

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 14.04.2016 09:59

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»

(ЮЗГУ)

Кафедра фундаментальной химии и химической технологии



Химическая технология

Методические указания к самостоятельной работе и
практическим занятиям по курсу «Химическая технология» для
студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия» и
специальности
04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»

Курск 2016

Содержание

1. Основные понятия химической технологии		4
1.1. Предмет и задачи химической технологии	4	
1.2. Сырье в химической практике	7	
1.3. Вопросы для повторения	10	
1.7. Примеры решения типовых задач	11	
1.8. Задачи для самостоятельного решения	15	
2. Техничко-экономические показатели химических производств		17
2.1. Расходный коэффициент сырья и выход продукта		17
2.2.1. Примеры решения типовых задач	18	
2.3. Производительность и мощность аппарата		20
2.3.1. Примеры решения типовых задач		21
2.4. Интенсивность аппарата (процесса)	22	
2.4.1. Примеры решения типовых задач		22
2.5. Вопросы для повторения		24
2.6. Задачи для самостоятельного решения		24
3. Вода в химической промышленности и народном хозяйстве		27
3.1. Основные показатели качества природных вод.	27	
3.2. Способы очистки питьевой и промышленной вод		28
3.3. Вопросы для повторения		31
3.4. Примеры решения типовых задач		32
3.5. Задачи для самостоятельного решения		36
Список использованных источников		40
Приложение 1. Плотность некоторых веществ		41
Приложение 2. Мольный объем некоторых газов		42

1 Основные понятия химической технологии

1.1 Предмет и задачи химической технологии

Химическая технология - наука о методах и процессах массовой переработки сырья в продукты потребления и средства массового производства. Химическая технология изучает процессы, связанные с коренным изменением состава и структуры вещества, осуществляемые путем химических реакций.

Первой основной задачей химической технологии является исследование и установление *оптимальных* условий осуществления химических реакций на производстве, т.е. условий при которых химические реакции протекают с максимальным экономическим эффектом, с наилучшими технико-экономическими показателями.

В химической технологии подбираются оптимальные концентрации реагирующих веществ, температура, давление, катализаторы, скорость потока и т.д. Производство любого химического продукта состоит из ряда механических, химических, физико-химических процессов, совокупность которых составляет *технологический процесс*, который складывается из связанных между собой элементарных процессов:

- подвод реагентов в зону реакции (совершается молекулярной диффузией или конвекцией. При сильном перемешивании реагирующих веществ конвективный перенос называют турбулентной диффузией. В двух или многофазных системах подвод реагирующих компонентов может совершаться абсорбцией, адсорбцией или десорбцией газов, конденсацией паров, плавлением твердых веществ, растворением их в жидкости, испарением жидкости, возгонкой твердых веществ);
- химическое взаимодействие реагирующих веществ (в реагирующей системе обычно происходит несколько последовательных или параллельных химических реакций, приводящих к образованию основного продукта, а также ряд побочных реакций между основными веществами и примесями, встречающимися в исходном сырье. Обычно при анализе производственных процессов учитываются не все реакции, а только те из них, которые имеют определяющее влияние на количество и качество получаемых целевых продуктов);

– отвод продуктов из зоны реакции (Процесс может осуществляться также, как и подвод реагирующих компонентов диффузией, конвекцией, переходом вещества из одной фазы в другую).

Технологический процесс химического производства делится на основные *стадии*. За основу стадии производства принимается определенная химическая реакция или физико-химический процесс, для протекания которых подбираются оптимальные условия. Выделение и установление стадий технологического процесса является второй основной задачей химической технологии.

Последовательное графическое изображение процесса переработки исходных веществ в продукты производства и используемых в процессе аппаратов, и машин, называется *технологической схемой производства*.

В химической промышленности используют различные виды технологических схем, которые можно классифицировать по трем принципам:

По принципу осуществления производственного процесса во времени технологические процессы делятся на:

- ✓ *периодические* (весь процесс и каждая стадия производства осуществляются с перерывами - загрузка сырья в аппарат, проведение процесса переработки сырья, выгрузка готового продукта; затем цикл повторяется);
- ✓ *непрерывные* (подача сырья, отбор продуктов и весь процесс производства проводится непрерывно);
- ✓ *комбинированные* (представляют собой сочетание непрерывного и периодического процессов).

Непрерывные процессы имеют ряд преимуществ поэтому в химической промышленности сложилась тенденция перехода от периодических и комбинированных процессов к непрерывным.

По принципу взаимного перемещения реагирующих веществ или тепловых потоков процессы делятся на:

- ✓ *прямоточные или параллельно точные* (с движением реагирующих веществ или тепловых потоков в одном направлении);
- ✓ *противоточные* (с движением реагирующих веществ или тепловых потоков навстречу друг другу);
- ✓ *перекрестные* (с движением потоков под тем или иным углом друг к другу).

Противоточные процессы имеют ряд преимуществ.

По принципу достижения полноты протекания обратимых реакций схемы делятся на:

- ✓ *схемы с открытой цепью* (полнота протекания обратимой реакции достигается многократным пропуском не прореагировавших веществ через последовательно установленные однотипные аппараты);
- ✓ *циклически, или круговые* (не прореагировавшие вещества возвращаются в реакционный аппарат, предварительно смешиваясь со свежими порциями исходных веществ).

По агрегатному состоянию взаимодействующих веществ соответствующие им процессы делятся на:

- ✓ *однородные (гомогенные)* (все реагирующие вещества находятся в одной какой-либо фазе);
- ✓ *неоднородные (гетерогенные)* (системы включают две или большее количество фаз).

По гидродинамическому режиму различают два предельных случая перемешивания реагирующих компонентов с продуктами реакции:

- ✓ *полное смешение* (турбулизация настолько сильна, что концентрация реагентов в проточном реакторе одинакова во всем объеме аппарата от точки ввода исходной смеси до вывода продукционной смеси);
- ✓ *идеальное вытеснение* (исходная смесь не перемешивается с продуктами реакции, а проходит ламинарным потоком по всей длине или высоте аппарата).

По температурному режиму проточные реакторы и процессы, происходящие в них, делят на:

- ✓ *изотермические* (температура постоянна во всем реакционном объеме);
- ✓ *адиабатические* (отсутствует отвод или подвод тепла, вся теплота реакции аккумулируется потоком реагирующих веществ);
- ✓ *политермические (программно-регулируемые)* (в таких реакторах тепло реакции частично отводится из зоны реакции или компенсируется подводом для эндотермических процессов в соответствии с расчетом аппарата).

Исходя из классификации процессов вытекает третья задача химической технологии - обоснованный выбор технологической схемы производства, дающий наибольший экономический эффект.

На основе выбранной технологической схемы проектируется и рассчитывается аппаратура, обеспечивающая непрерывность

процесса и получение целевого продукта в необходимом количестве и высокого качества. Это - четвертая задача химической технологии.

1.2 Сырье в химической практике

Сырьем называют природные материалы, используемые в производстве промышленных продуктов. Как правило, в технологическом процессе участвует несколько видов сырья, взятых в определенных весовых или объемных соотношениях. Смесь твердого сырья называют *шихтой*.

Сырье - важный элемент любого химического производства. Качество, (состав и свойства) сырья, его стоимость в значительной мере определяют основные качественные и экономические показатели химического производства, в котором затраты на сырье составляют от 50 до 80%.

На пути к готовому продукту сырье проходит через ряд стадий переработки. Продукт, полученный в конечной стадии технологического процесса, называют *готовым продуктом*. Продукт, полученный в промежуточной стадии данного производства, называется *промежуточным продуктом* или *полупродуктом*. В процессе производства основного продукта обычно получают различного рода *отходы*. Если отходы используются в данном или смежном производстве, то они называются *побочными продуктами*, если не используются то- *отбросами*.

Сырье химической промышленности классифицируют по различным признакам:

- по химическому составу различают неорганическое и органическое сырье; по происхождению на минеральное, неминеральное, растительное, животное,
- по агрегатному состоянию сырье делят на *твердое, жидкое, газообразное*; по видам запасов- *возобновляемое и невозобновляемое*.

Основными направлениями в решении проблемы сырья для химической промышленности являются:

- изыскание и применение более дешевых видов сырья;
- применение концентрированного сырья;
- комплексное использование сырья;
- замена пищевого сырья не пищевым.

1.2.1 Подготовка химического сырья к переработке

Сырье, предназначенное для переработки в готовую продукцию, должно удовлетворять определенным требованиям. Это достигается проведением комплекса операций, составляющих процесс подготовки сырья к переработке. В процессе подготовки сырье приобретает заданную концентрацию полезного компонента, влажность, допустимо содержание примесей, необходимую дисперсность. В комплекс операций подготовки твердого сырья входят: классификация, измельчение или укрупнение, обезвоживание, обогащение.

Классификация-это процесс разделения однородных сыпучих материалов на фракции (классы) по размерам составляющих частиц, осуществляется рассеиванием материалов на ситах (грохочение), разделением смеси частиц по скорости осаждения в жидкой фазе (гидравлическая классификация), разделением смеси частиц по скорости их осаждения в воздухе с помощью сепараторов (воздушная классификация).

Измельчение- это механический процесс деления твердого тела на части за счет приложения внешних сил. Измельчение может производиться методами удара, раздавливания, истирания. Мерой измельчения является степень измельчения:

$$i = \frac{D_H}{D_K} \quad (1)$$

где: D_H и D_K - средний размер частиц (эквивалентный диаметр) до и после измельчения соответственно. В отдельных случаях процесс подготовки включает операцию укрупнения порошкообразного материала методами брикетирования или агломерации.

Обезвоживание материала осуществляется методами стекания, отстаивания (в случае жидких систем), сушки.

Сушкой называется процесс удаления влаги или другой жидкости из твердых материалов путем ее испарения и отвода образующегося пара. Условием сушки является обеспечение неравенства $P_M > P_C$, где P_M - давление пара во влажном высушиваемом материале, а P_C - парциальное давление пара в окружающей среде.

Обогащением называется процесс отделения полезной части сырья (полезного компонента) от пустой породы (балласта) с целью повышения концентрации полезного компонента. В результате обогащения сырье разделяется на концентрат полезного компонента и хвосты с преобладанием в них пустой породы. Количественными показателями процесса обогащения являются:

1. *Выход концентрата*, т.е. отношение массы полученного концентрата T_k к массе обогащаемого сырья m_c :

$$\eta = \frac{m_k}{m_c} \quad (2)$$

2. *Степень извлечения полезного компонента*, представляющая отношение массы полезного компонента в концентрате m_{kk} к его массе в обогащаемом сырье m_{kc} :

$$X_u = \frac{m_{kk}}{m_{kc}}. \quad (3)$$

3. *Степень обогащения сырья* представляет собой отношение доли полезного компонента в концентрате μ_{kk} к массовой доле его в обогащаемом сырье μ_{kc} :

$$X_0 = \frac{\mu_{kk}}{\mu_{kc}}. \quad (4)$$

Выбор метода обогащения зависит от агрегатного состояния и свойств компонентов сырья. Известно много методов обогащения сырья. Важнейшие из них: механический, термический, химический, электромагнитный, флотационный, или физико-химический.

Механический метод обогащения твердых минералов включает:

- *метод грохочения*, основанный на том, что менее прочные минералы, входящие в состав сырья, при измельчении дробятся на более мелкие частицы, чем минералы более прочные. Просеивание измельченной породы через сита (*грохоты*) позволяет более мелким частицам отделиться от более крупных и получить фракции, обогащенные тем или иным минералом;

- *гравитационное обогащение* основано на разной скорости оседания частиц различной плотности и размеров в потоке газа (сухое обогащение) или жидкости (мокрое обогащение), или в поле центробежной силы;

Термический метод обогащения основан на различной плавкости компонентов, входящих в состав сырья. Например, выплавка серы из серных руд: температура плавления серы 113-119⁰С, что гораздо ниже температуры плавления пустой породы.

Химический метод. Существует несколько способов химического обогащения сырья, которые основаны на:

1) избирательной растворимости составных частей сырья в растворителях;

2) на различии во взаимодействии компонентов сырья с химическими реагентами, с последующим выделением образовавшегося соединения- осадением, испарением, плавлением и т.п.

Электромагнитный метод основан на различной магнитной проницаемости твердых материалов, входящих в состав сырья. Метод применяют для обогащения магнитных железняков в металлургической промышленности.

Электростатический метод основан на различной электрической проводимости компонентов сырья.

Флотационный или *физико-химический*, метод основан на различной смачиваемости водой минералов. Смачивающиеся водой (гидрофильные) кристаллы тонут, т.е. оседают на дно флотационной машины, а не смачивающиеся водой (гидрофобные) кристаллы прилипают к пузырькам воздуха, продуваемого через пульпу, и поднимаются вверх вместе с пеной - *флотируются*, образуя минеральную пену - *концентрат*

Для успешного проведения процесса флотации необходимо создавать условия для неодинаковой смачиваемости водой зерен минералов, подлежащих разделению. С этой целью в пульпу вводят различные *флотореагенты*: *пенообразователи* (вспениватели), *собиратели* (коллекторы), *депрессоры*, *активаторы*, *регуляторы*. Расход флотореагентов колеблется от 50 до 500 г на 1 т флотируемой руды.

Важнейшие экономические показатели процесса флотации:

-выход концентрата (отношение веса полученного концентрата к весу взятой руды в процентах),

-степень извлечения (процентное отношение веса извлеченного элемента в концентрате к его весу в руде),

-степень обогащения или концентрации (отношение процентного содержания элемента в концентрате к содержанию его в исходной руде).

1.3 Вопросы для повторения

1. Предмет химической технологии. Основные задачи химической технологии.

2. Дайте определение понятия «технологический процесс». Из каких элементарных процессов он складывается?

3. Дайте определение понятия «технологическая схема производства». По каким принципам классифицируются технологические схемы?

4. В чем заключается связь химической технологии с другими науками?

5. Перечислите научные принципы химической технологии.
6. Что принято считать сырьем для химического производства?
7. По каким признакам классифицируется сырье для химической промышленности?
8. Что называют готовым продуктом, промежуточным продуктом, отходами (побочными продуктами, или отбросами)?
9. В чем заключаются основные направления в решении проблемы химического сырья?
10. Какие процессы применяются для подготовки химического сырья к переработке.
11. Какой процесс химического производства называется обогащением? Назовите основные методы обогащения сырья.
12. На чем основан флотационный метод обогащения сырья? В чем заключается сущность метода и каковы области применения.
13. Назовите экономические показатели процесса обогащения сырья, дайте их определение и математическое выражение.

1.4 Примеры решения типовых задач

Пример 1. Вычислить процентное содержание железа и пустой породы в руде, содержащей 85,63% закиси-окиси железа Fe_3O_4 .

Решение. Чтобы найти содержание магнетита и пустой породы в данной руде, нужно иметь в виду, что в 100 кг руды содержится 85,63 кг Fe_3O_4 , следовательно, количество пустой породы равно:

$$100 - 85,63 = 14,37 \text{ (кг)}$$

Находим количество железа, содержащееся в 85,63 кг Fe_3O_4 . В молекуле Fe_3O_4 содержится 3 атома Fe. В 232 кг Fe_3O_4 (232 - молекулярная масса Fe_3O_4) содержится 168 кг Fe (168 - масса 3 атомов Fe), а в 85,63 кг Fe_3O_4 - x кг Fe.

Следовательно,

$$x = \frac{85,63 \cdot 168}{232} = 62 \text{ кг,}$$

что составляет 62%.

Пример 2. Сколько двусернистого железа FeS_2 содержится в природном колчедане, если по данным анализа серы в нем 42%?

Решение: По условию задачи в 100 кг колчедана содержится 42 кг серы (42%). Из формулы пирита FeS_2 видно, что на 2 атома серы (на 64 весовых части) приходится 1 атом железа, т.е. 56 весовых частей.

Рассчитаем, сколько железа приходится на 42 весовые части серы:

на 64 кг серы в двусернистом железе приходится 56 кг железа;
на 42 кг серы в двусернистом железе приходится x кг железа/

Из пропорции $64 : 42 = 56 : x$

$$x = \frac{42 \cdot 56}{64} = 36,75 \text{ (кг)},$$

следовательно, в 100 кг колчедана, содержащего 42% серы, количество двусернистого железа FeS_2 равно:

$$36,75 \text{ кг} + 42 \text{ кг} = 78,75 \text{ кг},$$

что составляет 78,75 %.

Пример3. Вычислить процентное содержание фторапатита $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{CaF}_2$ и примесей в хибинской руде, если, по данным анализа, в ней содержится 32% окисла P_2O_5 .

Решение: В молекуле фторапатита содержится 6 атомов фосфора, что соответствует 3 молекулам P_2O_5 , т.е. можно составить пропорцию:

$$1008 : 426 = x : 32$$

$$x = \frac{1008 \cdot 32}{426} = 75,72 \text{ (%)},$$

где x - содержание руды во фторапатите.

Содержание примесей в руде находим по разности:

$$100 - 75,72 = 24,28 \text{ (%)}.$$

Пример4. Сколько тонн бурого железняка потребуется для выплавки 5000 т передельного чугуна, содержащего 92% железа? По аналитическим данным, бурый железняк содержит 80% лимонита $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Решение: Сколько железа содержится в 5000 т передельного чугуна?

В 100 т передельного чугуна содержится 92 т железа Fe, а в 5000 т передельного чугуна содержится x т железа Fe:

$$x = \frac{92 \cdot 5000}{100} = 4600 \text{ (т)}.$$

Зная количество чистого железа, определяем количество лимонита, в котором содержится 4600 т железа Fe. Для этого подсчитаем молекулярную массу лимонита и атомную массу железа, входящего в молекулу лимонита. Молекула лимонита $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ содержит 4 атома Fe, т.е 374 весовые части лимонита содержат 224 весовые части железа.

374 т лимонита содержат 224 т Fe, а

x т

4600 т

Откуда,

$$x = \frac{374 \cdot 4600}{224} = 7680 \text{ (т)}.$$

По условию задачи руда содержит 80% лимонита, следовательно,

$$\begin{array}{l} 7680\text{т составляют } 80 \% \text{ руды,} \\ \text{а } x \text{ т} \quad \quad \quad 100\% \end{array}$$

Откуда,

$$x = \frac{7680 \cdot 100}{80} = 9600 \text{ (т)}.$$

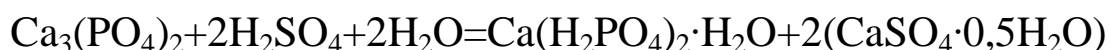
Пример5. Сколько 68%-ной серной кислоты потребуется для переработки 125 т природного фосфорита, если содержание фосфата кальция $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ в нем после флотационного обогащения составляет 92 %?

Решение: Сколько тонн фосфата кальция содержится в 125 т руды?

В 100 т фосфорита после обогащения содержится 92 т фосфата кальция, а в 125 т фосфорита - x т фосфата кальция.

$$x = \frac{125 \cdot 92}{100} = 115 \text{ (т)}.$$

Реакция образования суперфосфата из фосфорита протекает по уравнению:



Следовательно,

на 310т фосфата кальция требуется 196 т серной кислоты,

а на 115 т

x т

Откуда,

$$x = \frac{115 \cdot 196}{310} = 72,7 \text{ (т)}$$

100%-ной серной кислоты.

Определяем сколько тонн 68%-ной серной кислоты потребуется на разложение фосфата кальция, содержащегося в 125 т фосфорита:

72,7 т 100%-ной серной кислоты составляют 68% от массы раствора серной кислоты, израсходованной на разложение фосфорита, а масса раствора серной кислоты x составляет 100 %. Составим пропорцию $72,7 : 68 = x : 100$.

Откуда,

$$x = \frac{72,7 \cdot 100}{68} = 106,9 \text{ (т)}$$

Аналогично рассмотренным примерам решаются задачи на вычисление содержания данного компонента в готовом продукте.

При определенном навыке решения задач составление пропорций упускается и сразу выписываются данные по условию задачи в формулу общего вида:

$$A_k = \frac{M_{ок} \cdot A_{k/n}}{M_n},$$

где A_k - %-ное содержание компонента,

$M_{ок}$ - молекулярная масса определяемого компонента,

$A_{k/n}$ - %-ное содержание компонента в продукте,

M_n - молекулярная масса продукта

Пример6. На обогатительной фабрике флотации подвергается руда, содержащая 1,3% меди. При флотации 1 т исходной руды получается 110,5 кг концентрата, содержащего 9,6 % меди. Определить выход концентрата и степень извлечения меди.

Решение. Исходя из определения экономических показателей флотации и данных задачи находим выход концентрата в процентах:

$$\eta_k = \frac{110,5 \cdot 100}{1000} = 11,5.$$

Содержание меди:

а) в исходной руде 100 кг исходной руды содержится 1,3 (1,3%) кг меди, а в 1 т 13 кг;

б) в концентрате 100 кг концентрата содержится 9,6 кг меди, а в 110,5 кг X кг

$$x = \frac{9,6 \cdot 110,5}{100} = 10,6 \text{ кг.}$$

Отсюда степень извлечения меди составит:

$$\frac{10,6 \cdot 100}{13} = 81,5 (\%).$$

Пример7. При флотации 3 т медной руды, содержащей 5 % сульфида CuS , получено 200 кг концентрата, содержащего 30% меди. Определить выход концентрата, степень извлечения, степень обогащения.

Решение.

1) Выход концентрата составляет:

$$\eta_k = \frac{200 \cdot 100}{3000} = 6,7 (\%)$$

2) а) Содержание меди в концентрате $200 \cdot 0,3 = 60$ (кг)

б) Содержание CuS в руде составляет $3000 \cdot 0,05 = 150$ (кг)

в) Содержание меди

в 95,5 кг CuS содержится 63,5 кг меди,
а в 150 кг X кг

$$x = \frac{150 \cdot 63,5}{95,5} = 99,7 \text{ (кг) меди,}$$

где 95,5 и 63,5 - молекулярная масса и атомная масса соответственно CuS и Cu.

Отсюда степень извлечения меди составляет:

$$\frac{60,0 \cdot 100}{99,7} = 60,2 \text{ (\%).}$$

3) Содержание меди в концентрате равно 30%, а содержание ее в исходной руде, содержащей 5% CuS, составляет:

$$\frac{99,7 \cdot 100}{3000} = 3,3 \text{ (\%).}$$

Степень концентрации меди равна:

$$\frac{30}{3,3} = 9,1 \text{ (раза).}$$

Пример 8. Определить количество флотируемой руды (в т) и процентное содержание металла в руде, если выход концентрата равен 5,5%, количество полученного концентрата - 275 кг, степень извлечения металла из руды составляет 85% и содержание металла в концентрате - 95 кг.

Решение. Обозначим количество флотируемой руды через x , процентное содержание металла в руде через y , тогда выход концентрата равен:

$$\eta_k = \frac{275 \cdot 100}{x} = 5,5 \text{ (\%).}$$

Откуда:

$$x = \frac{27500}{5,5} = 5000 \text{ (кг).}$$

Процентное содержание (y) металла в руде:

$$\frac{95 \cdot 100}{500 \cdot \frac{y}{100}} = 85 \text{ (\%).}$$

Откуда:

$$y = \frac{95 \cdot 100}{85 \cdot 50} = 2,2 \text{ (\%).}$$

1.5 Задачи для самостоятельного решения

1. При обогащении 8,0 т медной (сульфидной) руды, содержащей 1,6 % меди, получено 400 кг концентрата, содержащего 24% меди. Определить степень извлечения меди и степень концентрации.

Ответ. Степень извлечения - 75%, степень концентрации - 15 раз.

2. При обогащении 6 т руды, содержащей 2% цинка, получено 350 кг концентрата, содержащего 25% цинка. Определить выход концентрата, степень извлечения, степень концентрации.

Ответ. Выход концентрата - 5,8%, степень извлечения цинка - 72,9%, степень концентрации - 12,5 раза.

3. При флотации свинцовой руды, содержащей 1,3% свинца, получено 380 кг концентрата, содержащего 18% свинца. Выход концентрата равен 5,5 %. Определить количество флотируемой руды, степень извлечения, степень концентрации.

Ответ. Количество флотируемой руды - 6909 кг, степень извлечения свинца - 76,2%, степень обогащения - 13,8 раза.

4. Магнитный сепаратор горно-обогатительного комбината перерабатывает в час 160 т измельченного титаномагнетита. При этом получается магнитный продукт с выходом 38,1% и степенью извлечения железа 72,1%. Массовая доля железа в руде 16,9%, а в продукте - 32%. Определите массу концентрата и массу отходов, а также массовую долю железа в них.

5. Из 100 т полиметаллической руды было получено 2240 кг медного концентрата со степенью концентрации 35,7%, и 84 кг молибденового концентрата со степенью концентрации 8,33%. Массовые доли меди и молибдена в концентратах равны соответственно 25 и 50 %. Определите выходы концентратов и степень извлечения металлов.

6. Белая глина, в составе которой 44,5% SiO_2 и 3,31 % Al_2O_3 (по массе), повысилась на 3,37%, предназначенная для получения тонкой керамики, подвергалась отмачиванию. После обогащения массовая доля SiO_2 повысилась на 3,37%, а Al_2O_3 - на 4,82%. Определите: 1) массовую долю минерала каолина в $(\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ концентрате; на сколько сократилось содержание примесей в результате обогащения.

7. На некоторых обогатительных фабриках страны действуют установки для обогащения угля в тяжелых средах со следующими показателями: производительность установки 250 т/ч сырья и 150 т/ч концентрата; зольность концентрата 20% (в массовых долях), а сырья - 40 %. Определите: 1) массу концентрата; 2) выход концентрата; 3)

степень извлечения угля; 4) массу отходов и массовую долю в них угля.

2 Технико-экономические показатели химических производств

Практическая целесообразность и рентабельность химического производства определяются технико-экономическими показателями, важнейшими из которых являются *расходный коэффициент сырья* и *выход* продукта, *производительность аппарата*, *интенсивность* процесса (аппарата).

2.1 Расходный коэффициент сырья и выход продукта

Расходным коэффициентом сырья (F_p) называется количество каждого вида сырья (кг, т), затраченное на единицу готового продукта, полученного в процессе данного производства.

2.1.1 Примеры решения типовых задач

Пример 1. Определить расходный коэффициент аммиака в производстве азотной кислоты (без учета производственных потерь).

Решение. Процесс окисления аммиака в азотную кислоту протекает по схеме:



На образование 63 кг азотной кислоты теоретически расходуется 17 кг аммиака, а для получения 1 кг кислоты расход аммиака составит:

$$\frac{17 \cdot 1}{63} = 0,27 \text{ (кг)}.$$

Следовательно, расходный коэффициент (F_p) аммиака равен 0,27 кг.

2.2 Выход продукта

Выход продукта (η) — это отношение количества практически полученного продукта — G_n (в кг) к теоретически возможному — G_T (в кг), выраженное в процентах:

$$\eta = \frac{G_n}{G_m} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad (2.1)$$

Если производственный процесс состоит из нескольких стадий и каждой из них соответствует определенный выход, то общий выход готового продукта по всему процессу в целом определяется следующим уравнением:

$$\eta_{\text{общ}} = \left(\frac{\eta_1}{100} + \frac{\eta_2}{100} + \dots + \frac{\eta_n}{100} \right) \cdot 100 (\%), \quad (2.2)$$

где η_1, η_2, η_n - выход продукта по отдельным стадиям процесса производства.

Чем выше выход продукта, тем экономичнее производство. Снижение выхода продукта обусловлено загрязненностью сырья, потерей сырья в процессе транспортировки, не герметичностью аппаратуры, протеканием побочных реакций, обратимостью реакций.

2.2.1. Примеры решения типовых задач

Пример1. Теоретически 17 кг аммиака NH_3 при окислении дают 63 кг азотной кислоты HNO_3 . Практически же получено 54 кг кислоты. Определить выход азотной кислоты.

Решение:

По условию $G_n=54 \text{ кг}$, а $G_m= 63 \text{ кг}$ - по уравнению (2.1).

$$\eta = \frac{54}{63} \cdot 100 = 85,7 (\%).$$

Пример2. При получении серной кислоты контактным способом на 1 т сжигаемого колчедана с содержанием 42% серы практически получается 1,2 т олеума, содержащего 20% «свободного» ангидрида SO_3 . Определить процент выхода серной кислоты.

Решение: Процесс образования серной кислоты протекает по схеме:

Из 1 т колчедана, содержащего 42% серы S, теоретически серной кислоты можно получить:

$$G_m = \frac{420 \cdot 98,1}{32,1} = 1283 \text{ (кг)},$$

где 98,1 и 32,1 — молекулярные массы соответственно серной кислоты и серы; 420 — содержание серы в 1 т колчедана.

В 100 кг 20%-ного олеума содержится 80 кг H_2SO_4 и 20 кг серного ангидрида SO_3 , которые эквивалентны

$$\frac{20 \cdot 98,1}{80,1} = 24,5 \text{ (кг)} H_2SO_4,$$

где 80,1 — молекулярная масса SO_3 , а 98,1 — молекулярная масса H_2SO_4 .

100 кг 20%-ного олеума эквивалентны (24,5+80,0) кг H_2SO_4 ,

$$G_n = 1200 \cdot \frac{80 \cdot 24,5}{100} = 1254 \text{ (кг)}.$$

Отсюда выход серной кислоты (η) равен:

$$\frac{1254 \cdot 100}{1283} = 97,7 \text{ (\%)}.$$

Пример 3. Согласно материальной отчетности на производство 1 т 65%-ной азотной кислоты HNO_3 , полученной окислением аммиака, расходуется 186,2 кг аммиака NH_3 . Рассчитать: а) выход азотной кислоты; б) теоретический и практический расходные коэффициенты сырья по аммиаку.

Решение. В 1 т 65%-ной азотной кислоты HNO_3 содержится 650 кг чистой кислоты G_n . Процесс получения азотной кислоты HNO_3 протекает по схеме:

Расходные коэффициенты по аммиаку будут равны:

а) теоретический:

$$F_p = \frac{17,0 \cdot 1}{63,0} = 0,27;$$

б) практический:

$$F_p = \frac{186,2}{650} = 0,286 \text{ (кг)}.$$

Это значит, что на получение 1 кг 100%-ной азотной кислоты HNO_3 расходуется практически 0,286 кг аммиака NH_3 .

Для вычисления выхода азотной кислоты по аммиаку рассчитаем, сколько кислоты теоретически должно получиться из 186,2 кг аммиака.

17 кг аммиака NH_3 дают 63 кг кислоты HNO_3 ,

а 186 кг х кг

$$G_m = \frac{186,2 \cdot 63}{17} = 690 \text{ (кг)} - 100\% - \text{ой } HNO_3.$$

В пересчете на 65%-ую HNO_3

$$\frac{690 \cdot 100}{65} = 1062 \text{ (кг)}.$$

Выход азотной кислоты HNO_3 (η) будет равен:

$$\frac{650 \cdot 100}{690} = 94,2 \text{ (\%)}.$$

Пример4. Из 320 т колчедана FeS_2 , содержащего 45% серы S, было получено 270 т сернистого газа SO_2 . Вычислить расходный коэффициент и выход SO_2 по сере.

Решение. Процесс получения газа SO_2 из пирита FeS_2 протекает по схеме:

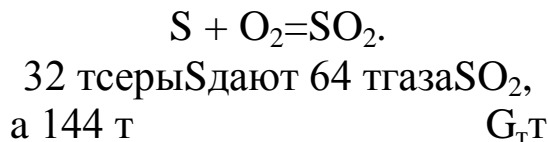
Определить количество серы в 320 т колчедана:

$$\frac{320 \cdot 45}{100} = 144 \text{ (т)}.$$

Расходный коэффициент серы F_p будет равен:

$$\frac{144}{270} = 0.533 \text{ (т)}.$$

Из 144 т серы теоретически сернистого газа SO_2 должно получиться:



Отсюда,

$$G_m = \frac{144 \cdot 64}{32} = 288 \text{ (т)}.$$

Выход газа SO_2 по сере будет равен:

$$\eta = \frac{270 \cdot 100}{288} = 93,75 \text{ (\%)}.$$

2.3 Производительность и мощность аппарата

Производительность аппарата (Π) - это количество готового продукта G_n , практически выработанного данным аппаратом в единицу времени при данных условиях процесса производства, выражается в кг/ч (т/сут).

$$\Pi = \frac{G_n}{\tau} \left(\frac{\text{кг}}{\text{ч}} \right) \quad (2.3)$$

2.3.3 Примеры решения типовых задач

Пример1. В контактном аппарате в течение 12 ч. окисляется 180 т ангидрида SO_2 , степень окисления 98,5%. Определить производительность аппарата в кг/ч.

Решение. Пользуясь уравнением (2.3), находим производительность контактного аппарата:

$$П = \frac{180 \cdot 1000}{12} \cdot 0,985 = 14775 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{Ч}} \right) SO_2 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{Ч}} \right) SO_2.$$

Пример2. Определить годовую (365 дней) производительность колонны синтеза аммиака в расчете на 100%-ный NH_3 (в тыс. т), если за 8 ч вырабатывается 60000 кг 99%-ного аммиака.

Решение. За сутки 99%-ного аммиака вырабатывается:

$$\frac{60000 \cdot 24}{8} = 180000 \text{ (кг)}, \text{ или } 180 \text{ т.}$$

Годовая производительность колонны синтеза аммиака составляет:

$$180 \cdot 365 = 65700 \text{ (т)} NH_3 \text{ 99\%-ного.}$$

Производительность колонны (в расчете на 100%-ный аммиак) равна:

$$\frac{65700 \cdot 99}{100} = 65043 \left(\frac{\text{Т}}{\text{ГОД}} \right).$$

Пример3. Определить суточную производительность механической обжиговой печи (в т), если в течение часа обжигается 1900 кг природного колчедана, содержащего 21,5% пустой породы. В огарок отходит 2% колчедана FeS_2 .

Решение. Содержание FeS_2 в природном колчедане составляет:

$$100 - 21,5 = 78,5(\%).$$

Отсюда в 1900 кг колчедана содержится FeS_2 :

$$1900 \cdot 0,785 = 1491,5 \text{ (кг).}$$

Отходит в огарок (2%):

$$\frac{1491,5 \cdot 2}{100} \approx 29,8 \text{ (кг)} FeS_2.$$

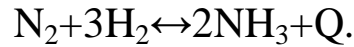
Суточная производительность обжиговой печи (в т) равна:

$$\frac{(1491,5 - 29,8) \cdot 24}{1000} \approx 35,1 \left(\frac{\text{Т}}{\text{СУТ}} \right) FeS_2.$$

Пример4. Производительность колонны синтеза аммиака среднего давления составляет 150 т/сут аммиака NH_3 . Определить,

сколько азота N_2 и водорода H_2 (в $нм^3$) потребуется в сутки для работы пяти колонн синтеза, если на 1 т аммиака NH_3 расходуется $2850 нм^5$ азотно-водородной смеси.

Решение. Процесс синтеза аммиака протекает по реакции:



Из четырех объемов азотно-водородной смеси на долю азота приходится один объем, а на водород — три объема. Для обеспечения работы пяти колонн синтеза в течение суток (с учетом условий задачи) потребуется:

а) азота

$$\frac{150 \cdot 2850}{4} \cdot 5 = 534375 \left(\frac{нм^3}{сут} \right),$$

б) водорода

$$\frac{150 \cdot 2850}{4} \cdot 3 \cdot 5 = 1603125 \left(\frac{нм^3}{сут} \right).$$

Производительность аппарата при оптимальных условиях процесса называется *мощностью* (N) аппарата.

$$P_{\text{опт}} = N \left(\frac{кг}{ч} \right) \quad (2.4)$$

2.4 Интенсивность аппарата (процесса)

Интенсивность аппарата (I) — это производительность, отнесенная к единице полезной площади (S_n) или к единице полезного объема (V_n):

$$I = \frac{\Pi}{S_n} = \frac{G_n}{S_n \cdot \tau} \left(\frac{кг}{м^2 \cdot ч} \right), \quad (2.5)$$

$$I = \frac{\Pi}{V_n} = \frac{G_n}{V_n \cdot \tau} \left(\frac{кг}{м^3 \cdot ч} \right) \quad (2.6)$$

2.4.1 Примеры решения типовых задач

Пример 1. Объем контактной массы в аппарате окисления сернистого газа в серный ангидрид составляет $14,5 м$. Производительность контактного аппарата — $360 т/сут$ (по H_2SO_4). Определить интенсивность процесса окисления.

Решение. Пользуясь уравнением (2.6), определяем интенсивность окисления:

$$I = \frac{360 \cdot 1000}{1 \cdot 24 \cdot 14,5} = 1034,5 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot \text{ч} \right) \text{ (по } H_2SO_4 \text{)}.$$

Пример2. Доменная печь объемом 2700 м^3 выплавляет в год 1642,5 тыс. t чугуна. Определить производительность домны и интенсивность процесса выплавки чугуна.

Решение: Производительность (Π) домны ($v.t/ч$) равна:

$$\frac{1642,5 \cdot 1000}{1 \cdot 24 \cdot 365} = 187,5$$

Интенсивность процесса (I) выплавки чугуна равна:

$$\frac{187,5 \cdot 1000}{2700} \approx 70 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot \text{ч} \right).$$

Пример3. В механической печи системы ВХЗ обжигают $1,6 \text{ т/ч}$ колчедана, содержащего 40% серы S. Печь имеет 7 рабочих подов, площадь каждого 20 м^2 . Определить интенсивность обжига на 1 м^2 пода печи в сутки. Расчет произвести на 45%-ный колчедан.

Решение. Количество сжигаемого в печи колчедана (в пересчете на колчедан, содержащий 45% серы S) будет равно:

$$\frac{1,6 \cdot 40}{45} = 1,42 \left(\frac{\text{Т}}{\text{ч}} \right), \text{ или } 1,42 \cdot 24 = 34,1 \left(\frac{\text{Т}}{\text{СУТ}} \right).$$

Интенсивность обжига (I) составляет:

$$\frac{34,1 \cdot 1000}{20 \cdot 7} = 243,6 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^2} \cdot \text{СУТ} \right).$$

Пример4. В коксовую камеру длиной - 14 м , высотой - 4 м и шириной - $0,4 \text{ м}$ загружают 16 т каменного угля, который занимает 80% объема камеры. Процесс коксования угля осуществляется в течение 14 ч . Рассчитать производительность коксовой камеры и интенсивность процесса коксования.

Решение. Объем коксовой камеры равен:

$$V = 14,0 \cdot 4,0 : 0,4 = 22,4 \text{ (М}^3 \text{)}.$$

Полезный объем камеры (V_n) составляет:

$$22,4 : 0,8 = 28 \text{ (М}^3 \text{)}.$$

Производительность коксовой камеры равна:

$$\Pi = \frac{16,0 \cdot 1000}{14} = 1143 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{ч}} \right).$$

Интенсивность процесса коксования угля составляет:

$$I = \frac{1143}{18} = 63,5 \left(\frac{\text{КГ}}{\text{М}^3 \cdot \text{ч}} \right).$$

Пример5. Производительность печи КС равна $8,33 \text{ т/ч}$ (по флотационному колчедану). Определить интенсивность процесса обжига в $\text{кг/м}^3 \cdot \text{сут}$ и сравнить с интенсивностью этого процесса в

печи ВХЗ. Площадь решетки печи - 20 м^2 , высота кипящего слоя (h) — $1,5 \text{ м}$.

Решение. Полезный объем печи КС:

$$V_n = 20 \cdot 1,5 = 30,0$$

Интенсивность процесса обжига колчедана вычисляется по формуле (2.6):

$$I = \frac{8,33 \cdot 1000 \cdot 24}{30} = 6664 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{сут} \right).$$

При сопоставлении интенсивности процесса обжига колчедана, мы видим, что интенсивность обжига в печах КС в $6664 : 243,6 \approx 27$ раз выше, чем в печах ВХЗ.

2.5 Вопросы для повторения

1. Что называется расходным коэффициентом сырья?
2. Дайте определение понятию «выход продукта».
3. Какая величина называется «производительностью» аппарата? От каких факторов она зависит?
4. Что называется «мощностью» аппарата?
5. Дайте определение понятию «интенсивность» аппарата (процесса).
6. Укажите, какие факторы влияют на основные технико-экономические показатели химического производства: на выход продукта и производительность аппарата. Ответ мотивируйте.

2.6 Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислите теоретические расходные коэффициенты для получения сульфатным методом 1 т 36% -ной соляной кислоты.
2. Определите расходный коэффициент технического альдегида (99% -ной чистоты) для получения 1 т уксусной кислоты:

$$\text{CH}_3\text{CHO} + 0,5\text{O}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH},$$
 если выход кислоты по альдегиду $93,5\%$.
3. Определите расходные коэффициенты сырья для производства 1 т фосфата аммония $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, если исходные продукты: 55% -ная фосфорная кислота; 98% -ный аммиак, влаги - 2% .
4. Вычислите расходные коэффициенты на 1 т оксида серы (IV), если содержание серы в руде серного колчедана 45% , влаги - $1,5\%$, воздух на обжиг колчедана подают с избытком в $1,5$ раза.

5.Негашеная известь содержит 95% окисла CaO, 1,2% известняка CaCO₃ и 3,8% примесей. Получается она обжигом известняка, содержащего 85% CaCO₃. Рассчитать: а) расходный коэффициент известняка указанного состава на 1 т CaO; б) степень обжига известняка.

Ответ. а) Расходный коэффициент - 2,03 т известняка, содержащего 85% карбоната CaCO₃; б) степень обжига - 98,8%.

6.При химическом обогащении марганцевой руды через шлам, в составе которого 15% Mn (по массе), пропускают оксид серы (IV), затем добавляют дитионат кальция и в конечном итоге Ca(OH)₂. При этом происходит следующее превращение:



Напишите уравнения соответствующих реакций и определите расходные коэффициенты этого процесса в расчете на 100 т шлама.

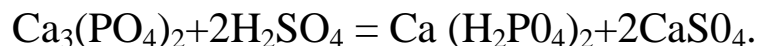
7.При производстве серной кислоты контактным способом из 30 т колчедана, содержащего 42,4% серы, получено 33,6 т серной кислоты H₂SO₄. Какой процент это составляет от теоретически возможного выхода?

Ответ. 86,2%.

8.На химическом заводе для получения кальциевой селитры 10 т мела обработали азотной кислотой. При этом выход селитры составил 85%. Определить, сколько селитры было получено.

Ответ. 13940 кг.

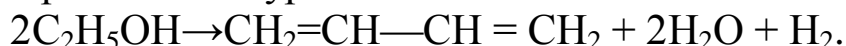
9.При обработке 1 т фосфорита, содержащего 62% третичного фосфата кальция Ca₃(PO₄)₂, серной кислотой было получено 727,2 кг суперфосфата:



Определить выход суперфосфата и расходный коэффициент руды.

Ответ. Выход суперфосфата - 90%; практический расходный коэффициент руды-1,37.

10.Реакция получения дивинила из этилового спирта по способу С. В. Лебедева протекает по уравнению:



Выход дивинила составляет 75%. Вычислить, сколько килограммов дивинила можно получить из 2000 л 96%-ного спирта C₂H₅OH, плотность которого 0,8 кг/л.

Ответ. 676,1 кг дивинила.

11.Сернокислотная установка башенной системы объемом 740 м дает 150т 75%-ной серной кислоты H₂SO₄ в сутки. Определить

производительность установки (П) (в кг/ч) по безводной серной кислоте H_2SO_4 .

Ответ. $P=4687,5$ кг/ч.

12. Производительность печи для обжига серного колчедана составляет 30 т в сутки. Выход сернистого газа — 97,4% от теоретического. Сколько тонн SO_2 производит печь в сутки, если содержание серы в колчедане 42,4%?

Ответ. 24,8 т/сут SO_2 .

13. Годовая производительность установки по производству уксусной кислоты 20 тыс. т в год. Вычислите производительность в час, если цех работает 365 дней в году, из них 32 дня отводятся на ремонты, потери производства составляют 4%.

14. Подсчитайте интенсивность полимеризаторасополимеризации дивинила со стиролом, если его объем 20 м^3 , производительность 2160 кг полимера в сутки.

15. Продукционная башня - денитратор в нитрозном способе производства серной кислоты имеет высоту 16 м и диаметр 5,5 м. Полезный объем башни составляет 85%. Съем кислот - 90 т в сутки. Определить интенсивность процесса.

Ответ. 11,6 кг/м³ч H_2SO_4 .

16. Годовая производительность домны составляет 1800 тыс. т чугуна. Определить интенсивность процесса выплавки чугуна, если полезный объем печи составляет 2700 м^3 .

Ответ. 76,1 кг/м³ч.

17. Подсчитать суточную производительность печи КС, если полезный объем печи равен 100 м^3 , а интенсивность обжига пирита FeS_2 1000 кг/м³-сут.

Ответ. $P = 100$ т/сут (по FeS_2).

18. Объем колонны синтеза аммиака, занятый катализатором, составляет $1,5\text{ м}^3$. Производительность колонны 7500. Рассчитать: а) годовую производительность колонны синтеза аммиака (в т); б) интенсивность процесса синтеза аммиака.

Ответ. $P = 657 \cdot 10^2$ т NH_3 в год; $I = 5000$ кг/м³ · ч

3 Вода в химической промышленности и народном хозяйстве.

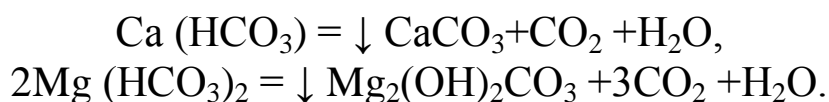
3.1 Основные показатели качества природных вод

Нет сферы человеческой деятельности, которая не была бы связана в той или иной мере с использованием воды. Крупнейшим потребителем воды является современная химическая промышленность. Так, например, на производство 1 т синтетического аммиака расходуется 1500 м³, а на 1 т вискозного шелка - 2700 м³ воды. Огромное количество воды потребляется металлургическими, коксохимическими и нефтеперерабатывающими заводами.

Одним из основных показателей качества природных вод является *жесткость* воды (ГОСТ 2875-54), обусловленная присутствием в воде солей кальция и магния. В настоящее время жесткость воды измеряется количеством миллиграмм - эквивалентов ионов кальция или магния, содержащихся в 1 л воды. За единицу жесткости принимают содержание 20,04 мг/л ионов Ca²⁺ или 12,16 мг/л ионов Mg²⁺.

Различают три вида жесткости: временную, постоянную и общую.

Временная, или *карбонатная*, жесткость Ж_к обусловлена наличием в воде двууглекислых солей кальция и магния (бикарбонатов), которые при кипячении воды переходят в нерастворимые углекислые соли и выпадают в виде плотного осадка (накипи):



Постоянная, или *некарбонатная*, жесткость Ж_н обусловлена содержанием в воде других солей кальция и магния, остающихся при кипячении в растворенном состоянии (хлориды, сульфаты, фосфаты, силикаты). Общая жесткость Ж_о определяется суммой карбонатной и некарбонатной жесткости:

$$\text{Ж}_o = \text{Ж}_k + \text{Ж}_н.$$

Жесткость природных вод колеблется в широких пределах. Вода, жесткость которой менее 3 мг - экв/л ионов Ca²⁺ и Mg²⁺, характеризуется как *мягкая*, от 3 до 6 - *умеренно жесткая*, от 6 до 10 - *жесткая* и более 10 мг - экв/л - *очень жесткая*.

Применение жесткой воды в промышленности, коммунальном хозяйстве и быту приводит к перерасходу топлива, мыла, щелочей, а в ряде случаев ухудшает продукцию производства. Большой вред

приносят растворимые в воде соли и газы, вызывая образование накипи и поверхностные разрушения металлов вследствие коррозии.

Окисляемость и кислотность воды.

Косвенным показателем содержания в воде органических веществ является ее окисляемость. Окисляемость определяется количеством миллиграммов перманганата калия KMnO_4 , израсходованного при кипячении 1 л воды с избытком перманганата калия в течение 10 мин.

В пересчете на кислород окисляемость воды вычисляется по уравнению:



т.е. каждые $2 \cdot 158,03$ мг перманганата KMnO_4 при разложении дают 5-16 мг кислорода.

Кислотность воды характеризуется показателем концентрации водородных ионов (рН). Реакция природных вод близка к нейтральной, колеблется в пределах 6,8-7,3. Реакция оборотных вод зависит от характера производства. При рН $>6,5$ вода кислая, при рН $>7,5$ - щелочная.

3.2 Способы очистки питьевой и промышленных вод

1. Отстаивание - осветление воды. Отстаиванием удаляются грубодисперсные взвешенные примеси, оседающие под действием силы тяжести на дно отстойника.

2. Коагуляция. Коагуляцией называется процесс выделения из воды примесей, находящихся в коллоидном состоянии (мельчайшие глинистые частицы и белковые вещества). Коагуляция осуществляется внесением в воду небольших количеств электролитов ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4), называемых *коагулянтами*. Количество вносимого в воду коагулянта находится в зависимости от загрязнённости воды и составляет от 20 до 120 г/м³.

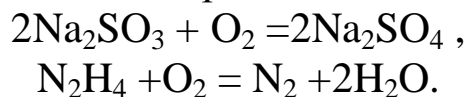
3. Фильтрование-наиболее универсальный метод очистки воды. Для фильтрования применяют песчаные фильтры с зернистым фильтрующим слоем и катионитовые фильтры.

4. Нейтрализация воды. Этот способ применяют в том случае, если промышленная вода загрязнена кислотами или щелочами.

5. Обеззараживание-устранение бактериальной загрязнённости воды - хлорированием, озонированием, кипячением, бактерицидным облучением и другими способами.

6. *Деаэрация-процесс* удаления из промышленных вод вредных газов (CO_2 и особенно O_2). В настоящее время применяют термическую и химическую деаэрацию.

Термическая деаэрация заключается в нагревании воды до кипячения, а *химическая* - в добавлении к воде веществ, связывающих кислород и углекислый газ. В качестве химического деаэратора применяют сульфит натрия или гидразин:



Умягчение и обессоливание воды.

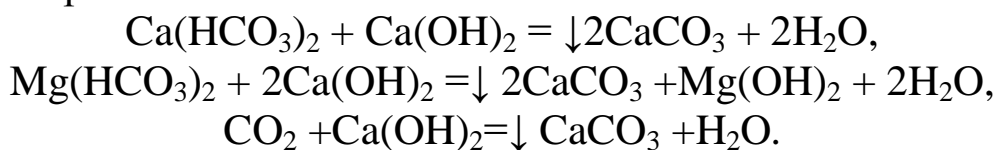
Умягчение воды состоит в удалении солей кальция и магния и осуществляется термическим, химическим или физико-химическим методами.

Термический метод заключается в кипячении воды при 105-110 С, при этом устраняется карбонатная жёсткость:

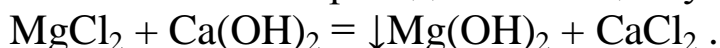


Химический метод основан на осаждении ионов кальция и магния в виде труднорастворимых соединений, выпадающих в осадок.

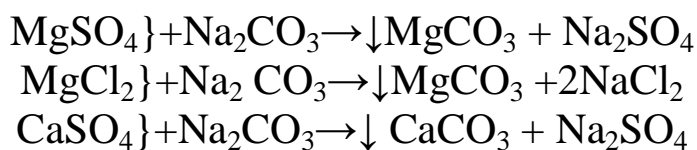
По применяемым реагентам различают следующие способы: *известковый, содовый, натронный, фосфатный и комбинированный*. Наиболее экономично применение комбинированного способа умягчения воды, обеспечивающего устранение временной и постоянной жёсткости. Таким способом является известково-содовый в сочетании с фосфатным. При обработке воды гашеной известью устраняется временная жёсткость:



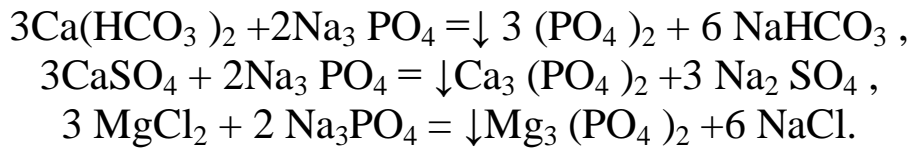
Постоянная жёсткость, обусловленная ионами магния, при обработке известковым молоком переходит в кальциевую:



При обработке воды кальцинированной содой устраняется постоянная жёсткость:



При обработке воды фосфатом натрия достигается более полное осаждение катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} :

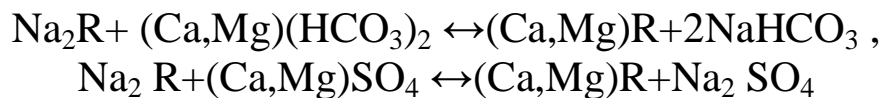


Растворимость фосфатов кальция и магния ничтожно мала; это обеспечивает высокую эффективность фосфатного метода. Из физико-химических методов наибольшее значение имеет ионообменный метод.

Метод основан на способности ионитов обменивать свои подвижные ионы на ионы солей, растворённых в воде. Иониты, обменивающие свои катионы на катионы солей, содержащихся в воде, называются *катионитами*;

к ним относятся: алюмосиликаты, сульфированные угли, синтетические смолы (КУ-1, КУ-5, КБ-4 и др.).

Иониты, обменивающие свои анионы на анионы солей и кислот, называются *анионитами*. Для умягчения воды применяют обычно катиониты в водородной (H- катионит) и натриевой (Na-катионит) формах. Если обозначим катионит, кроме подвижного иона, буквой R, то реакции ионообмена в жёсткой воде могут быть выражены следующими уравнениями:



Количество катионов кальция и магния, которое может быть поглощено определённым количеством катионита, называется *ёмкостью поглощения (E)*.

Ёмкость поглощения выражается в *г-экв/кг* или *г- экв/м³* катионита (см. табл. 1)

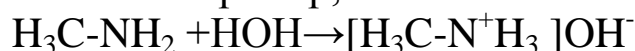
Таблица 1 Ёмкость поглощения некоторых ионитов

Ионит	Ёмкость поглощения	
	Г-экв/кг	Г-экв/м ³
Катиониты		
Сульфуголь	1,3-2,7	1200-1900
Пермутит	-	850-950
КУ-1(катионит универсальный)	1,6-2,8	
КУ-2	2,8-4,75	
КБ (катионит универсальный)	0,6-1,0	
Аниониты		
ЭДЭ-10А	1,5-2,2	
АВ-17	3,5	
АВ-18	1,5-3,0	

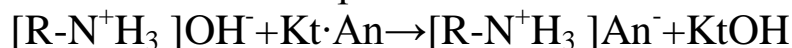
Анионообменные материалы являются синтетическими органическими смолами, в основном фенолформальдегидного или аминоформальдегидного типа.

Анионообменные свойства их обусловлены содержанием в молекулах смолы первичных, вторичных и третичных аминов и четвертичных аммониевых оснований:

При растворении аминов в воде образуется ион замещённого аммония и ион гидроксила. Например,



Образующиеся гидроокиси аммониевых оснований вступают в реакцию обмена с анионами электролитов по схеме:

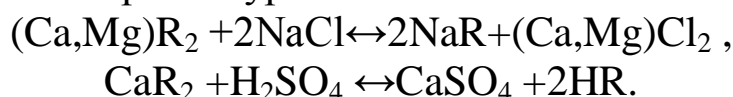


В данном случае ионитом удерживается анион электролита, а катион в виде гидроокиси остаётся в растворе.

После использования поглощательной ёмкости катиониты *регенерируют*.

Для регенерации Na-катионита через него пропускают насыщенный раствор поваренной соли, а для регенерации H-катионита - раствор серной кислоты.

При этом ионы кальция и магния вытесняются ионами натрия. Процесс может быть выражен уравнениями:



3.3 Вопросы для повторения

1. Указать, чем обусловлено широкое применение воды в химической промышленности и народном хозяйстве.

2. Назвать способы очистки питьевых и промышленных вод. На чем основано обеззараживающее действие хлора?

3. Чем обусловлена временная, постоянная и общая жёсткость воды? В каких единицах выражается жесткость воды?

4. Назвать основные методы умягчения промышленных вод.

5. Что называется ионообменной ёмкостью катионита и анионита и в каких единицах она выражается?

3.4 Примеры решения типовых задач

Пример1. К 100 мл исследуемой воды было прибавлено 10 мл 0,0105 н. раствора марганцовокислого калия. После 10 мин кипячения прилито 10 мл 0,01н. раствора щавелевой кислоты, на титрование избытка которой пошло 2 мл раствора перманганата KMnO_4 . Определить окисляемость воды в пересчёте на кислород.

Решение. Общий объём 0,0105н. раствора перманганата KMnO_4 составляет:

$$10,0+2,0=12,0(\text{мл})$$

Из них пошло: а) на титрование щавелевой кислоты

$$\frac{0,01 \cdot 10}{0,0105} = 9,52 (\text{мл}),$$

б) на окисление органических примесей в 100 мл исследуемой воды

$$12,0-9,52=2,48 (\text{мл})$$

Окисляемость исследуемой воды вычисляется по формуле:

$$\text{окисляемость воды} = \frac{N_{\text{KMnO}_4} \cdot \text{ЭКВ}_{\text{KMnO}_4} \cdot V_{\text{KMnO}_4} \cdot 1000}{V_{\text{H}_2\text{O}}},$$

где V_{KMnO_4} - расход раствора соли KMnO_4 на титрование органических примесей (в мл);

N_{KMnO_4} - нормальность раствора перманганата;

$\text{ЭКВ}_{\text{KMnO}_4}$ - эквивалент соли KMnO_4 .

В нашем примере окисляемость воды будет равна:

$$\frac{0,0105 \cdot 31,6 \cdot 2,48 \cdot 1000}{100} = 8,22 \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right),$$

где 31,6 - эквивалент марганцовокислого калия.

По уравнению (5) находим окисляемость воды (в пересчете на кислород):

316,06 мг перманганата KMnO_4 при окислении примесей дают
80 мг O_2 ,
а 8,22 мг X мг

Откуда,

$$X=8,22 \cdot 80 / 316,06=2,08 (\text{мг/л})-\text{O}_2.$$

Пример2. В 5 м воды содержится 250 г ионов кальция и 135г ионов магния. Определить общую жесткость воды.

Решение. Найдем содержание ионов кальция и магния (в мг/л) в воде:

$$\frac{250 \cdot 1000}{5 \cdot 1000} = 50 \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) \text{ ионов } \text{Ca}^{2+};$$

$$\frac{135 \cdot 1000}{5 \cdot 1000} = 27 \left(\frac{\text{МГ}}{\text{Л}} \right) \text{ ионов } \text{Mg}^{2+}.$$

1 мг-экв жесткости отвечает содержанию 20,04 мг/л ионов Ca^{2+} или 12,16 мг/л ионов Mg^{2+} ; следовательно, $J_0 = 50/20,04 + 27/12,16 = 4,715$ (мг-экв/л). Вода умеренно жесткая.

Пример 3. Жесткость воды равна 5,4 мг-экв ионов кальция в 1 л воды. Какое количество тринатрийфосфата Na_3PO_4 необходимо взять, чтобы понизить жесткость 1 т воды практически до нуля.

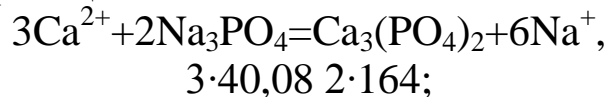
Решение. Определим содержание ионов кальция в 1 л воды:

$$5,4 \cdot 20,04 = 108,22 \text{ (мг) ионов } \text{Ca}^{2+}$$

В тонне воды:

$$108,22 \cdot 1000 = 108220 \text{ (мг), или } 108,22 \text{ г.}$$

По уравнению реакции:



где 40,08 и 164 - атомная и молекулярная массы соответственно Ca и Na_3PO_4 .

Количество тринатрий фосфата, необходимое для умягчения 1 т воды, составляет (теоретически):

$$\text{на } 3 \cdot 40,08 \text{ г Ca требуется } 2 \cdot 164 \text{ г } \text{Na}_3\text{PO}_4,$$

$$\text{а на } 108,22 \text{ г х г}$$

Откуда

$$x = \frac{108,22 \cdot 2}{3 \cdot 40,08} = 295,2 \text{ (г) } \text{Na}_3\text{PO}_4.$$

Пример 4. Определить общую жесткость воды методом комплексометрического титрования, если на 100 мл исследуемой воды пошло 8,5 мл 0,1 н. раствора трилона. Поправочный коэффициент трилона равен 1,05. Установлено, что 1 мл 0,1 н раствора трилона Б соответствует 0,1 мг-экв ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Решение. Общая жесткость воды может быть вычислена по формуле:

$$J_0 = \frac{V \cdot K \cdot 1000}{10 \cdot V_{\text{H}_2\text{O}}} \left(\text{мг} - \frac{\text{ЭКВ}}{\text{Л}} \right) \quad (3.2)$$

где V-количество миллилитров 0,1 н раствора трилона Б, расходуемое на титрование;

K-поправочный коэффициент на нормальность;

1000- количество миллилитров в 1 л;

10 (в знаменателе) - коэффициент для перехода к 1н раствору трилона Б;

V_{H_2O} объем вод (в миллилитрах), взятый для анализа.

Подставляя в формулу (3.2) данные задачи, получим:

$$Ж_0 = 8,5 \cdot 1,05 \cdot 1000 / (10 - 100) = 8,925 \text{ (мг-экв/л)}.$$

Вода жесткая.

Пример5. Определить: 1) карбонатную жесткость воды, если на 100мл исследуемой воды пошло 4,6 мл 0,1н раствора соляной кислоты. Поправочный коэффициент на нормальность кислоты равен 1,1; 2) постоянную жесткость воды, если общая жесткость воды равна 12 мг-экв/л.

Решение. Временная, или карбонатная, жесткость воды, исходя из условий задачи, может быть вычислена по формуле:

$$Ж_к = \frac{V_{HCl} \cdot K \cdot 1000}{10 \cdot V_{H_2O}}, \quad (3.3)$$

где значения величин аналогичны значениям в примере 4, следовательно,

$$Ж_к = 4,6 - 1,1 \cdot 1000 / (10 - 1000) = 5,06 \text{ (мг-экв/л)}.$$

Постоянная, или некарбонатная, жесткость воды определяется как разность между общей и карбонатной жесткостью:

$$Ж_п = Ж_0 - Ж_к, \quad Ж_п = 12 - 5,06 = 6,94 \text{ (мг-экв/л)}.$$

Пример6. Карбонатная жесткость воды равна 5 мг-экв/л. Определить содержание бикарбоната кальция в 10 м^3 воды.

Решение. Содержание ионов Ca^{2+} в 10 м^3 воды заданной жесткости будет равно:

$$5 \cdot 20,04 \cdot 10 \cdot 1000 / 1000 = 1002 \text{ (г)}, \text{ или } 1,002 \text{ (кг)}.$$

Содержание бикарбоната кальция в 10 м^3 воды содержащей 1,002 кг ионов Ca^{2+} :

$$\begin{array}{ccc} 40,08 \text{ кг Ca} & \text{содержится в} & 162,1 \text{ кг Ca(HCO}_3)_2, \\ & \text{а } 1,002 \text{ кг} & \text{х кг} \end{array}$$

где 162,1 - молекулярная масса $\text{Ca(HCO}_3)_2$.

Отсюда.

$$X = 162,1 \cdot 1,002 / 40,08 = 4,05 \text{ (кг)}.$$

Пример7. Определить время работы катионитовой колонки до регенерации, если объем катионита (сульфоуголь) составляет 1,5 м и емкость поглощения его равна 1000 г- экв/м; объемная скорость потока воды - $15 \text{ м}^3/\text{ч}$. Жесткость воды - 8 мг-экв/л, и обусловлена она катионами кальция.

Решение: Определим количество грамм-эквивалентов Ca^{2+} , поступающее в колонку в течение 1 ч с учетом жесткости воды, равной 8 мг-экв/л (или 8 г-экв/м³)

$$8 \cdot 15 = 120 \text{ (г-экв/ч) ионов кальция.}$$

Определим емкость поглощения катионитового фильтра (1,5 м³), если $E_n = 1000 \text{ г-экв/м}^3$

$$1000 - 1,5 = 1500 \text{ (г-экв).}$$

Время работы колонки (τ) до регенерации с учетом емкости поглощения, скорости потока и жесткости воды будет равно:

$$1500 / 120 = 12,5 \text{ (ч).}$$

Пример 8. Определить потребность катионита (алюмосиликата) в м³ для умягчения 500 т воды, жесткость которой равна 7,5 мг-экв/л. Емкость поглощения катионита - 850 г-экв/м³; плотность воды - 1000 кг/м³.

Решение. Жесткость воды, выраженная в г-экв/м³, составляет:

$$7,5 \cdot 1000 / 1000 = 7,5 \text{ (г-экв/м}^3\text{)}.$$

Число грамм-эквивалентов жесткости в 500 т воды составляет:

$$7,5 \text{ г-экв/м}^3 \cdot 500 \text{ м}^3 = 3750 \text{ г-экв.}$$

Потребность катионита в м³ с учетом емкости поглощения равна:

$$3750 \text{ г-экв} / 850 \text{ г-экв/м}^3 = 4,4 \text{ м}^3$$

Пример 9. Через катионитовый фильтр, рабочий объем которого равен 3,0 м³, пропускают воду, жесткость ее равна 6,5 мг-экв/л. Объемная скорость течения воды - 10 м³/ч. Определить емкость поглощения катионита (E_n) в (г-экв/м³), если фильтр работает без регенерации 2,5 сут.

Решение: В течение 2,5 суток (60 часов) через фильтр проходит воды:

$$10 \cdot 60 = 600 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Найдем число грамм-эквивалентов ионов кальция и магния, содержащихся в 600 м воды. Жесткость 6,5 мг-экв/л соответствует 6,5 г-экв/м³. Отсюда,

$$6,5 \text{ г-экв/м}^3 \cdot 600 \text{ м}^3 = 3900 \text{ г-экв.}$$

Емкость поглощения катионита, объем которого равен 3,0 м³, составляет:

$$E_n = 3900 \text{ г-экв} : 3 \text{ м}^3 = 1300 \text{ г-экв/м}^3.$$

Пример 10. Определить суточную потребность городского водопровода в период паводка: а) в коагулянте, содержащем 85% $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; б) в хлор-газе (в нм³ и в пересчете на 40-литровые баллоны, под давлением 8 атм). Расход коагулянта составляет 120 г/м³ воды,

хлора - 2 мг/л. Производственные потери коагулянта - 3%.
Производительность водопровода - 150 000 м³/сут.

Решение. Суточная потребность в коагулянте:

$$0,120 \cdot 150000 = 18000 \text{ (кг)}.$$

В пересчёте на технический коагулянт, содержащий 85% Al₂(SO₄)₃, учитывая производственные потери (3%):

$$\frac{18000 \cdot 100}{85} \cdot 1,03 = 21812 \text{ (кг)}.$$

Суточная потребность хлор-газа:

$$0,002 \cdot x \cdot 150000 = 300 \text{ (кг)}, \text{ или } \frac{1 \cdot 300}{3,21} = 93,4 \text{ нм}^3,$$

где 3,21 - масса 1 м³ хлор-газа (в кг), при н.у. (см. приложение 1).

При давлении 8 атм хлор-газ сжижается и плотность его равна 1,5 кг/л (см. приложение 1). Отсюда масса хлора в объёме 40-литрового баллона составляет: 40х 1,5=60 (кг).

Потребность городского водопровода в 40-литровых баллонах жидкого хлора (в сутки) будет равна:

$$300:60,0=5.$$

По аналогии с рассмотренными типовыми примерами решаются и предлагаемые ниже задачи.

3.5 Задачи для самостоятельного решения

1. Для удаления карбонатной жесткости, обусловленной бикарбонатом кальция Ca(HCO₃)₂, используют один из следующих реагентов: едкий натр, гашёную известь, тринатрийфосфат. Какое из названных веществ окажется наиболее эффективным, если взять их в одинаковых количествах? Ответ мотивировать уравнениями реакций и соответствующими расчётами.

Ответ. Наиболее эффективным является гидроксид кальция Ca(OH)₂.

2. Почему для регенерации катионита его промывают раствором хлористого натрия, а затем водой? Можно ли регенерировать катионит, промывая его раствором хлористого магния?

3. К 200 мл исследуемой воды было прилито 20 мл 0,01 н. раствора перманганата калия KMnO₄. Определить окисляемость воды в пересчёте на кислород.

Ответ. 2,23 мг/л кислорода.

4. При определении общей жесткости воды (Ж_о) комплексометрическим методом на титрование 200 мл исследуемой

воды пошло 5,5 мл 0,1 н. раствора трилона Б. Вычислить общую жесткость воды (в мг-экв/л).

Ответ. $J_0 = 2,75$ мг-экв/л.

5 Общая жесткость воды равна 11,7 мг-экв/л. Определить постоянную жёсткость воды (J_H), если при определении временной жесткости (J_K) на 100 мл испытуемой воды при титровании пошло 6,5 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты.

Ответ. $J_H = 5,2$ мг-экв/л.

6. Чему равна жесткость природной воды, если содержание ионов магния в ней составляет 121,6 мг/л?

Ответ. 10 мг-экв/л.

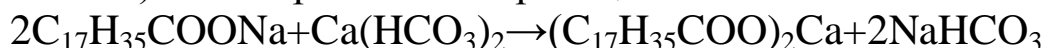
7. Определить жесткость воды (J_0), если в 1 л её содержится 0,1002 г ионов Ca^{2+} и 0,03648 г ионов Mg^{2+} .

Ответ. $J_0 = 8,0$ мг-экв/л.

8. Вода содержит 0,12 г/л растворённого бикарбоната кальция. Сколько нужно прибавить извести $[Ca(OH)_2]$ к 100 мл воды, чтобы осадить бикарбонат в виде карбоната?

Ответ. 5,5 мг

9. В 2 л воды содержится 3 г бикарбоната кальция, 0,29 г бикарбоната магния и 1,4 г сульфата кальция. Сколько натриевого мыла (соли стеариновой кислоты) будет перерасходовано за счет жесткости при использовании 1000 л воды? Образование кальциевого (или магниевого) мыла протекает по реакции:



Ответ. 9,46 кг.

10. В 5,5 т технического коагулянта содержится 4675 кг $Al_2(SO_4)_3$. Определить процентное содержание $Al_2(SO_4)_3$ в глиноземе.

Ответ. 85%.

11. Определить суточную производительность городского водопровода, если потребность хлор-газа составляет 12,5 nm^3 /сут из расчета 0,8 мг/л.

Ответ. 50156 m^3 воды в сутки.

12. Определить суточную потребность городского водопровода в коагулянте (в т) и хлор-газа (в кг и nm^3), если производительность его 35000 m^3 /ч. Расход коагулянта составляет 80 г/ m^3 воды, хлора-1 мг/л. Содержание $Al_2(SO_4)_3$ в техническом коагулянте (глиноземе)- 80%; потери при транспортировке и хранении коагулянта составляют 5%.

Ответ. Суточная потребность водопровода: а) в коагулянте- 8,82 т; б) в хлор-газе- 35 кг, или 10,9 nm^3 .

13. Определить (в м^3) суточную потребность катионита (без регенерации) для умягчения воды. Объемная скорость течения воды- $5\text{м}^3/\text{ч}$, жесткость воды- $8,5\text{ мг-экв/л}$, емкость поглощения катионита (Е)- 1150 г-экв/м^3 .

Ответ. $0,9\text{ м}^3/\text{сут.}$ катионита (без регенерации).

14. Через катионитовый фильтр, рабочий объем которого равен $2,15\text{ м}$, пропускают воду, жесткость которой до фильтрования составляет $7,5\text{ мг-экв/л}$. Объемная скорость течения воды- $6,0\text{ м}^3/\text{ч}$. Определить емкость поглощения катионита (в г-экв/м^3), если фильтр работает без регенерации трое суток.

Ответ. $E = 1510\text{ г-экв/м}^3$.

15. Определить время работы (в часах) буферного катионита (КБ-4), если рабочий объем фильтра вмещает $5,5\text{ т}$ катионита, емкость поглощения которого равна $0,9\text{ г - экв/кг}$. Объемная скорость течения воды - $10\text{ м}^3/\text{ч}$, жесткость воды - 12 мг-экв/л .

Ответ. $41,25\text{ ч}$ (без регенерации).

16. Жесткость природных источников имеет сезонные колебания. Так, в 2 м^3 воды в среднем течении Волги в марте содержится $88\text{ г-ионов Ca}^{2+}$ и $51\text{ г-ионов Mg}^{2+}$, а в мае $17\text{ г-ионов Ca}^{2+}$ и $6,4\text{ г-ионов Mg}^{2+}$. Определите общую жесткость волжской воды в эти месяцы.

17. Анализ 25 мл природной воды показал наличие в ней $42,5\text{ мг Ca}^{2+}$, $6,25\text{ мг Mg}^{2+}$ и 60 мг HCO_3^- . Рассчитайте некарбонатную жесткость воды.

18. Определите постоянную жесткость воды (J_n), если на титрование карбонатов, содержащихся в 250 мл воды израсходовано 14 мл раствора НИ, молярная концентрация которого $0,1\text{ моль/л}$, а общая жесткость (J_o) равна $5,2\text{ ммоль/л}$.

19. На окисление органических соединений, содержащихся в воде, израсходовано 2 мл раствора перманганата калия концентрацией $0,007\text{ ммоль /л}$. Определите окисляемость воды (в пересчете на кислород).

20. На станцию водоочистки производительностью $30000\text{ м}^3/\text{сут}$ поступает вода с повышенной цветностью и мутностью. Определите недельный расход раствора коагулянта и флокулянта (полиакриламида) станцией, если расчетная доза первого 30 мг/л , второго - $0,8\text{ мг/л}$, а производственные потери их составляют 8% . Рабочие концентрации коагулянта 15% , флокулянта $0,3\%$ (по массе)

21. Концентрация коагулянта в расходных баках станции водоочистки равна 10% (считая массу безводного продукта). Определите суточный расход раствора коагулянта, если его доза для

данного типа воды 25 мг/л, производительность станции 30000 м³/сут. (Коагулянт - железный купорос 95 5-ной чистоты).

22. Определите суточную потребность станции водоочистки в коагулянте, содержащем 0,98 массовых долей Fe₃SO₄7 H₂O, если расчетная доза безводного коагулянта (ГОСТ 2874-73 «Питьевая вода») 80мг/л, производительность станции 100 000 м³/сут, а производственные потери коагулянта составляют 4%.

23. Вода, используемая для хозяйственно-бытовых нужд, с содержанием фтора менее 0.5 мг/л должна подвергаться фторированию. Определите массу 2.5% - ного раствора NaF, приготовленного из фторида натрия с массовой долей основного вещества 0.9, необходимого для фторирования 1000м³ природной воды с содержанием фтора 0.4 мг/л до санитарной нормы 0.8 г/м³.

24. Определите время работы колонки с натриевым катионитом до регенерации, если в нее поступает вода с жесткостью 5,0 ммоль/л и скоростью потока 10 м³/ч. Объем катионита 2 м³, его емкость поглощения 1200 моль/м³.

25. Определите емкость поглощения катионита (E_n), если высота его слоя в колонке 1.6 м, диаметр колонки 1.5 м, время работы без регенерации 75 часов. Жесткость воды, поступающей в фильтр, 5 ммоль/л, остаточная жесткость 0.02ммоль/л, объемная скорость потока 8 м³/ч.

26. Сколько потребуется универсального катионита КУ-2, емкость поглощения (E_n) которого 2.2 моль/кг, для обеспечения (без учета регенерации) непрерывной двадцатидневной работы фильтров производительностью 70080 м³ воды в год. Среднюю жесткость исходной воды принять равной 6,1 ммоль/л.

Список использованных источников

1. Чебунина Е.И., Балдаев Н.С. Общая химическая технология.- Улан-Удэ: ВСГТУ, 2005.- 29 с.
2. Основы химической технологии/ Под ред. проф. И.П. Мухленова.- М.: Высшая школа, 1991.- 463 с.
3. Соколов Р.С. Химическая технология. Том 1.- М.: Владос, 2000.- 363 с
4. Соколов Р.С. Химическая технология. Том 2.- М.: Владос, 2000.- 442 с
5. Общая химическая технология. Часть 1/ Под ред. проф. И.П. Мухленова.- М.: Высшая школа, 1977.- 285с.
6. Общая химическая технология. Часть 2/ Под ред. проф. И.П. Мухленова.- М.: Высшая школа, 1977.- 261с.
7. Решетников П.А., Логинов Н.Я. Сборник примеров и задач по основам химической технологии.- М.: Просвещение, 1973.- 207с.

Плотность некоторых веществ

Наименование вещества	Плотность	Наименование вещества	Плотность
1. Твердые тела, кг/м ³			
Алюминий	2700	Огнеупоры	1900-2900
Медь	8960	Бетон	2300
Чугун	7500	Древесный уголь	500-800
Сталь	7850	Апатит	3190
Колчедан	5000	Стекло оконное	2500
Известняк	2650	Стекло органическое	1200
Песок	1500	Полиэтилен	900
Глина(каолин)	2200	Пенопласт	20
Каменный уголь	1350	Пробка	200
Кокс	1250	Платина	21450
2. Жидкости, кг/м ³			
Вода (4 ⁰ С)	1000	Толуол	870
Нефть	800	Ртуть(0 ⁰ С)	13600
Бензин	700	Спирт этиловый	800
Керосин	800	Глицерин	1260
Бензол	880	Эфир	720
3. Газы, кг/м ³ при н.у. Плотность сжиженного газа, кг / л			
Азот	1,25/ 0,81	окись углерода	1,25/0,8
Аммиак	0,77/ 0,66	сернистый газ	2,93/1,46
Воздух	1,29/0,86	сероводород	1,54/0,96
Кислород	1,43/1,14	углекислый газ	1,98/1,19
Водород	0,99/0,07	хлор	3,21/1,47

Приложение 2

Мольный объем некоторых газов

Наименование газа	Объем, м ³ /кмоль	Наименование газа	Объем, м ³ /кмоль
Азот	22,40	Окись азота	22,39
Аммиак	22,09	Кислород	22,39
Аргон	22,40	Метан	22,37
Ацетилен	22,14	Окись углерода	22,40
Воздух	22,40	Сернистый газ	21,89
Водород	22,43	Сероводород	22,16
Водяные пары	22,12	Углекислый газ	22,26
Двуокись азота	22,37	Хлор	22,37