнику. При этом особое внимание следует обратить на усвоение понятий, определений, законов, вывод уравнений и решение задач. **Изучаемый материал студентом конспектируется.** Проработав тему, нужно записать в конспект ответы на вопросы для самопроверки, разобрать примеры, проверить свои знания путем решения типовых задач, а затем приступить к решению задач контрольной работы. **Конспект курса с ответами на вопросы для самопроверки и зачетные контрольные работы предъявляются на экзамене.**

Если в процессе изучения курса появляются вопросы, их следует выяснить на аудиторных занятиях или путем письменной консультации с преподавателем.

Студент выполняет одну контрольную работу. Выполнение контрольной работы состоит в решении задач, к которому следует приступить только после усвоения соответствующих разделов курса. Отвечать на вопросы необходимо давать в той же последовательности, в какой они записаны в условиях задач.

Графики, которые необходимо выполнить по условиям задач, вычерчиваются на миллиметровой бумаге. Выполняя график, необходимо помнить следующее:

- 1) размер графика должен быть не меньше 15 x 15 см;
- 2) на осях координат отмечаются через равные интервалы масштабные единицы;
- 3) масштаб выбирается таким образом, чтобы от точки пересечения координат до их конца расстояние было немного больше, чем разность между наибольшими и наименьшими значениями координат точек;
- 4) точки должны четко наноситься на график в соответствии с выбранным масштабом без нанесения дополнительных линий их координат;
- 5) точки соединяются плавной кривой таким образом, чтобы большинство из них попало на кривую, или были в одинаковой мере отдалены по обе стороны кривой;
- 6) при нахождении производной графическим способом следует брать отношение фактических размеров отрезков, отсекаемых касательной на оси координат.

Вариант каждого номера задачи выбирается по двум последним цифрам шифра, написанного на студенческом билете и в зачетной книжке, и числу вариантов данной задачи. Если последние цифры шифра меньше или равны числу вариантов задачи, нужно решить задачу, номер варианта которой равен последним двум цифрам шифра. Например, если последние цифры шифра 21, то студентом выполняется задача 21-го варианта. В том случае, когда последние две цифры больше числа вариантов задачи, решается задача, номер варианта кото-

рой равен остатку от деления последних двух цифр шифра на число вариантов задач. Например, если последние две цифры шифра 58, число вариантов задачи 21, то студентом выполняется задача 16-го варианта. Если последние две цифры делятся без остатка на число вариантов данной задачи, решается задача по последнему варианту. Например, если последние две цифры шифра 75, а число вариантов 25, то выполняйте задачу 25-го варианта.

Рекомендуемая литература

Основная литература:

1. Панов, В. П. Инженерная защита окружающей среды / В. П. Панов, Н. Ю. Бусыгин. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 304 с.
2. Гребенников, С. Ф. Физическая и коллоидная химия процессов защиты и реабилитации объектов окружающей среды / С. Ф. Гребенников, Л. М. Молодкина, М. Ю. Андрианова. – СПб.: СПГУТД, 2010. – 421 с.
3. Родионов А. И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов / А. И. Родионов, Ю. П. Кузнецов, Г. С. Соловьев. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 392 с.

Дополнительная литература:

4. Ветошкин А. Г. Процессы инженерной защиты окружающей среды. / А. Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2005.

Изучаемые разделы

1. Введение.
Классификация примесей в промышленных выбросах и сбросах.
2. Дисперсные системы.
Размеры частиц, кинетическая и агрегативная устойчивость дисперсных систем. Дисперсный состав и свойства пыли.
3. Осветление сточных вод и очистка газовоздушных выбросов под действием сил тяжести и центробежной силы.
Выделение грубодисперсных частиц отстаиванием и мелких частиц центрифугированием. Технологическое моделирование процессов осветления сточных вод.
Физические основы очистки газов от пыли гравитационными, инерционными методами.
4. Очистка сточных вод и газовоздушных выбросов фильтрованием.
Кинетика осветления сточных вод фильтрованием. Фильтрующие материалы. Технология осветления природных и сточных вод фильтрованием.
5. Коагуляционное осветление сточных вод.
Гидролиз солей – коагулянтов и изменение рН. Коагуляция взвешенных частиц в дисперсных системах. Особенности применения различных коагулянтов при очистке сточных вод.
6. Флокуляционное осветление сточных вод.

Флокулянты, виды. Технологические основы очистки сточных вод коагуляционно-флокуляционным методом.

7. Флотация. Технологические основы флотационных процессов.

8. Теоретические основы электрохимических процессов при очистке природных и сточных вод.

Катодные и анодные процессы, процессы электрохимического окисления и восстановления в сточных водах. Электрокоагуляционная очистка сточных вод. Гальванокоагуляция в промышленной очистке сбросов. Электрокоагуляция, теория, достоинства и недостатки. Электродиализ и электрофорез, основы процессов и их применения.

9. Адсорбционная очистка сточных вод и газовых выбросов.

Изотермы адсорбции. Теории адсорбции. Основные виды пористых адсорбентов. Кинетика адсорбции. Динамика адсорбции. Динамическая адсорбционная емкость. Степень очистки. Физико-химические основы адсорбционно-каталитической очистки газовых выбросов. Основы технологического оформления адсорбционно-каталитических процессов.

10. Ионообменная очистка сточных вод.

Иониты. Равновесие и кинетика процессов ионного обмена. Умягчение природной воды методом катионного обмена. Адсорбционная очистка промышленных выбросов. Равновесие в системах газ-жидкость.

11. Кинетика абсорбции (физической и с химическим взаимодействием). Абсорбционные методы санитарной очистки вентиляционных газов.

12. Экстракционные методы очистки сточных вод. Фотохимическое обезвреживание сточных вод. Основные закономерности фотокаталитических процессов очистки стоков.

13. Основы биохимических методов очистки сбросов. Технология биологической очистки промышленных и хозяйственных сточных вод. Основы процессов фитоочистки почв и сточных вод.

14. Основы процессов утилизации твердых и бытовых отходов. Основные закономерности процессов механической обработки твердых техногенных отходов. Термохимические процессы обезвреживания техногенных отходов.

15. Основы предотвращения воздействия физических факторов на окружающую среду.

16. Принципы расчета рассеивания примесей в атмосфере.

1. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

Необходимо изучить материал главы 1 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Какие факторы определяют дисперсность сточных вод?

2. Каков размер частиц в грубодисперсных системах?

3. Что понимают под термином «мути»?
4. Какие факторы оказывают наиболее существенное влияние на скорость осаждения мелких частиц согласно закону Стокса?
5. Почему закон Стокса не выполняется применительно к осветлению реальных сточных вод?
6. Охарактеризуйте понятие «гидравлическая крупность частиц». В каких единицах измеряют эту величину?
7. Назовите особенности осаждения взвешенных частиц в агрегативно неустойчивых суспензиях?
8. Какое условие подобия используют для примерного расчета отстойников на основе результатов лабораторных испытаний?
9. На использовании, каких сил основано применение гидроциклонов для осветления сточных вод?
10. Как нужно изменить (уменьшить или увеличить) диаметр гидроциклона, чтобы повысить эффективность задержания наиболее мелких частиц в гидроциклонах?
11. Для каких целей в технологии очистки сточных вод используют центрифугирование?
12. При какой гидравлической крупности частиц используют песколовки?
13. Какова скорость движения воды в горизонтальных песколовках?
14. Приведите формулу для расчета степени осветления сточных вод.
15. Почему фильтрование сточных вод является, как правило, завершающим этапом очистки?
16. В чем состоит главное различие процессов пленочного и объемного фильтрования?
17. В чем состоит сущность процесса суффозии?
18. Охарактеризуйте понятие «плотность насыщения фильтрующего слоя осадком».
19. Определите понятие «время защитного действия фильтрующего слоя».
20. Изобразите выходную кривую процесса фильтрования сточной воды.
21. В чем причина появления «мертвых зон» в фильтрующем слое?
22. Какие факторы определяют продолжительность работы фильтра в режиме очистки воды?
23. Проанализируйте последовательность действий при промывке фильтрующего слоя.
24. Какова приведенная скорость воды в медленных фильтрах?
25. Чем определяется максимальная скорость подачи воды при промывке фильтров?
26. Почему при загрузке фильтров используют зерна примерно одинакового размера?
27. Каковы требования к химической стойкости фильтрующих материа-

лов?

28. Как определяют межзерновую пористость фильтрующего слоя?
29. Чем отличаются намывные фильтры от аппаратов других типов?

Необходимо изучить материал главы 2 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Что понимают в общем смысле под коагуляцией?
2. Чем отличается коагуляция от коалесценции?
3. Определите различие лиофобных и лиофильных дисперсных систем.
4. Охарактеризуйте понятие «изотермическая перегонка» при агрегации частиц дисперсных систем.
5. Перечислите факторы устойчивости дисперсных систем.
6. В результате, каких процессов образуется заряд на поверхности частиц?
7. Определите понятие «электрокинетический потенциал».
8. Каким образом энергия взаимодействия частиц дисперсных систем зависит от расстояния между ними?
9. В чем различие понятий «гетерокоагуляция» и «взаимная коагуляция».
10. Какие вещества используют в качестве коагулянтов?
11. Почему соли алюминия нельзя использовать в качестве коагулянтов при $pH > 8$?
12. В чем достоинства солей железа по сравнению с солями алюминия как коагулянтов?
13. Как изменяется pH среды при добавлении к сточным водам коагулянтов? Объясните, почему.
14. Объясните механизм коагуляции и опишите структуру хлопьев.
15. Какие стадии характерны для процесса коагуляции?
16. В чем сущность гравитационной коагуляции?
17. Какие вещества называют «щелочными коагулянтами»; в чем их достоинства?
18. Для каких сточных вод рекомендуют применять дробную коагуляцию?
19. Какие вещества используют в качестве замутнителей?
20. Каким образом доза вводимого коагулянта зависит от содержания взвешенных веществ в сточной воде?
21. В чем сущность процесса флокуляции?
22. Рассмотрите механизм действия высокомолекулярных веществ после введения их в дисперсные системы.
23. Какие функциональные группы содержатся в молекулах высокомолекулярных анионных флокулянтов?
24. Какими параметрами характеризуют эффективность флокуляции?
25. Флокулирующую способность высокомолекулярных соединений

определяют по формуле $\Phi = U/C_{\min}$. Каков смысл параметра C_{\min} ?

26. Почему введение «больших» доз флокулянта может не привести к должному эффекту при осветлении сточных вод?

27. От каких факторов зависит скорость флокуляции?

28. Напишите примерную формулу звена практически единственного неорганического флокулянта.

29. В чем достоинства полиакриламида как флокулянта по сравнению с другими веществами?

30. Почему флокулянты добавляют в сточные воды после их смешивания с коагулянтами?

31. В чем причина применения флокулянтов в виде разбавленных растворов?

32. Какова примерная влажность шламов (осадков сточных вод), выделяющихся при использовании коагулянтов и флокулянтов?

33. Перечислите основные стадии флотационного процесса.

34. Чем в основном определяется эффективность процесса флотации?

35. Какие параметры определяют работу адгезии?

36. Какое влияние на закономерности флотации оказывает наличие гидратных оболочек частиц?

37. От каких параметров зависит гидростатическая сила подъема пузырька воздуха?

38. Как влияет гидрофобность поверхности твердой фазы на прочность прилипания частиц к пузырькам?

39. Перечислите способы диспергирования воздуха во флотационных системах.

40. Каким должно быть соотношение скорости подхода пузырьков воздуха к частицам и скорости движения воды, чтобы предотвратить разрушение агрегатов?

41. При каких давлениях проводится насыщение воды воздухом при напорной флотации?

42. От каких параметров зависит минимальный размер пузырьков при напорной флотации?

43. Какова примерная продолжительность пребывания воды во флотокамере флотационных установок?

44. Каковы преимущества технологических схем напорной флотации при использовании для насыщения воздухом части очищенной воды по сравнению с насыщением исходной воды?

45. Какие способы удаления флотопены из установок применяют на практике?

46. Какова приемлемая для гидротранспорта влажность флотопены?

Необходимо изучить материал главы 3 в учебнике [1] и законспектиро-

вать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Охарактеризуйте понятия «работа выхода ионов из кристаллической решетки» и «работа выхода ионов из раствора».

2. Объясните причины возникновения скачка электрического потенциала на границе электрод — раствор.

3. В чем физический смысл величины φ_0 в уравнении Нернста?

4. Какие стадии характерны для электродных процессов?

5. Каким образом в электрохимических процессах в отличие от химических может быть выражена скорость реакции?

6. Охарактеризуйте понятие «перенапряжение на электродах». Из каких составляющих складывается общая разность потенциалов E_p в процессе электролиза?

7. Для каких металлов характерно высокое перенапряжение выделения водорода?

8. Как влияет наличие в растворах поверхностно-активных веществ на закономерности электрохимических процессов?

9. Почему при очистке сточных вод на аноде выделяется в основном хлор, а не кислород, хотя $\varphi_0(\text{O}_2) = -1,23 \text{ В}$, $\varphi_0(\text{Cl}_2) = -1,359 \text{ В}$?

10. Какие процессы могут протекать в объеме электролита под влиянием электрического поля?

11. Почему в электрохимических процессах очистки сточных вод выход по току может превышать 100 %?

12. Какие виды коагуляции могут иметь место при проведении процесса электрокоагуляции?

13. Укажите достоинства и недостатки процессов электрокоагуляции по сравнению с применением реагентов-коагулянтов.

14. В чем существенное отличие гальванокоагуляции от электрокоагуляции?

15. Какие достоинства характерны для стружечных и проволочных электродов в электрохимических процессах очистки сточных вод?

16. Укажите главные недостатки электрофлотационной очистки сточных вод.

17. Для очистки, каких сточных вод наиболее приемлемо применение метода электрохимической деструкции примесей?

18. В чем состоит сущность методов электродиализа и электрофореза? В каких целях их применяют в защите окружающей среды?

Необходимо изучить материал главы 4 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Определите понятия «сырьевая фаза», «пермеат», «ретентат».

2. Назовите параметры, характеризующие селективность мембран. В чем их сущность?

3. Назовите движущую силу процессов мембранного разделения компонентов. Какова ее размерность?
4. Какие мембраны используют в процессах водоочистки? Охарактеризуйте симметричные, асимметричные и композиционные мембраны.
5. Перечислите полимерные материалы, используемые при изготовлении мембран.
6. Каковы размеры пор в мембранах для микрофильтрации и ультрафильтрации?
7. Возможно ли применение для каких-либо процессов разделения непористых мембран?
8. Опишите «пассивный» транспорт в мембранных процессах.
9. Как определяют проницаемость мембран?
10. Напишите уравнение Вант-Гоффа и укажите, для расчета каких растворов его используют.
11. Какие давления применяют в баромембранных процессах?
12. Какое влияние на процессы мембранного разделения оказывают концентрационная поляризация и отложения на поверхности мембран?
13. От каких параметров зависит селективность мембран?
14. Проанализируйте различие между обратным осмосом и пьезодиализом.
15. Приведите примеры использования мембранных технологий в очистке сточных вод.
16. Как изменяется величина поверхностной энергии в процессах физической и химической адсорбции?
17. В чем состоит различие в понятиях «адсорбат» и «адсорбтив»?
18. Какова величина теплоты адсорбции при физической и химической адсорбции?
19. Охарактеризуйте понятие «адсорбирующая способность» («величина адсорбции») адсорбентов.
20. Чем отличаются понятия «изотерма адсорбции» и «изобара адсорбции»?
21. Какие размеры характерны для микропор и мезопор адсорбентов?
22. Почему для микропористых адсорбентов величина удельной поверхности не имеет физического смысла?
23. Изобразите типы изотерм по Брунауэру и охарактеризуйте их.
24. Как влияет температура на процесс адсорбции?
25. Приведите уравнение Ленгмюра для адсорбционного процесса.
26. В чем различие мономолекулярной и полимолекулярной адсорбции?
27. Объясните появление петли гистерезиса на графике процесса адсорбции-десорбции.
28. Напишите уравнение Фрейндлиха для адсорбции и объясните причины его широкого использования на практике.

29. Как изменяется адсорбирующая способность адсорбента при поглощении нескольких компонентов?
30. Как определяют коэффициент разделения при адсорбции нескольких компонентов; зависит ли он от теплоты их адсорбции?
31. Назовите наиболее важное отличие активных углей от других сорбентов, определяющее их широкое промышленное использование?
32. Каковы основные характеристики промышленных адсорбентов?
33. Охарактеризуйте цеолиты, назовите их главный недостаток.
34. Что понимают под продолжительностью полуотработки адсорбционной емкости?
35. Как увеличить скорость адсорбционного процесса, протекающего во внутридиффузионной области?
36. Рассмотрите динамику адсорбции и объясните закономерности перемещения фронта адсорбции.
37. Изобразите выходную кривую при адсорбции.
38. В уравнении Шилова $\tau_{пр} = k_1 - \tau_0$ объясните физический смысл величин k и τ_0 .
39. Какие стадии характерны для процессов адсорбционной очистки газовых выбросов с регенерацией адсорбентов?
40. Приведите примеры рационального использования активированных углей для очистки сточных вод.
41. Напишите уравнение эквивалентного ионного обмена.
42. Какова структура смоляных ионитов?
43. Каковы функциональные группы ионитов, обладающих сильноокислотными свойствами?
44. К каким анионитам относят иониты, содержащие группы $—NH_2$, $=NH$, $\equiv N$?
45. Охарактеризуйте понятие «рабочая обменная емкость».
46. В чем различие статической и динамической обменных емкостей ионитов?
47. Укажите пределы изменения статической обменной емкости (мг-экв/г) синтетических ионитов.
48. Приведите график изменения концентрации поглощаемых ионов в растворе, выходящем из адсорбера, от пропущенного объема раствора. Опишите графический метод определения динамической и рабочей обменных емкостей.
49. В чем суть сверхэквивалентного ионного обмена; в каких условиях он возможен?
50. Какую роль в процессах ионного обмена играет стадия набухания ионита?
51. Какую закономерность выражает лиотропный ряд?
52. Возможно ли применение для характеристики процесса ионного об-

мена изотерм адсорбции? В чем отличие ионного обмена от процесса адсорбции?

53. Какие факторы оказывают наибольшее влияние на кинетику процессов ионного обмена?

54. Укажите формулу для расчета рабочей обменной емкости ионитового фильтра, если S — площадь сечения фильтра, h — высота слоя ионита.

55. От каких параметров зависит продолжительность стадии сорбции ионов?

56. Каким образом осуществляют регенерацию ионитов?

57. Приведите уравнения реакций катионообменного умягчения воды в процессах водоподготовки.

58. Какие методы регенерации катионитов в процессах водоподготовки применяют в промышленности? Назовите их достоинства и недостатки.

59. Перечислите известные вам марки катионитов и их характеристики.

60. В чем различие прямого и косвенного фотолиза?

61. Объясните сущность процессов, протекающих при воздействии ультрафиолетового облучения на органические молекулы.

62. Охарактеризуйте темновые стадии химического превращения.

63. Какие факторы определяют эффективность превращений органических молекул при комбинированном воздействии ультрафиолетового облучения и окислителей?

64. Почему рекомендуют применять в фотохимических процессах очистки сточных вод такие окислители, как кислород и пероксид водорода?

65. В чем состоит сущность процессов фотокатализа?

66. Какие активные частицы образуются в процессах фотокатализа при использовании пероксида водорода?

67. Какие вещества проявляют каталитическую активность в фотохимических процессах?

68. От каких факторов зависит эффективность фотокаталитических процессов?

69. Для каких целей используют процессы жидкостной экстракции в инженерной защите окружающей среды?

70. Охарактеризуйте понятие «коэффициент распределения компонента».

71. Какие требования предъявляют к экстрагентам?

72. Изобразите изотерму экстракции в системе вода — экстрагируемое вещество — экстрагент.

73. Какое влияние оказывает химическое взаимодействие растворителя с экстрагируемым веществом на процесс извлечения?

74. В каких случаях важно учитывать температуру кипения экстрагента и возможность образования азеотропных смесей?

75. В каких случаях экстракции проявляется синергетический эффект?

76. Объясните механизм экстракции и важность перемешивания фаз.

77. Изобразите схему экстракции органических вещества из сточных вод по методу ступенчатого противотока.

78. Определите понятие «рафинат».

79. В каком случае: ступенчатого противотока или перекрестного тока — концентрация экстрагируемого вещества выше в рафинате при прочих равных условиях?

80. В чем сущность фактора экстракции; как его определяют?

Необходимо изучить материал главы 5 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Каковы состав и характеристики активного ила?

2. Охарактеризуйте простые и сложные ферменты.

3. Объясните механизм проникновения веществ в клетки микроорганизмов.

4. Какие факторы определяют доступность органического углерода для бактерий?

5. Напишите простейшую по механизму ферментативную реакцию.

6. Каковы особенности кинетики ферментативных реакций?

7. В чем заключается ингибирование ферментативных реакций?

8. Каким образом осуществляется аэрация аэротенков?

9. Какая последовательность аппаратов (стадий) характерна для технологических схем аэробной очистки стоков?

10. Какова доза активного ила в аэротенке?

11. Что такое избыточный активный ил; откуда он берется?

12. В чем принципиальное отличие биофильтров от аэротенков?

13. Для каких целей используют биологические пруды? Назовите их главный недостаток.

14. Охарактеризуйте процесс биологической нитрификации.

15. Как проводят аэробную стабилизацию осадков?

16. Какова роль анаэробной очистки сточных вод?

17. Какие стадии характерны для анаэробного сбраживания осадков?

18. Какие продукты получают при анаэробном сбраживании илов и осадков?

19. При какой температуре проводят сбраживание илов и осадков?

20. Назовите преимущества фитоочистки сточных вод.

21. Какие растения применяют при очистке от загрязняющих веществ на фильтрационных полях?

22. Каков механизм фитоочистки сточных вод и осадков от органических загрязнителей?

23. Какие факторы благоприятствуют повышению эффективности фитоочистки?

Необходимо изучить материал главы 6 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. В чем сущность обеззараживания воды?
2. От чего зависит бактерицидный эффект хлора?
3. Что такое хлоропоглощаемость воды?
4. Для чего могут вводить аммиак в воду при ее хлорировании?
5. Охарактеризуйте достоинства и недостатки обеззараживания воды хлором.
6. В чем преимущества использования гипохлорита натрия по сравнению с применением жидкого хлора?
7. В чем отличие действия хлора при обеззараживании природных и сточных вод?
8. Какие реагенты используются для дехлорирования воды?
9. В чем преимущества и недостатки метода обеззараживания воды озонном?
10. Какими методами получают озон для установок обеззараживания воды?
11. В чем суть процесса обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами?
12. Чем обусловлено бактерицидное действие УФ облучения воды?
13. Укажите другие известные Вам методы обеззараживания воды.
14. Проведите технико-экономическое сравнение методов обеззараживания воды.
15. Какими методами производится дегазация природных вод?
16. Какими способами осуществляется аэрирование вод и каковы их преимущества?
17. Перечислите реагентные способы удаления из воды дурнопахнущих растворенных газов.
18. В чем сущность электрохимических методов обескислороживания воды?

Необходимо изучить материал главы 7 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. В чем различие понятий «пыль» и «уловленная пыль»?
2. Охарактеризуйте понятия «пылесодержание», «концентрация пыли по числу частиц».
3. Какой смысл вкладывают в понятие «скорость витания частиц»?
4. Что понимают под проходом и остатком в ситовом анализе?
5. Чем отличаются термины «плотность», «кажущаяся плотность», «насыпная плотность» частиц?
6. Как определяют удельную поверхность частиц?

7. От каких параметров зависит эффективность очистки пылей в пылеосадочных аппаратах?
8. Для каких целей в промышленности применяют циклоны?
9. За счет каких сил происходит выделение твердых частиц при фильтрации через пористые перегородки?
10. Назовите основной фактор, оказывающий влияние на захват частиц фильтрующими перегородками за счет сил касания.
11. Какова величина напряжения на коронирующем электроде в процессах электрической очистки газовых выбросов?
12. Из каких стадий состоит процесс улавливания частиц в электрофильтрах?
13. От каких факторов зависит скорость движения частиц к коронирующему электроду?
14. Объясните явление перезарядки частиц пыли на электродах и последствия этого для процессов очистки газов.
15. Какова скорость газов в аппаратах и подводящих газопроводах к электрофильтрам?
16. В каких отраслях промышленности для очистки отходящих газов применяют электрофильтры?

Необходимо изучить материал главы 8 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. В чем принципиальное отличие физической абсорбции от хемосорбции?
2. Почему для очистки промышленных выбросов и вентиляционных газов используют в основном хемосорбционные процессы?
3. Напишите уравнения для констант фазового равновесия при различных способах выражения концентраций компонентов.
4. От каких параметров зависит константа фазового равновесия?
5. При каких условиях проведения абсорбционных процессов константа фазового равновесия равна константе Генри?
6. Следует ли учитывать в процессах хемосорбции физическую растворимость компонентов; как это сделать?
7. Напишите общее уравнение материального баланса абсорбционного процесса.
8. От каких параметров зависит скорость абсорбции, протекающей во внешнедиффузионной области?
9. Покажите распределение концентрации поглощаемого компонента в фазах согласно пленочной модели.
10. Как влияет скорость химической реакции на кинетику абсорбционных процессов?
11. Назовите движущую силу процесса при физической абсорбции?

12. Объясните понятие состояния абсорбции, называемого «эмульгированием жидкости».

13. Приведите примеры хемосорбционной очистки отходящих газов.

Необходимо изучить материал главы 9 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Может ли катализатор изменить равновесие (термодинамику) реакции?

2. Объясните различия гомогенного, гетерогенного и ферментативного катализа.

3. Рассмотрите механизм каталитических процессов.

4. Какие типы катализаторов используют в гетерогенном катализе?

5. Из каких трех компонентов состоит контактная масса твердых катализаторов?

6. Какие элементы и какие вещества проявляют наибольшую каталитическую активность при очистке промышленных выбросов?

7. От каких основных факторов зависит степень очистки газовых выбросов в каталитических процессах?

8. Приведите примеры промышленного использования процессов каталитического обезвреживания отходящих газов.

9. Охарактеризуйте контактные яды.

10. Являются ли процессы с использованием реактива Фентона чисто каталитическими процессами? Объясните сущность метода.

11. Какая стадия является первоначальной в адсорбционно-каталитических процессах?

12. Как определяется каталитическая активность катализатора?

13. Как изменяется порядок реакции в каталитических процессах и почему он может быть дробным?

14. Можно ли ускорить процессы, протекающие в диффузионной области, с помощью катализатора?

15. В каких случаях используют аппараты с совмещением процессов адсорбции и каталитического обезвреживания?

16. Как осуществляется регенерация адсорбента в адсорбционно-каталитических процессах?

17. Почему эффективность адсорбционно-каталитических процессов может быть высокой при повышенных температурах?

18. Зачем на стадии регенерации адсорбционно-каталитического реактора иногда устанавливают дополнительно обогреваемый реактор в конце технологической линии?

Необходимо изучить материал главы 10 в учебнике [1] и законспектировать ответы на вопросы для самопроверки.

1. Охарактеризуйте примерные объемы твердых отходов, содержащих

токсичные вещества.

2. Какие высокотоксичные вещества (элементы) содержатся в шламах гальванических производств?

3. Какие основные источники образования золошлаковых отходов?

4. Охарактеризуйте три вида наиболее крупнотоннажных отходов целлюлозно-бумажной промышленности.

5. Какова доля перерабатываемых твердых бытовых отходов в России от их общего количества?

6. Какие виды продукции могут быть получены при переработке золошлаковых отходов?

7. Почему нельзя использовать напрямую осадки сточных вод в сельском хозяйстве?

8. Охарактеризуйте основные показатели и свойства избыточных активных илов биологических очистных сооружений.

9. В чем достоинства и недостатки метода анаэробного сбраживания избыточных илов и осадков сточных вод?

10. В чем состоит цель обезвоживания осадков, и какие используются методы?

11. Охарактеризуйте сущность и условия процессов компостирования осадков.

12. Каковы условия сжигания илов и осадков, обеспечивающие минимальное загрязнение окружающей среды?

13. Какие токсичные вещества могут попадать в атмосферу при сжигании илов и осадков?

14. Какие методы очистки выхлопных газов используются на заводах по сжиганию илов и осадков?

15. Перечислите методы термической обработки отходов и покажите их многовариантность.

16. В чем достоинства и недостатки методов высокотемпературного обезвреживания отходов?

17. Проанализируйте методы переработки коммунальных отходов, особенности их реализации, достоинства и недостатки.

18. Как устроены полигоны для захоронения твердых бытовых отходов, в чем их недостатки?

19. Каков усредненный состав твердых бытовых отходов крупных городов?

20. Каковы основные направления развития методов обезвреживания и утилизации твердых техногенных отходов?

2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

2.1. Расчет отстойника

Отстаивание применяют для разделения грубых суспензий, в частности для осаждения из сточных вод грубодисперсных примесей.

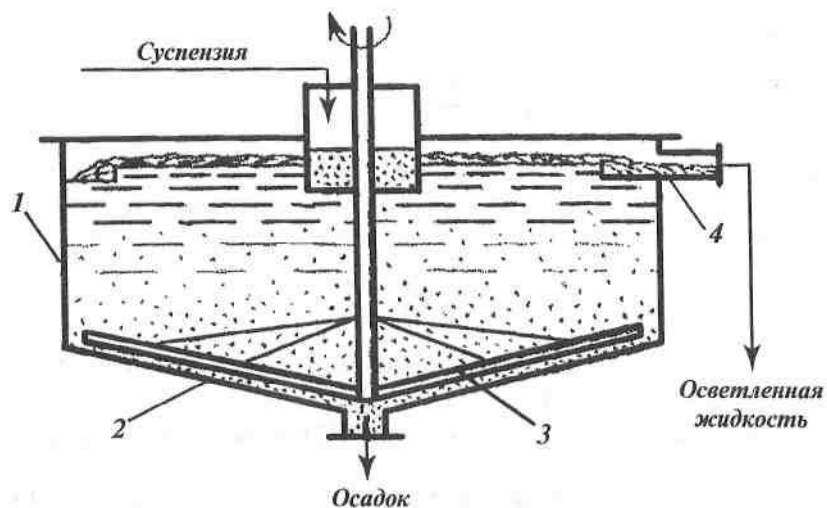


Рис. 2.4. Отстойник для суспензий:

1 – цилиндрический корпус; 2 – днище;
3 – гребковая мешалка; 4 – кольцевой желоб для сбора осветленной жидкости

Отстаивание происходит под действием сил тяжести. Для проведения процесса используют песколовки, отстойники и осветлители.

В промышленности широко применяют отстойники непрерывного действия с гребковой мешалкой (рис. 2.4).

При расчете отстойников основной расчетной величиной является поверхность

осаждения F (в m^2), которую находят по формуле

$$F = K_3 \frac{G_{cm}}{\rho_{ocv} \cdot w_{ct}} \cdot \frac{x_{oc} - x_{cm}}{x_{oc} - x_{ocv}}, \quad (17)$$

где K_3 – коэффициент запаса поверхности, учитывающий неравномерность распределения исходной суспензии по всей площади осаждения, вихреобразование и другие факторы, проявляющиеся в производственных условиях (обычно $K_3 = 1,3 - 1,35$); G_{cm} – массовый расход сходной суспензии, кг/с; ρ_{ocv} – плотность осветленной жидкости, 1000 кг/м^3 ; w_{ct} – скорость осаждения частиц суспензии, м/с; x_{cm} , x_{oc} , x_{ocv} – соответственно содержание твердых частиц в исходной смеси, осадке и осветленной жидкости, массовые доли.

Скорость осаждения частиц суспензии (скорость стесненного осаждения, м/с) можно рассчитать по формулам:

при $\epsilon > 0,7$

$$w_{ct} = w_{oc} \cdot \epsilon^2 \cdot 10^{-1,82(1-\epsilon)}, \quad (18)$$

при $\epsilon \leq 0,7$

$$w_{ct} = \frac{w_{oc} \cdot 0,123 \epsilon^3}{1 - \epsilon}, \quad (19)$$

где w_{oc} – скорость свободного осаждения частиц; ϵ – объемная доля жидкости в суспензии. Величину ϵ находят по соотношению

$$\varepsilon = \frac{1 - x_{см} \rho_{см}}{\rho_T}, \quad (20)$$

где $\rho_{см}$ и ρ_T – соответственно плотность суспензии и твердых частиц, кг/м^3 .

Плотность суспензии можно определить по формуле

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{x_{см}}{\rho_T} + \frac{1 - x_{см}}{\rho_{ж}}}, \quad (21)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность чистой жидкости, кг/м^3 .

Скорость свободного осаждения шарообразных частиц (в м/с) рассчитывают по формуле

$$w_{ос} = \frac{\mu_{ж} \text{Re}}{d_T \rho_{ж}}, \quad (22)$$

где $\mu_{ж}$ – вязкость жидкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$; d_T – диаметр частицы, м; Re – число Рейнольдса при осаждении частицы.

Если частицы имеют не шарообразную форму, то в формулу (22) в качестве d_T следует подставить диаметр эквивалентного шара; кроме того, величину $w_{ос}$ следует умножить на поправочный коэффициент ϕ , называемый коэффициентом формы. Его значения определяют опытным путем. В частности, для округлых частиц $\phi \approx 0,77$, для угловатых – 0,66, для продолговатых – 0,58, для пластинчатых – 0,43.

Значение Re рассчитывают по формулам, зависящим от режима осаждения, что определяется с помощью критерия Архимеда:

$$\text{Ar} = \frac{d_T^3 \rho_{ж} g (\rho_T - \rho_{ж})}{\mu_{ж}}. \quad (23)$$

$$\text{При } \text{Ar} < 36 \quad \text{Re} = \frac{\text{Ar}}{18}; \quad (24)$$

$$\text{при } 36 < \text{Ar} < 83\,000 \quad \text{Re} = 0,152 \text{Ar}^{0,714}; \quad (25)$$

$$\text{при } \text{Ar} > 83\,000 \quad \text{Re} = 1,74 \sqrt{\text{Ar}}. \quad (26)$$

Пример 1

Рассчитать отстойник для сгущения водной суспензии по следующим данным: расход суспензии $G_{см} = 9600$ кг/ч. Содержание твердых частиц: в суспензии $x_{см} = 0,1$, в осадке $x_{ос} = 0,5$, в осветленной жидкости $x_{осв} = 10^{-4}$ кг/кг. Частицы суспензии имеют шарообразную форму. Минимальный размер удаляемых частиц $d_T = 25$ мкм. Плотность частиц $\rho_T = 2600$ кг/м^3 . $\mu_{ж}$ – вязкость жидкости равно 0,001519 $\text{Па} \cdot \text{с}$.

Решение

Определим значение критерия Ar по формуле (23):

$$Ar = \frac{(25 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1000 \cdot 9,81(2600 - 1000)}{(1,519 \cdot 10^{-3})^2} = 0,106.$$

Поскольку $Ar < 36$, рассчитываем Re по формуле (24):

$$Re = \frac{0,106}{18} = 0,00589.$$

Скорость свободного осаждения в соответствии с выражением (22) составит

$$w_{oc} = \frac{0,00589 \cdot 1,519 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 3,58 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

Найдем плотность суспензии по формуле (21):

$$\rho_{см} = \frac{1}{\frac{0,1}{2600} + \frac{0,9}{1000}} = 1066 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (20) определим значение ε :

$$\varepsilon = \frac{1 - 0,1 \cdot 1066}{2600} = 0,959.$$

Поскольку $\varepsilon > 0,7$, для расчета скорости стесненного осаждения применяем формулу (18):

$$w_{см} = 3,58 \cdot 10^{-4} \cdot 0,959^2 \cdot 10^{-1,82(1-0,959)} = 2,77 \cdot 10^{-4} \text{ м/с.}$$

По формуле (17) находим поверхность осаждения, принимая $K_3 = 1,3$ и считая, что плотность осветленной жидкости равна плотности чистой воды:

$$F = 1,3 \frac{9600}{3600 \cdot 1000 \cdot 2,77 \cdot 10^{-4}} \frac{(0,5 - 0,1)}{0,5 - 0,0001} = 10,2 \text{ м}^2.$$

По приведенным данным выбираем отстойник, имеющий поверхность $10,2 \text{ м}^2$.

Пример 2

Определить расход твердого коагулянта $Al_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$, вводимого на кубометр сточной воды для осаждения взвешенных веществ, если необходимая доза коагулянта составляет 100 мг/дм^3 по металлу.

Решение.

Молярная масса $Al_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$ равна 504 г/моль .

В одном моле коагулянта содержится 54 г Al . Для выделения взвешенных веществ из кубометра сточных вод требуется введение 100 г металла .

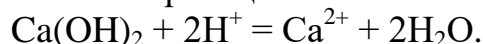
В 504 г сухого коагулянта содержится 54 г Al , а для обеспечения процесса потребуется сухого коагулянта $m = 504 \cdot 100 / 54 = 933,3 \text{ г}$.

Пример 3

В усреднитель поступает 10 м^3 сточной воды с $\text{pH} = 4,0$. Для нейтрализации используется известковое молоко, содержащее $40 \text{ г/дм}^3 \text{ Ca(OH)}_2$. Определить требующийся расход известкового молока на нейтрализацию 1 м^3 сточной воды до $\text{pH} = 7$.

Решение.

Нейтрализация протекает по реакции



Молярная масса Ca(OH)_2 равна 74 г/моль .

Для нейтрализации 2 моль-ионов H^+ требуется 1 моль Ca(OH)_2 , т. е. 74 г Ca(OH)_2 .

Найдем содержание H^+ в сточной воде исходя из значения $\text{pH}=4$.

Т. к. $\text{pH} = -\lg(\text{H}^+)$ и концентрация H^+ в этом уравнении выражается в моль/дм^3 , то можно определить концентрацию H^+ , которая будет равна $C_{\text{H}^+} = 10^{-4} \text{ моль/дм}^3$ или 10^{-4} г/дм^3 .

По условию задачи объем сточной воды измеряется в кубометрах (м^3), поэтому необходимо привести ее в соответствие единицы измерения, в результате содержание H^+ в исходной воде будет равно 10^{-1} моль/м^3 .

Для нейтрализации такого количества ионов H^+ потребуется $37 \cdot 0,1 = 3,7 \text{ г Ca(OH)}_2$, а так как известковое молоко – это суспензия Ca(OH)_2 в воде с содержанием 40 г/дм^3 , то необходимый расход составит $V_{\text{изв.м}} = 3,1 \cdot 1/40 = 0,093 \text{ дм}^3$.

Пример 4

Определить расход активированного угля, используемого для извлечения на 95 % фенола из сточной воды при его содержании $0,2 \text{ мг/дм}^3$, если адсорбционная емкость активированного угля составляет 10 мг/г угля. Расчет провести на 1 м^3 сточной воды.

Решение.

Молярная масса фенола $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ равна 94 г/моль . При степени извлечения фенола из воды 95 % необходимо адсорбировать из 1 м^3 стока $0,2 \cdot 0,95 \cdot 1000 = 190 \text{ мг}$.

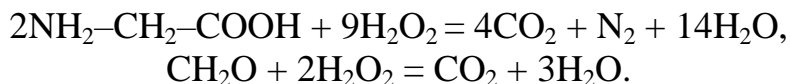
При учете емкости угля по фенолу в указанных условиях потребуется активированного угля $m_{\text{у}} = 190/10 = 19 \text{ г}$.

Пример 5

Определить расход пероксида водорода на минерализацию органических примесей 1 м^3 сточной воды, содержащей 10 мг/дм^3 глицина ($\text{NH}_2\text{—CH}_2\text{—COOH}$) и 20 мг/дм^3 формальдегида (CH_2O), протекающих при использовании фотокаталитической обработки стока. Деструкция протекает на 90 % при введении стехиометрической нормы пероксида водорода.

Решение. Минерализация органических примесей воды протекает по ре-

акциям:



Для полной минерализации глицина (молярная масса 75) и формальдегида (молярная масса 30) по выше приведенным уравнениям требуется пероксида водорода:

$$m'_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{9 \cdot 34 \cdot 10}{2 \cdot 75} = 20,4 \text{ г},$$

$$m''_{\text{H}_2\text{O}_2} = \frac{2 \cdot 34 \cdot 20}{30} = 45,3 \text{ г}.$$

Суммарный расход H_2O_2 составит $20,4 + 45,3 = 65,7 \text{ г/м}^3$.

Пример 6

Определить массу шлама, подлежащую вывозу на захоронение после отделения его отстаиванием от осветленной воды, если объем сточной воды составил $10\,000 \text{ м}^3$ в сутки при содержании в ней взвешенных частиц 400 мг/дм^3 , а степень выделения составляет 95 %. Влажность шлама после осветления отстаиванием составляет 97 %. Как изменится масса вывозимого шлама, если провести его уплотнение до влажности 93 % или провести фильтр-прессование, обеспечивающее влажность шлама 85 %?

Решение.

Определяем массу твердых частиц (взвешенных), выделяемых при осветлении воды отстаиванием.

$$m_{\text{вз}} = 10\,000 \text{ м}^3 \cdot 0,4 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,95 = 3\,800 \text{ кг}.$$

При учете влажности шлама 97 % его общая, масса составит:

$$m_{\text{шл1}} = \frac{3\,800}{0,03} = 126\,700 \text{ кг} = 126,7 \text{ т}.$$

После уплотнения масса шлама составит:

$$m_{\text{шл2}} = \frac{3\,800}{0,07} = 54\,285 \text{ кг} = 54,25 \text{ т}.$$

Если же провести фильтр-прессование шлама, то его масса уменьшится до

$$m_{\text{шл3}} = \frac{3\,800}{0,15} = 25\,333 \text{ кг} = 25,3 \text{ т}.$$

Таким образом, обезвоживание шлама с 97 % до 93 и 85 % приводит к сокращению его массы, предназначенной для вывоза на захоронение соответственно в 2,3 или 5 раз.

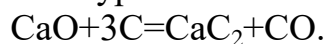
Пример 7

Определить расходные коэффициенты при получении карбида кальция (технического), содержащего (% масс.): CaC_2 – 78; CaO – 15; C – 3; другие примеси – 4. Негашеная известь содержит 96,5 % CaO . Используемый в производстве кокс содержит (% масс.): золы – 4, летучих – 4; влаги – 3. Определить также количество оксида углерода (II) (угарного газа), образующегося при производстве 1 т технического карбида кальция.

Решение.

Молярная масса CaC_2 – 64 г/моль, CaO – 56 г/моль.

Карбид кальция получают по уравнению:



В одной тонне технического карбида кальция содержится 78 % CaC_2 . Расход извести согласно стехиометрическому соотношению:

$$0,78 \cdot 56/64 = 0,675 \text{ т.}$$

В продукте содержится 15 % непрореагировавшего CaO – $1 \cdot 0,15 = 0,15 \text{ т.}$

Суммарный расход CaO $0,675 + 0,15 = 0,825 \text{ т.}$

Суммарный расход технической извести..... $0,825/0,965 = 0,85 \text{ т.}$

Расход углерода (т): на образование CaC_2 $0,78 \cdot 3 \cdot 12/64 = 0,44 \text{ т.}$

Остается непрореагировавшего C $1 \cdot 0,03 = 0,03 \text{ т.}$

Суммарный расход C $0,44 + 0,03 = 0,47 \text{ т.}$

В коксе содержится $100 - (4 + 4 + 3) = 89$ % C , откуда расход кокса составляет $0,47/0,89 = 0,53 \text{ т.}$

Таким образом, для получения 1 т технического карбида кальция расходуется 0,53 т кокса и 0,85 т негашеной извести, т. е. суммарный расход 1,38 т реагентов. Следовательно, 0,38 т исходного сырья переходит в газовую фазу. Согласно стехиометрическому уравнению реакции, при получении 0,78 т CaC_2 образуется $0,78 \cdot 28/64 = 0,341 \text{ т CO.}$

В уходящем газе содержится также $0,53 \cdot 0,04 = 0,021 \text{ т}$ летучих веществ и 0,016 паров воды из кокса.

Пример 8

Определить различие в необходимых дозах подщелачивающего реагента (10 % раствора соды) при введении в 1 м³ сточных воды 100 мг/дм³ коагулянта в расчете на Al_2O_3 , если в первом случае используется обычный хлорид алюминия, а во втором щелочной коагулянт – дигидроксохлорид алюминия.

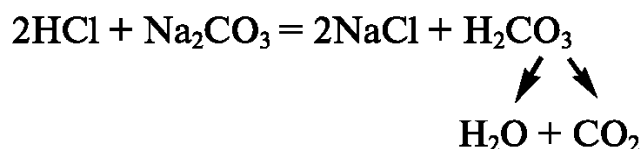
Решение. При расчете расходных коэффициентов учитываем, что 1 моль AlCl_3 (молярная масса 133,5) соответствует 0,5 моля Al_2O_3 (молярная масса 102). Для введения коагулянта 100 мг/дм³ в расчете на Al_2O_3 в 1 м³ сточной воды потребуются введение AlCl_3 в количестве

$$m_{\text{AlCl}_3} = \frac{133,5 \cdot 100}{51} = 261,8 \text{ г.}$$

При гидролизе коагулянта по реакции $\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{HCl}$ образуется хлороводородная кислота в количестве

$$m_{\text{HCl}} = \frac{261,8 \cdot 3 \cdot 36,5}{133,5} = 214,7 \text{ г.}$$

В соответствии с реакцией



для нейтрализации такого количества HCl потребуются введение соды в количестве

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{214,7 \cdot 106}{2 \cdot 36,5} = 311,8 \text{ г или } 3,12 \text{ кг } 10\% \text{-го раствора.}$$

При использовании $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$ (молярная масса 96,5) в дозе 100 мг/дм³ в расчете на Al_2O_3 потребуются введение $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}$ в количестве

$$m_{\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl}} = \frac{96,5 \cdot 100}{51} = 189,2 \text{ г.}$$

При гидролизе такого количества коагулянта по реакции $\text{Al}(\text{OH})_2\text{Cl} + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{HCl}$ образуется HCl в количестве

$$m_{\text{HCl}} = \frac{189,2 \cdot 36,5}{96,5} = 71,6 \text{ г}$$

и, соответственно, для нейтрализации HCl затрачивается соды

$$m_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{71,6 \cdot 106}{2 \cdot 36,5} = 104 \text{ г или } 1,04 \text{ кг } 10\% \text{-го раствора соды.}$$

Таким образом, при использовании щелочного коагулянта расход соды уменьшается в 3 раза по сравнению с процессом, использующим хлорид алюминия.

Пример 9

За час поглощается 1 т SO_2 обжиговых газов чистой водой. Концентрация SO_2 в газе 5 % об. степень поглощения составляет 90 %. Количество орошающей абсорбер воды принимается на 20 % больше минимально необходимого. Процесс проводится при 20 °С и общем давлении 105 Па. Определить необходимое количество воды.

Решение.

Растворимость SO_2 при 20 °С и соответствующее парциальное давление при равновесии следующее:

Содержание SO ₂ (масс. ч. на 100 масс. ч. H ₂ O)	1	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02
Парциальное давление SO ₂ над раствором, Па	7 850	5 200	3 400	1 880	1 120	426	160	66,7

Парциальное давление SO₂ в газе на входе в абсорбер:

$$P_{\text{вх}} = 10^5 \cdot 0,05 = 5\,000 \text{ Па.}$$

Согласно равновесным данным этому давлению соответствует содержание 0,69 кг SO₂ на 100 кг H₂O. При общей массе поглощаемого SO₂ 1 000 кг минимальный расход воды составляет

$$m_{\text{мин}} = \frac{1\,000 \cdot 100}{0,69} = 145\,000 \text{ кг/ч} = 145 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Реальный расход воды

$$m_{\text{р}} = 145 \cdot 1,2 = 174 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Концентрация SO₂ в воде, вытекающей из абсорбера,

$$x_{\text{к}} = \frac{1\,000 \cdot 100}{174\,000} = 0,575 \text{ кг SO}_2 \text{ на } 100 \text{ кг H}_2\text{O.}$$

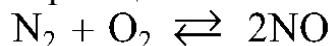
Концентрация SO₂ в выходящем из аппарата газе

$$C_{\text{вых}} = \frac{5 \cdot (1 - 0,9)}{95 + (1 - 0,9)} \cdot 100 = 0,52 \% \text{ об.}$$

Этот газ подается далее на санитарную очистку.

Пример 10

При сгорании углеводородного топлива в высокотемпературных аппаратах образуются оксиды азота по реакции:



Для определения концентрации NO необходимо знать величину константы скорости реакции синтеза NO. При температуре 2 000 К установлена зависимость содержания NO в газе от продолжительности пребывания τ в высокотемпературной зоне:

τ , с	0,035	0,12	0,25	0,425	0,61
C_{NO} , (% об.)	0,2	0,35	0,5	0,64	0,7

Константу скорости разложения NO (обратной реакции) можно определить по уравнению

$$\lg K_{об} = -10,9 + 5,4 \cdot 10^{-3} T.$$

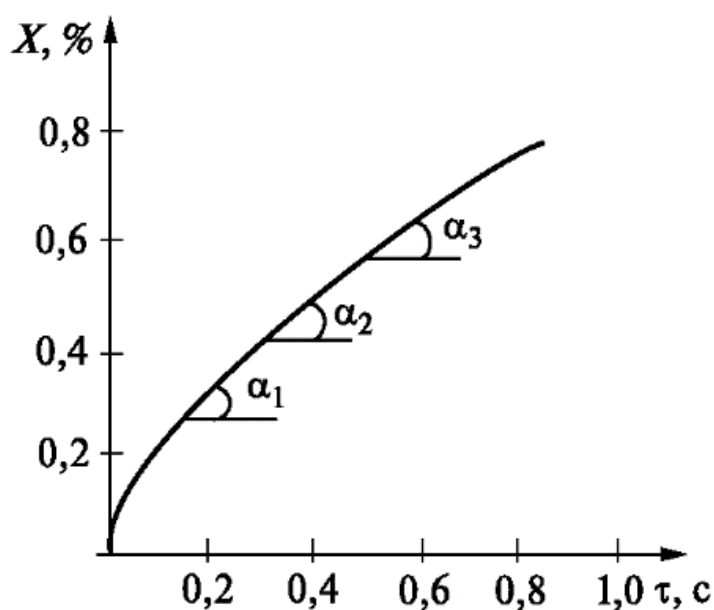
Скорость реакции синтеза вычисляется по уравнению второго порядка

$$v = \frac{dC_{NO}}{d\tau} = K(C_{N_2} - 0,5C_{NO})(C_{O_2} - 0,5C_{NO}) - K_{об} \cdot C_{NO}^2,$$

где C_{N_2} и C_{O_2} — начальные концентрации азота и кислорода в газовой смеси.

Рассчитаем $K_{об}$ для 2 000 К:

$$\lg K_{об} = -10,9 + 0,0054 \cdot 2\,000 = -0,1; \quad K_{об} = 0,793 \text{ с}^{-1}.$$



Кинетическое уравнение реакции можно решать методом графического дифференцирования, определяя $\frac{dC_{NO}}{d\tau}$ по кинетической кривой $C_{NO} = f(\tau)$, построенной по опытным данным, представленным выше.

На рис. 1 для нескольких точек определены значения

Рис. 1. График для определения скорости реакции (X — степень превращения N_2 в NO) или в логарифмической форме

тангенса $\frac{dC_{NO}}{d\tau}$, с помощью которых формуле

$$K = \left(\frac{dC_{NO}}{d\tau} + K_{об} C_{NO}^2 \right) / \left[(C_{N_2} - 0,5C_{NO})(C_{O_2} - 0,5C_{NO}) \right]$$

найденны величины K .

$$\text{Для } C_{NO} (1) = 0,3 \quad \frac{dC_{NO}}{d\tau} = \text{tg}\alpha_1 = 1,425, \quad K_1 = 9,1 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1};$$

$$\text{для } C_{NO} (2) = 0,45 \quad \frac{dC_{NO}}{d\tau} = \text{tg}\alpha_2 = 1, \quad K_2 = 7,15 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1};$$

$$\text{для } C_{NO} (3) = 0,6 \quad \frac{dC_{NO}}{d\tau} = \text{tg}\alpha_3 = 0,615, \quad K_3 = 5,53 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}.$$

Получены приближенные величины констант скорости реакции синтеза NO, поскольку степени превращения азота в NO очень малы, также как и концентрация NO в конечной газовой смеси.

Среднее значение константы скорости $7,25 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ позволяет рассчитывать содержание NO в отходящих газах высокотемпературных установок, что необходимо для оценки экологической безопасности установок для окружающей среды по выбросам токсичных оксидов азота.

Пример 11

Рассчитать сравнительный расход сорбента (активированного угля из антрацита) для очистки стока, содержащего $1\ 000 \text{ мг/дм}^3$ фенола, до $0,01 \text{ мг/дм}^3$ путем однократного ввода и с двух- или трехкратным введением (смешением) адсорбента. Для решения использовать уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха ($\Gamma = \alpha C^{1/n}$). Для системы выбранный адсорбент — фенол $\alpha = 31,6$; $1/n = 0,3$.

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_{\text{ост}})}{m}$$

Дозу адсорбента (m), необходимую для снижения концентрации фенола в растворе от C_0 до $C_{\text{ост}}$ можно рассчитать по уравнению

$$m = \frac{C_0 - C_{\text{ост}}}{\alpha C_{\text{ост}}^{1/n}}$$

или в логарифмической форме

$$\lg m = \lg(C_0 - C_{\text{ост}}) - \left(\lg \alpha + \frac{1}{n} \lg C_{\text{ост}} \right).$$

В одноступенчатом реакторе (смесителе):

$$\lg m = \lg(1\ 000 - 0,01) - [1,5 + 0,3(-2)] = 2,10$$

или $m = 126 \text{ г сорбента/дм}^3$.

При проведении того же процесса в три ступени предусмотрим следующие величины снижения содержания $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$: 1-я ступень от $1\ 000$ до 100 мг/дм^3 , 2-я ступень от 100 до 10 мг/дм^3 , 3-я ступень от 10 до $0,01 \text{ мг/дм}^3$. В этом случае:

$$\lg m_1 = \lg(1000 - 100) - (1,5 + 0,3 \cdot 2) = 0,854, m_1 = 7,14 \text{ г/дм}^3;$$

$$\lg m_2 = \lg(100 - 10) - (1,5 + 0,3 \cdot 1) = 0,154, m_2 = 1,43 \text{ г/дм}^3;$$

$$\lg m_3 = \lg(10 - 0,01) - [1,5 + 0,3(-2)] = 0,1, m_3 = 1,0 \text{ г/дм}^3.$$

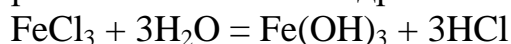
Общий расход активированного угля составит $9,57 \text{ г/дм}^3$, т. е. всего 7,6 % от дозы, необходимой при одноступенчатой очистке стока.

Пример 12.

Рассчитать материальный баланс отстойника, куда поступает $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ сточной воды, содержащей 700 мг/дм^3 взвешенных веществ при $\text{pH} = 6,8$. Для выделения взвешенных веществ на 96 % подают 200 мг/дм^3 коагулянта FeCl_3 в виде 10 %-го раствора. Для поддержания pH на исходном уровне используют введение 15 %-го раствора соды. Влажность шлама 97 %.

Решение. Определяем необходимое количество коагулянта для осветления $8 \text{ м}^3/\text{ч}$ сточной воды: $8 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 0,2 \text{ кг/м}^3 = 1,6 \text{ кг/ч}$ FeCl_3 , соответственно, 10 %-го раствора подают 16 кг/ч .

Для обеспечения протекания полного гидролиза коагулянта по реакции



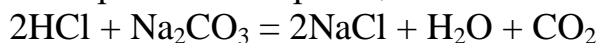
необходимо нейтрализовать образующуюся соляную кислоту. Согласно приведенному уравнению при введении $1,6 \text{ кг}$ FeCl_3 (молярная масса — $162,3 \text{ г/моль}$) образуется хлороводородной кислоты

$$m_{\text{HCl}} = \frac{1,6 \cdot 3 \cdot 36,5}{162,3} = 1,08 \text{ кг}$$

и золь гидроксидов железа (III) (молярная масса — $106,8 \text{ г/моль}$)

$$m_{\text{Fe}(\text{OH})_3} = \frac{1,6 \cdot 106,8}{162,3} = 1,05 \text{ кг.}$$

Нейтрализация HCl протекает по реакции



Согласно последней реакции, для нейтрализации $1,08 \text{ кг}$ HCl необходимо ввести m кг соды (молярная масса — $106,0 \text{ г/моль}$)

$$m_{\text{соды}} = \frac{1 \cdot 0,8 \cdot 106}{2 \cdot 36,5} = 1,57 \text{ кг,}$$

а 15 %-го водного раствора $10,5 \text{ кг}$.

При введении коагулянта и отстаивании в шлам переходит взвешенных веществ $8 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot 0,7 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,96 = 5,38 \text{ кг}$. Кроме того в шлам полностью перейдет образовавшийся $\text{Fe}(\text{OH})_3$ — $1,05 \text{ кг}$. Таким образом, масса твердых частиц в шламе составит $5,38 + 1,05 = 6,43 \text{ кг}$.

При влажности шлама 97 % его масса составит $214,3 \text{ кг}$. Все остальное составит массу осветленной воды. Сведем результаты расчетов в таблицу материального баланса отстойника (см. табл. 2.1).

Т а б л и ц а 2.1. М а т е р и а л ь н ы й б а л а н с о т с т о й н и к а

Приход		Расход	
Наименование потока	кг/ч	Наименование потока	кг/ч
Сточная вода	8 000	Шлам	214,3
В том числе взвешенные вещества	5,6	В том числе взвешенные вещества	5,38
Раствор коагулянта	16	Fe(OH) ₃	1,05
В том числе FeCl ₃	1,6	Осветленная вода	7 812,2
Раствор соды	10,5	В том числе взвешенные вещества	0,22
В том числе Na ₂ CO ₃	1,57		
Итого	8 026,5	Итого	8 026,5

При решении задачи не учтено возможное частичное выделение CO₂ и паров воды в газовую фазу.

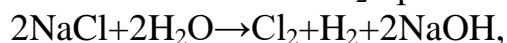
Пример 13

Рассчитать материальный баланс производства хлора для обеззараживания сточных вод. Хлор производится методом электролиза водного раствора поваренной соли с концентрацией 300 г/дм³ при плотности раствора 1,17 кг/дм³. Степень разложения хлорида натрия 52 %. В качестве побочных продуктов образуется гипохлорит натрия с концентрацией в конечном растворе 1 г/дм³.

Необходимо получить 500 м³ Cl₂.

Решение.

Процесс электрохимического синтеза Cl₂ протекает по реакции



а образование побочного продукта по реакции



Для получения 500 м³ Cl₂ по первой реакции расходуется NaCl (молярная масса 58,5) в количестве

$$m_{\text{NaCl}} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 58,5}{22,4} = 2\,611,6 \text{ кг.}$$

При учете степени разложения NaCl 52 % требующаяся масса соли составляет

$$m_{\text{исх}} = \frac{2\,611,6}{0,52} = 5\,022,3 \text{ кг.}$$

Объем раствора

$$V = \frac{5\,022,3}{300} = 16,74 \text{ м}^3,$$

а его масса $m = 16,47 \cdot 1170 = 19\,585,8$ кг.

Согласно реакции, образуется одинаковый объем водорода (считаем по хлору) — 500 м^3 , а также NaOH (молярная масса 40):

$$m_{\text{NaOH}} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 500}{22,4} = 1\,785,7 \text{ кг.}$$

В растворе остаются неразложившиеся соли

$$m_{\text{NaCl}} = \frac{2\,611,6 \cdot 0,48}{0,52} = 2\,410,7 \text{ кг.}$$

На образование Cl_2 , H_2 и NaOH расходуется воды

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{500 \cdot 2 \cdot 18}{22,4} = 803,6 \text{ кг.}$$

Таким образом, в реактор приходит $19\,575$ кг раствора NaCl. За счет реакции в газовую фазу выделяется $500\text{ м}^3\text{ H}_2$ $\left(\frac{500 \cdot 2}{22,4} = 44,6 \text{ кг}\right)$, $500\text{ м}^3\text{ Cl}_2$ $\left(\frac{500 \cdot 71}{22,4} = 1\,584,8 \text{ кг}\right)$.

После реакции (без учета образования побочных продуктов) остается жидкой фазы $17\,956,4$ кг. Считаем, что плотность раствора не изменяется, тогда объем раствора составляет $15,33\text{ м}^3$.

Так как в растворе содержится $1\text{ г/дм}^3\text{ NaClO}$, то его количество составляет $15,34 \cdot 1 = 15,34$ кг.

Для образования такого количества NaClO (молярная масса 74,5) по второй реакции расходуется хлор в количестве

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{15,33 \cdot 22,4}{74,5} = 4,61\text{ м}^3$$

и NaOH в количестве

$$m_{\text{NaOH}} = \frac{15,33 \cdot 2 \cdot 40}{74,5} = 16,5 \text{ кг.}$$

при этом регенерируется NaCl

$$m_{\text{NaCl}} = \frac{15,33 \cdot 58,5}{74,5} = 12 \text{ кг.}$$

Масса оставшейся в жидкой фазе NaOH составляет $1\,785,7 - 16,5 = 1\,769,2$ кг, NaCl — $2\,410,7 + 12 = 2\,422,7$ кг.

За счет образования побочного продукта NaCl объем выделяющегося Cl_2 уменьшается с 500 м^3 до $(500 - 4,61) = 495,39\text{ м}^3$, т. е. от требуемого объема образуется только 99,1 %. Если обеспечивать требуемую производительность по Cl_2 , то надо увеличить расходы компонентов на 0,9 %. Сведем результаты расчетов в табл. 2.2 .

Т а б л и ц а 2.2. Материальный баланс производства

Приход			Расход		
Наименование потока	кг/ч	м ³ /ч	Наименование потока	кг/ч	м ³ /ч
Раствор соли В том числе NaCl	19 586	16,74	Газовый поток Н ₂	44,6	500
	5 022,2		Газовый поток Cl ₂	1570	495,4
			Жидкая фаза	17 971	
			В том числе:		
			NaCl	2 422,7	
NaOH	1 769,2				
NaClO	15,3				
Итого	19 586		Итого	19 586	

3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

3.1. Рассчитать отстойник для сгущения водной суспензии по вариантам, данные для каждого варианта представлены в *табл. 3.1*: расход суспензии равен $G_{см}$, содержание твердых частиц: в суспензии – $x_{см}$, в осадке – $x_{ос}$, в осветленной жидкости – $x_{осв}$. Частицы суспензии имеют шарообразную форму. Минимальный размер удаляемых частиц d_T . Плотность частиц составила ρ_T , а вязкость жидкости равна $\mu_ж$.

Т а б л и ц а 3.1. Данные для расчета отстойника

Номер варианта	$G_{см}$, кг/ч	$x_{см}$, кг/кг	$x_{ос}$, кг/кг	$x_{осв}$, кг/кг	d_T , мкм	ρ_T , кг/м ³	$\mu_ж$, Па · с
1	9600	0,2	0,6	0,0001	20	2600	0,001519
2	8500	0,2	0,5	0,0001	30	2600	0,001619
3	9600	0,3	0,8	0,0001	30	2600	0,001519
4	10000	0,1	0,5	0,0001	25	2600	0,001519
5	9700	0,4	0,9	0,0001	25	2300	0,001519
6	9200	0,2	0,5	0,0001	40	2500	0,001519
7	9600	0,1	0,5	0,0001	20	2500	0,001619
8	9700	0,3	0,6	0,0001	23	2600	0,001519
9	9600	0,1	0,5	0,0001	23	2700	0,001510

Номер варианта	$G_{CM},$ кг/ч	$X_{CM},$ кг/кг	$X_{OC},$ кг/кг	$X_{OCB},$ кг/кг	$d_T,$ мкм	$\rho_T,$ кг/м ³	$\mu_{ж},$ Па · с
10	7600	0,2	0,5	0,0001	18	2100	0,001619
11	10100	0,2	0,6	0,0001	20	2300	0,001529
12	9800	0,1	0,5	0,0001	13	3200	0,001519
13	10500	0,2	0,4	0,0001	15	2900	0,001519
14	9600	0,3	0,8	0,0001	21	2350	0,001532
15	7900	0,1	0,7	0,0001	17	2550	0,001729
16	8200	0,3	0,8	0,0001	20	2630	0,001229
17	10600	0,2	0,9	0,0001	24	2600	0,002219
18	6500	0,2	0,5	0,0001	30	2675	0,001519
19	9600	0,1	0,5	0,0001	10	3700	0,003219
20	8600	0,2	0,4	0,0001	19	1990	0,001219
21	7900	0,1	0,6	0,0001	25	2600	0,001519
22	10500	0,1	0,5	0,0001	23	2480	0,002019
23	6600	0,3	0,7	0,0001	18	2350	0,001729
24	9475	0,5	0,9	0,0001	21	2570	0,001518
25	9600	0,1	0,5	0,0001	37	2680	0,001429

3.2. Рассчитайте ХПК сточной воды состав которой приведен в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2. Состав сточной воды

Номер варианта	Содержание в сточной воде, мг/дм ³				
	сульфанол	сульфат натрия	нитратный иона	фенол	хлорид натрия
1	150	30	45	10	400
2	160	20	50	9	390
3	170	10	55	8	380
4	180	50	60	11	370
5	120	40	40	12	410
6	130	60	35	13	420
7	110	70	30	14	430
8	105	15	25	10	350
9	115	25	45	9	360
10	125	35	50	8	400

Номер варианта	Содержание в сточной воде, мг/дм ³				
	сульфанол	сульфат натрия	нитратный иона	фенол	хлорид натрия
11	135	45	55	11	390
12	145	55	60	12	380
13	140	65	40	13	370
14	155	75	35	14	410
15	165	10	30	10	420
16	175	20	25	9	430
17	150	30	45	8	350
18	160	60	50	11	360
19	170	70	55	12	400
20	180	15	60	13	390
21	120	25	40	14	380
22	130	35	35	10	370
23	115	45	30	9	410
24	125	55	25	8	420
25	135	65	45	11	430

3.3. Определите массу влажного шлама, выделенного из воды объемом V , если содержание взвешенных веществ в исходной воде – x , степень осаждения – y 85 %, а влажность шлама – $w_{исх}$. После уплотнения влажность шлама уменьшается до $w_{кон}$. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.3 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.3. Исходные данные для задачи 3.3

Номер варианта	V , м ³	x , мг/дм ³	y , %	$w_{исх}$, %	$w_{кон}$, %
1	1 000	1 600	85	97,5	92
2	1 100	1650	84	97	93
3	1 150	1700	83	98	94
4	1 200	1550	82	96	92
5	1 300	1500	86	96,5	91
6	1 250	1575	87	96,5	90
7	1 350	1675	88	96	92,5
8	1 400	1525	85	98	93,1
9	1 450	1625	84	97	94,1
10	1 500	1 600	83	97,5	92,3
11	1 550	1650	82	96,3	91,5
12	1 600	1700	86	97,5	90
13	1 000	1550	87	97	92,8

Номер варианта	V, м ³	x, мг/дм ³	y, %	w _{исх} , %	w _{кон} , %
14	1 100	1500	88	98	93,3
15	1 150	1575	85	96	94,1
16	1 200	1675	84	96,5	92
17	1 300	1525	83	96,5	91,4
18	1 250	1625	82	96	90
19	1 350	1 600	86	98	92
20	1 400	1650	87	97	93
21	1 450	1700	88	97,5	93,5
22	1 500	1550	85	97,5	92
23	1 550	1500	84	97	91
24	1 600	1575	83	98	90
25	1 100	1675	82	96	92,5

3.4. В исходную сточную воду с рН = А для осаждения взвешенных веществ вводят коагулянт — гидроксохлорид алюминия в дозах С по Al₂O₃. Определите рН среды после гидролиза коагулянта. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.4 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.4. Данные для задачи 3.4

Номер варианта	А	С, мг/дм ³
1	8,0	100
2	8,1	110
3	8,2	120
4	8,3	130
5	8,4	140
6	8,5	150
7	8,6	105
8	8,7	115
9	8,7	125
10	8,8	135
11	8,9	145
12	9,0	155
13	9,1	100
14	9,2	110
15	9,3	120
16	9,4	130
17	9,5	140
18	9,6	150
19	9,7	105

Номер варианта	A	C, мг/дм ³
20	9,8	115
21	9,9	125
22	8,0	135
23	8,1	145
24	8,2	155
25	8,3	100

3.5. В усреднитель поступает X сточной воды с рН = A. В него же подают второй поток сточной воды с расходом Y с рН = B. Рассчитайте рН среды усредненного стока. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.5 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.5. Данные для задачи 3.5

Номер варианта	A	X, м ³ /ч	м ³ /ч	B
1	11,5	10	5	3,5
2	11,0	15	2	4,0
3	10,5	20	4	4,5
4	11,5	12	6	3,0
5	11,0	17	3	4,1
6	10,5	22	5	3,3
7	11,5	25	5	4,2
8	11,0	18	2	3,1
9	10,5	16	4	3,5
10	11,5	24	6	4,0
11	11,0	11	3	4,5
12	10,5	13	5	3,0
13	11,5	14	5	4,1
14	11,0	10	2	3,3
15	10,5	15	4	4,2
16	11,5	20	6	3,1
17	11,0	12	3	3,5
18	10,5	17	5	4,0
19	11,5	22	5	4,5
20	11,0	25	2	3,0
21	10,5	18	4	4,1
22	11,5	16	6	3,3
23	11,0	24	3	4,2
24	10,5	11	5	3,1
25	11,5	13	4	3,5

3.6. Определите ХПК исходной сточной воды и воды после фотохимического реактора, если на очистку подают сточную воду с расходом Q , содержащей фенол в количестве $C_{\text{фенол}}$ и пропанол в количестве $C_{\text{проп}}$. Для деструкции примесей вводят 1 г/дм^3 пероксида водорода в виде 10%-го раствора. Весь пероксид водорода расходуется на деструкцию органических примесей, в первую очередь происходит деструкция фенола. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.6 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.6. Данные для задачи 3.6

Номер варианта	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$C_{\text{фенол}}, \text{ мг/дм}^3$	$C_{\text{проп}}, \text{ мг/дм}^3$
1	5	20	180
2	6	19	175
3	7	18	170
4	8	17	185
5	9	16	190
6	10	15	180
7	11	21	175
8	12	22	170
9	13	23	185
10	14	24	190
11	15	25	180
12	5	10	175
13	6	11	170
14	7	12	185
15	8	13	190
16	9	14	180
17	10	20	175
18	11	19	170
19	12	18	185
20	13	17	190
21	14	16	180
22	15	15	175
23	5	21	170
24	6	22	185
25	7	20	190

3.7. Рассчитайте материальный баланс процесса очистки сточных вод в количестве Q . В сточных водах содержится 600 мг/дм^3 взвешенных веществ, Y сульфида натрия. Для полного осаждения сульфидов вводят раствор $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ с концентрацией C и дополнительно Z сульфата железа в качестве коагулянта для полного осаждения взвешенных веществ. Образующуюся серную кислоту нейтрализуют известковым молоком ($10 \text{ г/дм}^3 \text{ Ca}(\text{OH})_2$). Оседающий шлам имеет влажность W . Степень выделения взвешенных веществ 96 %, сульфидов — до остаточной концентрации $0,2 \text{ мг/дм}^3$, а содержание гипса в очищенной воде 0,2 % масс. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.7 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.7. Данные для задачи 3.7

Номер варианта	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$X, \text{ мг/дм}^3$	$Y, \text{ мг/дм}^3$	$C, \%$	$Z, \text{ мг/дм}^3$	$W, \%$
1	15	600	100	15	150	98,2
2	16	610	110	16	155	98,0
3	17	620	115	17	160	97,8
4	18	630	120	18	165	97,6
5	19	640	125	19	170	98,4
6	20	590	130	20	175	98,2
7	14	580	95	14	180	98,0
8	13	600	90	13	185	97,8
9	12	610	85	12	150	97,6
10	11	620	80	11	155	98,4
11	10	630	75	10	160	98,2
12	15	640	120	18	165	98,0
13	16	590	125	19	170	97,8
14	17	580	130	20	175	97,6
15	18	600	95	14	180	98,4
16	19	610	90	13	185	98,2
17	20	620	85	12	150	98,0
18	14	630	100	15	155	97,8
19	13	640	110	16	160	97,6
20	12	590	115	17	165	98,4
21	11	580	120	18	170	98,2
22	10	600	125	19	175	98,0
23	15	610	130	20	180	97,8
24	16	620	95	14	185	97,6
25	17	630	90	13	150	98,4

3.8. Рассчитайте экобаланс производства хлора для обеззараживания воды расход которой составил Q , если вводят дозу хлора X . Хлор производят методом электролиза раствора поваренной соли с концентрацией 300 г/дм^3 . Плотность раствора $1,17 \text{ кг/дм}^3$. Степень разложения соли – Y . Частично хлор растворяется в конечном растворе с образованием гипохлорита натрия, его концентрация – C . Данные для решения задачи приведены в табл. 3.8 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.8. Данные для задачи 3.8

Номер варианта	$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	$X, \text{ мг/м}^3$	$Y, \%$	$C, \text{ г/дм}^3$
1	100 000	10	52	1,0
2	150 000	20	50	1,5
3	200 000	15	51	1,2
4	90 000	11	53	1,3
5	125 000	22	54	1,4
6	225 000	16	55	0,9
7	105 000	12	55	1,0
8	160 000	17	54	1,5
9	210 000	23	53	1,2
10	95 000	10	52	1,3
11	140 000	20	51	1,4
12	225 000	15	50	0,9
13	110 000	11	52	1,0
14	155 000	22	50	1,5
15	205 000	16	51	1,2
16	98 000	12	53	1,3
17	124 000	17	54	1,4
18	215 000	23	55	0,9
19	144 000	10	55	1,0
20	152 000	20	54	1,5
21	203 000	15	53	1,2
22	96 000	11	52	1,3
23	125 000	22	51	1,4
24	225 000	16	50	0,9
25	130 000	12	52	1,0

3.9. На очистку от нефтепродуктов поступают сточные воды, содержащие 80 мг/дм^3 нефтепродуктов, причем 15 мг/дм^3 растворенные, а остальные эмульгированные. рН стока 6,5. Очистку проводят реагентной напорной флотацией, а в качестве коагулянта используют 10 %-й раствор сульфата алюминия в дозах 70 мг/дм^3 по оксиду. Для нейтрализации кислоты используют 10 %-й раствор кальцинированной соды. Степень выделения эмульгированных нефтепродуктов – X, растворенных — Y. Влажность флотопены — 95 %. Рассчитайте материальный баланс процесса, если объем сточной воды Q, а расход воздуха — $1,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ воды. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.9 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.9. Данные для задачи 3.9

Номер варианта	Q, м ³ /ч	X, %	Y, %
1	100	99,7	99
2	150	98,0	97
3	200	99,5	98,5
4	90	98,5	97
5	125	99,8	98,9
6	225	99,7	99
7	105	98,0	97
8	160	99,5	98,5
9	210	98,5	97
10	95	99,8	98,9
11	140	99,7	99
12	225	98,0	97
13	110	99,5	98,5
14	155	98,5	97
15	205	99,8	98,9
16	98	99,7	99
17	124	98,0	97
18	215	99,5	98,5
19	144	98,5	97
20	152	99,8	98,9
21	203	99,7	99
22	96	98,0	97
23	125	99,5	98,5
24	225	98,5	97
25	130	99,8	98,9

3.10. Рассчитайте материальный баланс установки умягчения природной воды методом катионирования. Исходная вода имеет жесткость – X , причем 20 % жесткости обусловлено присутствием солей магния. Остаточная жесткость воды $0,1$ мг-экв/дм³. Для умягчения используют катионит КУ-2, его статическая обменная емкость $4,8$ мг-экв/г по солям жесткости. В динамических условиях емкость катионита реализуется на – Y . Объем очищаемой воды – Q . Фильтр до регенерации работает время t .

Определите необходимый объем используемого катионита, если его насыпная масса $0,7$ кг/дм³, а удельный объем $2,8$ дм³/кг. Далее катионит подвергается регенерации 6%-м раствором NaCl, в солевом растворе содержание солей жесткости составляет C , а степень регенерации катионита Z . После подачи регенерационного раствора фильтр промывается водой, объем которой составляет 20 % от объема регенерационного раствора. Определите массы потоков и их состав. Данные для решения задачи приведены в табл. 3.10 по вариантам.

Т а б л и ц а 3.10. Данные для задачи 3.10

Номер варианта	X , мг-экв/дм ³	Y , %	Q , м ³ /ч	t , ч	C , мг-экв/дм ³	Z , %
1	4,6	85	1 000	8	250	98
2	4,7	80	1 500	9	260	98,5
3	4,5	90	1 600	10	255	97
4	4,6	91	1 100	5	265	97,5
5	4,7	82	1 200	6	245	96
6	4,5	84	1 300	7	240	96,5
7	4,6	86	1 400	12	235	99
8	4,7	88	900	8	230	99,5
9	4,5	85	1 050	9	250	98
10	4,6	80	1 150	10	260	98,5
11	4,7	90	1 250	5	255	97
12	4,5	91	1 350	6	265	97,5
13	4,6	82	1 000	7	245	96
14	4,7	84	1 500	12	240	96,5
15	4,5	86	1 600	8	235	99
16	4,6	88	1 100	9	230	99,5
17	4,7	85	1 200	10	250	98
18	4,5	80	1 300	5	260	98,5
19	4,6	90	1 400	6	255	97
20	4,7	91	900	7	265	97,5
21	4,5	82	1 050	12	245	96
22	4,6	84	1 150	8	240	96,5

Номер варианта	X, мг-экв/дм ³	Y, %	Q, м ³ /ч	t, ч	C, мг-экв/дм ³	Z, %
23	4,7	86	1 250	9	235	99
24	4,5	88	1 350	10	230	99,5
25	4,6	85	1 600	5	250	97

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	2
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	3
ИЗУЧАЕМЫЕ РАЗДЕЛЫ	3
1. ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ.....	4
2. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ	17
3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА	30