

Министерство образования и науки Российской Федерации
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Т.И. Ахметова

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОПОДГОТОВКИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

**Нижекамск
2015**

УДК 628.1, 628.16

А 95

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Вдовина С.В., кандидат химических наук, доцент;

Валеев Р.Ш., кандидат технических наук,
зам. генерального директора ООО «АСП АКВА».

Ахметова, Т.И.

А 95 Физико-химические основы водоподготовки : методические указания и задания для самостоятельной работы / Т.И. Ахметова. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2015. – 46 с.

В методических указаниях изложены краткие теоретические сведения о водоподготовке и оценке качества воды в промышленных предприятиях. Теоретический материал проиллюстрирован рядом примеров задач. Представлен перечень вопросов для самоконтроля и список литературы.

Предназначены для студентов всех форм обучения по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

Подготовлены на кафедре химии Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

УДК 628.1, 628.16

© Ахметова Т.И., 2015

© Нижнекамский химико-технологический институт
(филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2015

1. Общие указания

Выполнение контрольной работы является необходимым этапом самостоятельной работы студента при изучении курса. Зачтенная преподавателем контрольная работа служит основанием для допуска к сдаче экзамена (зачета).

При оформлении контрольной работы следует придерживаться следующих правил:

- все задачи должны строго соответствовать варианту, и быть решены в последовательности, представленной в методических указаниях (номер варианта следует согласовывать в деканате);
- на обложке тетради должен быть указан номер варианта, а перед описанием задачи – номер задачи;
- условия задач должны быть переписаны в тетрадь полностью;
- решения задач должны содержать краткие объяснения и комментарии к выполненным арифметическим действиям, ссылки на использованные при решении законы и правила;
- следует привести размерности входящих в уравнение величин.

Прежде чем приступить к решению той или иной задачи, следует изучить теоретические основы данного раздела и усвоить тот объем теоретического материала, который необходим для решения задачи, используя при этом рекомендуемые учебные пособия, тексты лекций, а также примеры, представленные в настоящем пособии.

2. Вопросы к зачету (экзамену)

1. Источники поступления примесей в воду. Как оценивают качество воды? В чем качественное отличие поверхностных и подземных вод? Роль качественной водоподготовки и рационального водно-химического режима при эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

2. Назовите важнейшие качественные и технологические показатели качества воды для использования в теплоэнергетике.

3. Какие методы используются для определения грубодисперсных веществ в воде? Сущность методов.

4. О наличии каких примесей позволяет судить содержание воды? Что происходит при прокаливании сухого остатка при 800 °С?

5. Закон электронейтральности. Как оценивают приемлемость результатов определения концентрации отдельных ионов в воде?

6. Какие виды жесткости воды вам известны? Единицы измерения жесткости. Каковы причины строгого нормирования содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в водах теплоэнергетических установок?

7. Что характеризует рН воды? Охарактеризуйте среду в зависимости от рН. Сущность метода измерения рН.

8. Щелочность воды. Единица измерения щелочности.

9. Почему окисляемость является условным показателем? Какие окислители применяются для определения окисляемости воды? Единица измерения окисляемости.

10. В чем заключается классификация основ обработки воды? На какие стадии подразделяется обработка воды?

11. Задачи предочистки воды. Известкование и содоизвесткование. Пробное умягчение воды методом содоизвесткования.

12. Какие коагулянты применяются в процессах осаждения? В чем сущность коагуляции?

13. В чем сущность флокуляции? Назовите наиболее широко применяемые флокулянты.

14. В чем заключается механизм задержания частиц в зернистых слоях фильтров? Объясните, в чем отличие адгезионного и пленочного фильтрования.

15. Основные требования к фильтрующим материалам. Назовите наиболее широко используемые фильтрующие материалы.

16. Какие методы применяются для обессоливания воды? Сущность методов. Методы определения солесодержания.
17. Сущность ионного обмена. В чем заключается эквивалентность обмена ионов? Понятие обратимости процесса обмена ионов.
18. Что такое динамическая обменная емкость ионитов? Расчет удельной динамической емкости ионитов.
19. Na-катионирование. Способ регенерации.
20. H-катионирование. Способ регенерации.
21. OH-анионирование. Способ регенерации.
22. Термический метод обессоливания воды. Условия образования твердой фазы из солевых растворов.
23. Загрязнения пара и способы их удаления. Факторы, влияющие на загрязнение пара. Коэффициент уноса как характеристика относительного загрязнения пара. Коэффициент уноса как суммарная величина коэффициентов капельного и избирательного уноса.
24. Мембранные методы очистки. Обратный осмос. Электродиализ.

3. Литература

3.1. Основная литература

Основные источники информации	Рекомендуемый сайт для скачивания литературы
3.1.1. Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. - М.:Изд.: МЭИ. 2006. 310 с.	ПРО-инженер [Электронный ресурс]: учебная и техническая литература для студентов и проектировщиков / Про-
3.1.2. Гужулев Э.П., Шалай В.В., Гриценко В.И., Таран М.А. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: Учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 384 с.	Инженер. Технические книги и справочники.-Электрон.дан. – 2012 – Режим доступа: WWW.proingener.ru , свободный

3.2. Дополнительная литература

Дополнительные источники информации	Рекомендуемый сайт для скачивания литературы
3.2.1. Фрог Б.Н., Левченко А.П. Водоподготовка. Учебн. пособие для вузов. М.: Изд.: МГУ. 1996.-680 с.	ПРО-инженер [Электронный ресурс]: учебная и техническая ли-
3.2.2. Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Коровина О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: Справочник. М.: ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ. 1990. 252 с.	тература для студентов и проектировщиков / Про-Инженер. Технические книги и справочники.-Электрон.
3.2.3. Водоподготовка: Процессы и аппараты. // Под ред. О.И.Мартыновой. М.: Энергоатомиздат. 1990. 272 с.	дан. – 2012 – Режим доступа: WWW.proingener.ru ,
3.2.4. Белан Ф.И. Водоподготовка: расчеты, примеры, задачи. – М.: Энергия. 1978. 256 с.	свободный

4. Предварительные замечания

Для решения практических задач по водоподготовке необходимо знать способы выражения концентраций, регламентируемые международной системой (*Systeme International - SI, в русской транскрипции СИ*). Ниже рассматриваются наиболее часто встречающиеся их наименования, обозначения, а также множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц, применяемых в практике аналитического контроля исходной и очищенной воды, а также водного конденсата.

4.1. Единицы количества вещества

Моль (n). За единицу количества вещества принят один моль. Это такое количество вещества, которое содержит столько условных частиц, сколько атомов содержится в 0,012 кг углерода-12, т.е. $6,02045 \cdot 10^{23}$ (постоянная Авогадро N_A).

Условной частицей может быть ион, молекула, электрон, группы частиц. Одни условные частицы существуют реально (молекула), другие чисто условно. Единица **моль** условных частиц удобна и обычно используется для выражения количества микрообъектов. Запись $n(1/5\text{KMnO}_4) = 0,05$ моль означает $6,02045 \cdot 10^{23} \cdot 0,05$ условных частиц $1/5 \text{KMnO}_4$.

Молярная масса (M) – это масса 1 моль вещества. Если имеется вещество массой m , то $M=m/n$, где n - количество вещества. Размерность молярной массы г/моль.

Численно молярная масса равна относительной молекулярной массе т.е. суммарной массе всех атомов в частице. Относительная молекулярная масса — безразмерная величина.

Пример

Какое количество вещества содержится в оксиде серы (VI) массой 12 г?

Решение

Молярная масса оксида серы SO_3 составляет, г/моль:

$$M_{\text{SO}_3} = M_s + 3 \cdot M_o = 32 + 3 \cdot 16 = 80$$

Определяем количество вещества SO_3 , моль:

$$n_{\text{SO}_3} = \frac{m_{\text{SO}_3}}{M_{\text{SO}_3}} = \frac{12}{80} = 0,15.$$

Молярный объем (V_0) – это объем одного моль вещества при нормальных условиях. Обычно эту величину используют для газов, в этом случае $V_0 = 22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

4.2. Способы выражения концентрации

Молярная концентрация, c_B , моль/ дм^3 , ммоль/ см^3 – это отношение числа молей растворенного вещества к объему его раствора.

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B}{M_B V},$$

где n_B – количество растворенного вещества, моль;

V – объем раствора, дм^3 ;

m_B – масса растворенного вещества, г;

M_B – молярная масса вещества, г/моль.

Этот термин распространяется на любой вид условных частиц (атомы, ионы, молекулы, части молекул и т. д.). В аналитической практике молярную концентрацию выражают в моль/ дм^3 . Например, $c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$; $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль/дм}^3$.

Массовая концентрация – это отношение массы растворенного вещества « m » к объему раствора « V », единицы измерения: кг/дм^3 ; а также кратные и дольные единицы. Массовую концентрацию, выраженную в г/см^3 называют **титром (T_B)**. Эта единица дала название классическому методу анализа – титриметрия.

Объемная концентрация – отношение объема растворенного вещества к объему раствора.

Доля компонента от общего количества вещества означает отношение числа частей компонента к общему числу частей объекта. В зависимости от выбранной единицы различают массовую (ω), молярную (α), объемные доли (φ).

$$\omega = \frac{m_i}{\sum m}, \quad \alpha = \frac{n_i}{\sum n}, \quad \varphi = \frac{V_i}{\sum V}.$$

Долю выражают:

- в процентах (доля, умноженная на 100);
- миллионных долях (ppm, доля, умноженная на 10^6);
- миллиардных долях (ppb, доля, умноженная на 10^9);

Моляльность – количество вещества в единице массы (1 кг) растворителя. Преимущество моляльности – в независимости от

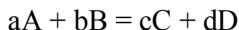
температуры.

Молярная концентрация эквивалента $c\left(\frac{1}{z}B\right)$ (устаревшее название “нормальность”) – это отношение количества вещества **эквивалента** в растворе к объему этого раствора. Единица измерения – моль/дм³.

$$n\left(\frac{1}{z}B\right) = \frac{m_B}{M\left(\frac{1}{z}B\right) \cdot V},$$

где V – объём раствора, дм³; m_B – масса растворенного вещества, г; $M\left(\frac{1}{z}B\right)$ – молярная масса эквивалента, г/моль.

Эквивалент. Между условными частицами в соединениях существуют определенные соотношения, называемые стехиометрическими. Например, в молекуле H_2CO_3 два протона связаны с одной частицей CO_3^{2-} . Между реагирующими частицами также устанавливаются стехиометрические отношения, например, в реакции



«а» условных частиц вещества «А» реагируют с «b» условными частицами вещества «В». Следовательно, одна частица «А» эквивалентна «b/a» частицам вещества «В». Отношение «b/a» называют **фактором эквивалентности** вещества «В» и обозначают « $f_{\text{эkv}}(B)$ »

Для расчета фактора эквивалентности и эквивалента необходима фиксированная основа, так как одного стехиометрического уравнения реакции для проведения расчета не всегда бывает достаточно. Такой основой в реакциях кислотно-основного взаимодействия является **ион водорода**, а в окислительно-восстановительных реакциях – **электрон**. Это и позволяет сделать определение фактора эквивалентности и эквивалента.

Фактор эквивалентности ($f_{\text{эkv}}$) – число, обозначающее, какая доля реальной частицы веществ (В) эквивалентна одному иону водорода (z) в кислотно-основных реакциях или одному электрону (z) в окислительно-восстановительной реакции.

$$f_{\text{эkv}}(B) = \frac{1}{z_B}$$

где z_B – число ионов водорода (кисотно-основные реакции) или число электронов (окислительно-восстановительные реакции);
 B - химическая формула вещества.

Эквивалентом называют реальную или условную частицу вещества B , которая в данной кислотно-основной реакции эквивалентна одному иону водорода или в данной реакции окисления восстановления – одному электрону.

Молярной массой эквивалента вещества (M_B , г/моль) называют массу одного моль эквивалента этого вещества, равную произведению фактора эквивалентности на молярную массу вещества B .

$$M(1/2H_2SO_4) = 1/2 \cdot 98 = 49 \text{ г/моль.}$$

Под молярной массой эквивалента понимают некоторую реальную частицу, которая может присоединять, высвободить или быть эквивалентной одному иону водорода или одному электрону. Она зависит от типа реакции, т.е. не является величиной постоянной.

На основе закона эквивалентов можно вывести следующие формулы для вычисления эквивалентных масс сложных веществ:

для оксида	$M\left(\frac{1}{z}B\right) = \frac{M_{\text{оксида}}}{\text{число атомов элемента} \cdot \text{валентность элемента}}$
кислоты	$M\left(\frac{1}{z}B\right) = \frac{M_{\text{кислоты}}}{\text{число атомов водорода}}$
для основания	$M\left(\frac{1}{z}B\right) = \frac{M_{\text{основания}}}{\text{число гидроксид-ионов}}$
соли	$M\left(\frac{1}{z}B\right) = \frac{M_{\text{соли}}}{\text{число ионов металла} \cdot \text{валентность металла}}$

Пример

Определить молярную массу эквивалента хлора, серы, азота и углерода в соединениях HCl , H_2S , NH_3 , CH_4 .

Решение

В данных соединениях с 1 моль атомов водорода соединяется с 1 моль хлора, 1/2 моль серы, 1/3 моль азота, 1/4 моль углерода. Следовательно, молярные массы эквивалентов хлора, серы, азота, углерода равны:

$$M\left(\frac{1}{1}HCl\right) = 1 \cdot 35,45 = 35,45 \text{ г/моль;}$$

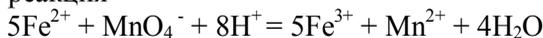
$$M\left(\frac{1}{2} S\right) = \frac{1}{2} \cdot 32 = 16 \text{ г/моль}$$

$$M\left(\frac{1}{3} N\right) = \frac{1}{3} \cdot 14 = 4,67 \text{ г/моль};$$

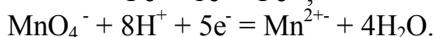
$$M\left(\frac{1}{4} C\right) = \frac{1}{4} \cdot 12 = 3 \text{ г/моль}.$$

В окислительно-восстановительных реакциях молярные массы эквивалентов восстановителя и окислителя должны быть отнесены к числу электронов, участвующих в переносе заряда.

Например, реакция



состоит из полуреакций:



Молярная масса эквивалента:

1) железа $M\left(\frac{1}{1} \text{Fe}\right) = 55,85 \text{ г/моль};$

2) перманганата калия..... $M\left(\frac{1}{5} \text{KMnO}_4\right) = \frac{1}{5} \cdot 158,04 = 31,61 \text{ г/моль}.$

Таблица 1

*Множители и приставки
для образования десятичных кратных и дольных единиц*

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
гига-	Г	10^9	деци-	д	10^{-1}
мега-	М	10^6	санти-	с	10^{-2}
кило-	к	10^3	милли-	м	10^{-3}
гекто-	г	10^2	микро-	мк	10^{-6}
дека-	да	10	нано-	н	10^{-9}

5. Краткие теоретические сведения и контрольные задания

5.1. Характеристики вод и их примесей

Природная вода, разделяемая условно на атмосферную (дождь, туман, снег), поверхностную (реки, озера, пруды, болота), подземную (артезианские скважины, шахтные колодцы) и морскую (моря, океаны), всегда содержит различные примеси. Характер и количество имеющихся в воде примесей определяет качество воды, т.е. характеризует возможность использования ее для различных целей в промышленности и в быту.

По предложенной О.А. Алехиным системе воды различаются по преобладающему в них **аниону и катиону**. По аниону:

- гидрокарбонатный класс вод с преобладающим анионом HCO_3^- или суммой анионов HCO_3^- и CO_3^{2-} (С);

- сульфатные воды (SO_4^{2-});

- хлоридные воды (Cl^-).

По преобладающему **катиону** классы вод делятся на три группы:

- кальциевую (Ca^{2+});

- магниевую (Mg^{2+});

- натриевую (Na^+).

Реки средней полосы европейской части России в основном относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы (Ca^{2+}).

Примеси природных вод по степени дисперсности (крупности) подразделяют:

- на истинно-растворимые (ионно- или молекулярно-дисперсные), распространенные в воде в виде отдельных ионов, молекул;

- коллоидно-дисперсные с размером частиц от 1 до 100 нм;

- грубодисперсные с размером частиц более 100 нм (0,1 мкм).

По химическому составу примеси природных вод можно разделить на два типа: минеральные и органические.

К минеральным примесям воды относятся растворенные в ней содержащиеся в атмосфере газы N_2 , O_2 , CO_2 , а также газы, вносимые сточными водами, различные соли, кислоты, основания, в значитель-

ной степени находящиеся в диссоциированной форме, т.е. в виде образующих их катионов и анионов.

К органическим примесям природных вод относят гумусовые вещества, вымываемые из почв и торфяников, а также органические вещества различных типов, поступающие в воду совместно с сельскохозяйственными стоками и другими типами недостаточно очищаемых стоков.

5.2. Технологические, качественные показатели воды

В зависимости от характера использования воды различными потребителями определяются и показатели, необходимые для качественной и количественной характеристики воды.

Важнейшими показателями качества воды для использования ее в теплоэнергетике являются:

- концентрация грубодисперсных веществ (ГДП);
- концентрация истинно-растворимых примесей (ионный состав);
- концентрация коррозионно-активных газов;
- концентрация ионов водорода;
- *технологические показатели*, в которые входят сухой и прокаленный остаток, окисляемость, жесткость, щелочность, кремнеосаждение, удельная электропроводность и т.д.

5.3. Методы очистки природной воды

Для удовлетворения разнообразных требований к качеству воды, потребляемой при выработке электрической и тепловой энергии, возникает необходимость специальной физико-химической обработки природной воды. Эта вода является, по существу, исходным сырьем, которое после надлежащей обработки (очистки) используется для следующих целей:

- а) в качестве исходного вещества для получения пара в котлах, парогенераторах, ядерных реакторах кипящего типа, испарителях, паропреобразователях;
- б) для конденсации отработавшего в паротурбинах пара;
- в) для охлаждения различных аппаратов и агрегатов ТЭС и АЭС;
- г) в качестве теплоносителя в тепловых сетях и системах горячего водоснабжения.

Многообразие примесей в природной воде служит причиной того, что очистка добавочной воды для подпитки котлов организуется в несколько стадий на ВПУ.



На начальном этапе из воды выделяются грубодисперсные и коллоидные вещества, а также снижается гидрокарбонатная щелочность этой воды. На дальнейших этапах производится очистка воды от истинно-растворимых примесей.

Предочистка необходима для улучшения технико-экономических показателей последующих этапов очистки воды, а также потому, что при отсутствии предочистки применение многих методов на последующих ступенях очистки встречает значительные затруднения. Так, наличие в воде органических веществ приводит к изменению технологических свойств анионитов, способствует их старению, а, следовательно, резкому (в 4–8 раз) снижению срока службы. Присутствие в воде ионов железа в концентрации свыше 50 мкг/дм³ вызывает отравление мембран при очистке воды электролизом. Неудовлетворительная очистка воды от грубодисперсных и коллоидных примесей является одной из причин образования накипей на поверхностях нагрева и ухудшения качества пара. Поэтому в настоящее время предочистке воды в схемах подготовки добавочной и подпиточной воды придается важное значение. Предочистка воды может быть осуществлена в основном методами осаждения, при применении которых примеси выделяются из воды в виде осадка.

Эти методы называются также реагентными, так как для выделения примесей в воду дозируются специальные реагенты.

К процессам осаждения, применяемым в настоящее время при предочистке воды, относятся *коагуляция, известкование и магниезольное обескремнивание*. Как правило, эти процессы совмещаются и проводятся одновременно в одном аппарате – осветлителе, что целесообразно как для улучшения суммарного технологического эффекта про-

цесса очистки воды, так и для снижения капитальных и эксплуатационных затрат.

Первичное осветление воды производится в осветлителях, а окончательно очистка от осадка осуществляется при помощи процесса фильтрования, который также относится к предочистке воды, но является безреагентным методом.

На второй стадии вода подвергается **обессоливанию химическими, термическими, мембранными** методами. В настоящее время разработаны и используются способы частичного или полного обессоливания. Их можно классифицировать следующим образом:

- способы, основанные на изменении фазового состава воды (дистилляция);
- мембранные (электродиализ, обратный осмос);
- хемосорбционные способы (ионитное обессоливание).

На электростанциях наибольшее применение нашли ионитное обессоливание и дистилляция.

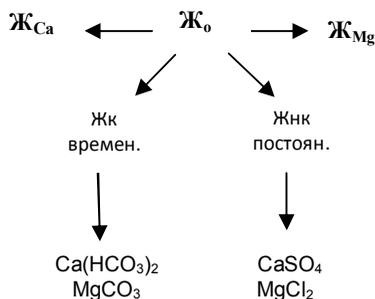
5.4. Жесткость воды

Жесткость воды является одним из важнейших показателей, определяющих пути использования воды в теплоэнергетике, она обусловлена присутствием в воде солей *кальция и магния*: гидрокарбонатов, хлоридов и сульфатов.

Общей жесткостью воды J_0 называется суммарная концентрация ионов кальция и магния выражаемая в °Ж. По определяющему катиону общая жесткость воды подразделяется на кальциевую J_{Ca} и магниевую J_{Mg} . Часть общей жесткости, эквивалентная концентрации гидрокарбонат-ионов и карбонат-ионов в воде, называется карбонатной жесткостью J_K , а остальная часть, эквивалентная содержащимся в воде другим анионам (Cl^- , SO_4^{2-} и др), – некарбонатной жесткостью $J_{НК}$. Карбонатную жесткость называют также временной жесткостью. Это объясняется тем, что при кипячении воды гидрокарбонаты переходят в малорастворимые карбонаты.



Таким образом, временная (карбонатная) жесткость устраняется. Сумма временной и постоянной жесткости составляет общую жесткость.



По отношению между общей жесткостью воды $Ж_0$ и концентрацией в ней ионов HCO_3^- природные воды можно разделить на две группы:

- первая группа, когда $Ж_0 \geq c(HCO_3^-)$;
- вторая группа, когда $Ж_0 < c(HCO_3^-)$.

В водах первой группы различают жесткость общую ($Ж_0$), карбонатную ($Ж_k = c(HCO_3^-)$), некарбонатную ($Ж_{нк}$), жесткость кальциевую ($Ж_{Ca}$) и магниевую ($Ж_{Mg}$). Между ними существует следующая зависимость:

$$Ж_0 = Ж_k + Ж_{нк} = Ж_{Ca} + Ж_{Mg}$$

Для вод второй группы, которые называются щелочными, понятие карбонатной и некарбонатной жесткости теряет смысл, поскольку $c(HCO_3^-) > Ж_0$.

Для этих вод следует различать жесткость общую, кальциевую и магниевую.

Единица жесткости

В соответствии с ГОСТ 4151-72 общая жесткость воды измерялась в мг-экв/л. С введением с 01.01.89 года *изменения №1* единицей измерения жесткости являлся моль/м³.

С 01.01.2005 введен ГОСТ Р 52029-2003 «Вода. Единица жесткости». По новому ГОСТ жесткость выражается в *градусах жесткости (°Ж)*, что соответствует концентрации щелочноземельного элемента, численно равной 1/2 его моля, выраженной в мг/дм³ (г/м³). В таблице 2 приводятся соотношения национальных единиц жесткости воды, принятых в других странах.

Жесткость природных вод колеблется в широких пределах. По величине жесткости различают следующие типы жесткости, °Ж:

- очень мягкая вода.....до 1,5;
- мягкая вода..... от 1,5 до 4;
- вода средней жесткости.....от 4 до 8;
- жесткая вода.....от 8 до 12;
- очень жесткая вода.....более 12;

На практике часто приходится определять жесткость смеси двух и нескольких потоков воды. Например, в конденсаторы паровых турбин через неплотности проникает жесткая охлаждающая вода, вследствие чего жесткость конденсата увеличивается. В этом случае бывает необходимо установить долю проникающей в конденсатор воды. Решение подобного рода задач основывается на следующих равенствах:

$$J_{см} = J_o^I a + J_o^{II} b; \quad a + b = 1,$$

где $J_{см}$ – жесткость смеси;

J_o^I, J_o^{II} – жесткость первого и второго потоков соответственно;

a, b – значение доли единицы первого и второго потоков соответственно.

Таблица 2

Соотношения национальных единиц жесткости воды

Страна	Обозначение единицы жесткости	Россия	Германия	Великобритания	Франция	США
Россия	°Ж	1	2,80	3,51	5,00	50,04
Германия	°DH	0,357	1	1,25	1,78	17,84
Великобритания	°Clark	0,285	0,80	1	1,43	14,3
Франция	°F	0,20	0,56	0,70	1	10
США	ppm	0,02	0,056	0,070	0,10	1
Примечания:			°F = 10 мг CaCO ₃ в 1 дм ³ воды;			
°Ж = 20,04 мг Ca ²⁺ или 12,15 мг Mg ²⁺ в 1 дм ³ воды;			ppm = 1 мг CaCO ₃ в 1 дм ³ воды;			
°DH = 10 мг CaO в 1 дм ³ воды;			°Clark = 10 мг CaCO ₃ в 0,7 дм ³ воды			

Контрольное задание №1

Задачи №№ 1-15 (соответственно для вариантов 1-15)

Задача № 1

Жесткость исходной воды составляет 4 °Ж, а массовая концентрация кальция 60 мг/дм³. Определить массовую концентрацию магния в воде в мг/дм³.

Задача № 2

Жесткость исходной воды составляет 3 °Ж, а массовая концентрация кальция 40 мг/дм³. Определить массовую концентрацию магния в воде в мг/дм³.

Задача №3

Жесткость питательной воды составляет 0,010 °Ж. Какой массовой концентрации СаО в мг/дм³ соответствует такая жесткость?

Задача №4

Жесткость питательной воды составляет 0,020 °Ж. Какой массовой концентрации MgO в мг/дм³ соответствует такая жесткость?

Задача №5

Какова жесткость насыщенного раствора СаСО₃ в дистиллированной воде при температуре 298 К?

Задача № 6

Можно ли получить жесткость воды, равную 3,5 °Ж, путем растворения СаСО₃ в дистиллированной воде с температурой 25 °С?

Задача № 7

Жесткость конденсата турбины возросла с 0,003 до 0,010 °Ж. Определить долю присоса охлаждающей воды в процентах, жесткость которой равна 5 °Ж.

Задача № 8

При кипячении исходной воды ее жесткость снижается за счет разложения гидрокарбоната кальция по уравнению реакции:



Определить количество выпадающего в осадок CaCO_3 из 10 дм^3 воды, если жесткость ее при кипячении снизилась на $2,3 \text{ }^\circ\text{Ж}$.

Задача № 9

Жесткость конденсата турбины возросла с $0,004$ до $0,015 \text{ }^\circ\text{Ж}$. Определить долю присоса охлаждающей воды в процентах, жесткость которой равна $3 \text{ }^\circ\text{Ж}$.

Задача № 10

В результате анализа воды получены следующие показатели: $\text{Ж}_0 = 4,45 \text{ }^\circ\text{Ж}$; $\text{Ж}_{\text{Ca}} = 0 \text{ }^\circ\text{Ж}$; $\text{Ж}_{\text{Mg}} = 4,45 \text{ }^\circ\text{Ж}$; $\text{C}_{\text{MgO}} = 70 \text{ мг/дм}^3$. Можно ли верить этим результатам? Дать мотивированное объяснение.

Задача 11

Массовые концентрации Ca^{2+} и Mg^{2+} составляют $2,0$ и $1,2 \text{ мг/дм}^3$, соответственно. Чему равна жесткость воды?

Задача 12

Общая жесткость конденсата, возвращаемого с производства, составляет $0,045 \text{ }^\circ\text{Ж}$. Каковы массовые концентрации Ca^{2+} и Mg^{2+} в мг/дм^3 , если мольное соотношение $[\text{Ca}^{2+}] : [\text{Mg}^{2+}] = 2:1$?

Задача 13

Определить массу выпадающего в осадок CaCO_3 из 1 м^3 воды, если жесткость ее при кипячении снизилась на $0,005 \text{ }^\circ\text{Ж}$.

Задача 14

В 1 дм^3 дистиллированной воды растворено $2,2 \text{ мг MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Рассчитайте жесткость раствора.

Задача 15

В 1 дм^3 дистиллированной воды растворено $4 \text{ мг CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Рассчитайте жесткость раствора.

5.5. Показатели качества воды

Пример выполнения контрольного задания

В лаборатории определены массовые концентрации катионов и анионов в природной воде (Т) в мг/дм³.

Массовые концентрации катионов и анионов (Т), мг/дм ³							
Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
23,0	8,0	12,0	0,12	39,0	1,26	28,4	7,3

Оцените достоверность результатов анализа и охарактеризуйте качество воды по показателям:

- щелочность, в ммоль/дм³;
- общая жесткость, °Ж;
- карбонатная жесткость, °Ж;
- некарбонатная жесткость, °Ж;
- солесодержание воды, мг/дм³

Решение

1. Достоверность результатов проведения анализа должна подтверждаться выполнением закона электронейтральности (сумма молярных концентраций эквивалентов катионов равна сумме молярных концентраций эквивалентов анионов):

$$\sum_{K_{T=1}}^n C_{\text{ЭКВ}}^{\text{КАТ}} = \sum_{A_{H=1}}^n C_{\text{ЭКВ}}^{\text{АН}}$$

Возможная ошибка (X) при этом не должна превышать 1 %.

$$X = \frac{\sum_{K_{T=1}}^n C_{\text{ЭКВ}}^{\text{КАТ}} - \sum_{A_{H=1}}^n C_{\text{ЭКВ}}^{\text{АН}}}{\sum_{K_{T=1}}^n C_{\text{ЭКВ}}^{\text{КАТ}} + \sum_{A_{H=1}}^n C_{\text{ЭКВ}}^{\text{АН}}} \cdot 100.$$

Если ошибка превышает 1 %, то следует проверить качество анализа отдельных ионов или повторить весь анализ. Для оценки ошибки анализа концентрации катионов и анионов, представленные в мг/дм³, (Т), пересчитывают в ммоль эквивалентах в дм³ воды ($c(\frac{1}{z}B)$, ммоль / дм³).

$$c(\text{Na}^+) = \frac{T}{M_{\text{Na}}} = \frac{23,0}{23,0} = 1,00$$

$$c(K^+) = \frac{T}{M_K} = \frac{8,0}{39,1} = 0,20$$

$$c\left(\frac{1}{2}Ca^{2+}\right) = \frac{T}{M_{1/2Ca}} = \frac{12,0}{20,0} = 0,60$$

$$c\left(\frac{1}{2}Mg^{2+}\right) = \frac{T}{M_{1/2Mg}} = \frac{0,12}{12,0} = 0,01$$

$$c(Cl^-) = \frac{T}{M_{Cl^-}} = \frac{39,0}{35,5} = 1,10$$

$$c(NO_3^-) = \frac{T}{M_{NO_3^-}} = \frac{1,26}{62} = 0,02$$

$$c\left(\frac{1}{2}SO_4^{2-}\right) = \frac{T}{M_{1/2SO_4^{2-}}} = \frac{28,4}{49} = 0,58$$

$$c(HCO_3^-) = \frac{T}{M_{HCO_3^-}} = \frac{7,3}{61} = 0,12$$

Суммарная концентрация катионов составляет 1,81 ммоль/дм³.

Суммарная концентрация анионов составляет 1,82 ммоль/дм³.

Отклонение от электронейтральности (X) составляет, %

$$X = \frac{0,01}{3,63} \cdot 100 = 0,28, \text{ что } < 1,0.$$

Ответ

Результаты анализов достоверны.

2. **Общей щелочностью воды** ΣO (ммоль/дм³) называется суммарная концентрация всех анионов слабых кислот и ионов гидроксида за вычетом концентрации ионов водорода:

$$\Sigma O = \sum C_{\text{Ан}}^{\text{СЛ.К}} + C_{\text{ОН}^-} - C_{\text{Н}^+}$$

Обычно в природных водах гидрокарбонатная щелочь существенно преобладает над другими видами щелочности, поэтому ее значение без большой погрешности выражает общую щелочность воды. Отсюда, за общую щелочность принимаем концентрацию гидрокарбонат-ионов в ммоль/дм³:

$$\text{Щ}_0 = 0,12.$$

3) Общая жесткость воды, °Ж:

$$\text{Ж}_0 = 0,60 + 0,01 = 0,61.$$

4) Карбонатная жесткость равна концентрации гидрокарбонат-ионов, °Ж:

$$\text{Ж}_к = 0,12.$$

5) Некарбонатная жесткость, °Ж:

$$\text{Ж}_{нк} = \text{Ж}_0 - \text{Ж}_к = 0,61 - 0,12 = 0,49.$$

6) Массовая концентрация солей (солесодержание) равна суммарной *массовой* концентрации катионов и анионов.

Контрольное задание №2

Определены массовые концентрации катионов и анионов в природной воде (Т) в мг/дм³ (таблица 3). Оцените достоверность результатов анализа и охарактеризуйте качество воды по показателям:

- щелочность, в ммоль/дм³;
- общая жесткость, °Ж;
- карбонатная жесткость, °Ж;
- некарбонатная жесткость, °Ж;
- солесодержание воды, мг/дм³.

Таблица 3

Массовые концентрации катионов и анионов по результатам лабораторного анализа

Вариант №	Массовые концентрации катионов и анионов, Т, мг/дм ³							
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
1; 11	23,0	8,0	12,0	0,12	39,0	1,26	28,4	7,3
2; 12	12,0	3,9	6,0	0,06	20,0	0,62	14,0	3,6
3; 13	16,1	5,5	8,4	0,09	27,3	0,88	20,0	5,1
4; 14	18,4	6,4	9,6	0,09	31,2	1,00	22,7	5,8
5; 15	20,7	7,2	10,8	0,11	35,1	1,13	25,6	6,6
6; 16	25,3	8,8	13,2	0,13	42,9	1,39	31,2	8,0
7; 17	27,6	9,6	14,4	0,14	46,8	1,51	34,0	8,8
8; 18	29,9	10,4	15,6	0,16	50,7	1,64	36,9	9,5
9; 19	32,2	11,2	16,8	0,17	54,6	1,76	39,8	10,2
10; 20	34,5	12,0	18,0	0,18	58,5	1,89	42,6	10,9

5.6. Расчет активности ионов в водных растворах и его применение при прогнозировании эффективности обработки воды

Под *активной концентрацией* того или иного иона понимают действующую (эффективную концентрацию (a_i , моль/дм³), которая пропорциональна концентрации вещества (иона) c_i в растворе:

$$a_i = \gamma_i \cdot c_i$$

Коэффициент активности γ_i зависит не только от c_i , но и от концентрации других ионов, присутствующих в растворе.

Суммарное влияние на γ_i всех ионов характеризуется **ионной силой** раствора « I », определяемой по формуле:

$$I = 0,5 \sum c_i z_i^2$$

где c – молярная концентрация иона, моль/дм³;
 z – формальный заряд ионов.

Зная ионную силу раствора, можно найти коэффициент активности по формуле:

$$\lg \gamma_i = - \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}},$$

где « A », в зависимости от температуры, имеет следующие значения:

T, К...	273	288	298	303	313	323
A.....	0,488	0,500	0,509	0,514	0,524	0,535

Зная ионную силу, вычисляют или находят по таблице **коэффициент активности**, который характеризует неидеальность реального раствора. С уменьшением концентрации растворенного вещества его коэффициент активности приближается к единице, так как уменьшаются процессы гидратации, сольватации, комплексообразования, ионной ассоциации. Коэффициент активности – это отношение активности частицы к ее аналитической концентрации.

Для разбавленных водных растворов, для которых $I \leq 0,01$, можно пользоваться более простым выражением:

$$\lg \gamma_i = -0,5z_i^2 \sqrt{I}$$

Коэффициенты активности ионов следует учитывать при вычислениях произведения растворимости (ПР), определении рН растворов и др.

Для абсолютного большинства природных вод « I » можно определить по эмпирической формуле:

$$I = \frac{S}{40} \cdot 10^{-2},$$

где S – солесодержание воды, мг/кг.

Пример

Оборотная система охлаждения конденсаторов турбин электростанции должна подпитываться водой следующего состава, ммоль/дм³:

Молярные концентрации ионов, ммоль/дм ³					
$c(1/2Ca^{2+})$	$c(1/2 SO_4^{2-})$	$c(1/2Mg^{2+})$	$c(Cl^-)$	$c(Na^+)$	$c(HCO_3^-)$
10	8	2,5	2,5	3	5
$z(Ca)=2$	$z(SO_4)=2$	$z(Mg)=2$	$z(Cl)=1$	$z(Na)=1$	$z(HCO_3)=1$

Система будет работать с коэффициентом упаривания 1,7. Температура воды 298 К. Для предотвращения накипеобразования добавляемую воду предполагается обрабатывать H_2SO_4 , понижая щелочность с 5 до 2 ммоль/дм³.

Определить, будет ли при этом выпадать в системе гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$).

Решение

Выпадение осадка происходит, если произведение концентраций катиона и аниона превышает значения произведения растворимости (ПР):

$$ПР_{CaSO_4} < c(Ca^{2+}) \cdot c(SO_4^{2-}).$$

Произведение растворимости CaSO_4 при 298 К равно:

$$PP_{\text{CaSO}_4} = 3,7 \cdot 10^{-5}.$$

Для воды указанного состава:

а) молярная концентрация ионов Ca^{2+} в оборотной воде равна половине молярной концентрации эквивалента, моль/дм³:

$$c_1(\text{Ca}^{2+}) = \frac{1}{2} \cdot c(1/2\text{Ca}^{2+}) \cdot 10^{-3} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3},$$

где $1/2$ - фактор эквивалентности (число, обозначающее, какая доля реальной частицы вещества эквивалентна одному иону водорода).

С учетом коэффициента упаривания, молярная концентрация кальция ($c_2(\text{Ca}^{2+})$, моль/дм³) равна:

$$c_2(\text{Ca}^{2+}) = c_1(\text{Ca}^{2+}) \cdot K_{\text{упар}} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,7 = 8,5 \cdot 10^{-3};$$

Молярная концентрация сульфат-ионов $c_1(\text{SO}_4^{2-})$ в оборотной воде равна половине молярной концентрации эквивалента, моль/дм³:

$$c_1(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{1}{2} \cdot [8 + (5 - 2)] \cdot 10^{-3} = 5,5 \cdot 10^{-3},$$

где (5-2) количество кислоты, которое будет израсходовано на снижение щелочности по условию задачи, ммоль/дм³.

С учетом коэффициента упаривания, $c_2(\text{SO}_4^{2-})$, моль/дм³:

$$c_2(\text{SO}_4^{2-}) = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,7 = 9,35 \cdot 10^{-3}.$$

Тогда произведение концентраций сульфат-ионов и ионов кальция составит:

$$c_2(\text{SO}_4^{2-}) \cdot c_2(\text{Ca}^{2+}) = 9,35 \cdot 10^{-3} \cdot 8,5 \cdot 10^{-3} = 7,948 \cdot 10^{-5}.$$

Полученную величину сравниваем со значением произведения растворимости CaSO_4 ($3,7 \cdot 10^{-5}$):

$$7,95 \cdot 10^{-5} > 3,7 \cdot 10^{-5},$$

т.е. выпадение CaSO_4 в осадок в циркуляционной системе окажется **возможным** (образуется гипс).

Для подтверждения этого произведем более точный расчет, используя активные концентрации ионов Ca^{2+} и SO_4^{2-} .

Ионная сила (I) данного раствора равна полусумме произведений концентраций ионов, присутствующих в растворе (c , ммоль/дм³), на квадрат их заряда (z).

Для удобства расчетов необходимые для расчета исходные данные представим в виде таблицы:

<i>Молярные концентрации эквивалентов ионов, ммоль/дм³</i>					
$c(1/2Ca^{2+}) = 10$	$c(1/2 SO_4^{2-}) = 8 + 3 = 11$	$c(1/2Mg^{2+}) = 2,5$	$c(Cl^-) = 2,5$	$c(Na^+) = 3$	$c(HCO_3^-) = 5$
<i>Молярные концентрации ионов (с учетом указанных значений z), ммоль/дм³</i>					
$c(Ca^{2+}) = 5$	$c(SO_4^{2-}) = 5,5$	$c(Mg^{2+}) = 1,25$	$c(Cl^-) = 2,5$	$c(Na^+) = 3$	$c(HCO_3^-) = 5$
<i>Молярные концентрации ионов с учетом коэффициента упаривания, ммоль/дм³</i>					
8,5	9,35	2,13	4,25	5,1	8,5
<i>Формальные заряды ионов, (z)</i>					
2	2	2	1	1	1

$$I = 0,5 \sum c_i z_i^2 = 0,5 \cdot 10^{-3} (8,5 \cdot 2^2 + 9,35 \cdot 2^2 + 2,13 \cdot 2^2 + 4,25 \cdot 1^2 + 5,1 \cdot 1^2 + 8,55 \cdot 1^2) = 0,049$$

Вычисляем коэффициенты активности ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Так как $I = 0,049 > 0,01$, используем формулу $\lg \gamma_i = - \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}}$.

$$Lg \gamma_{Ca^{2+}} = Lg \gamma_{SO_4^{2-}} = - \frac{Az_i^2 \sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} = - \frac{0,509 \cdot 2^2 \cdot \sqrt{0,049}}{1 + \sqrt{0,049}} = - 0,362;$$

Коэффициенты активности для обоих ионов составят:

$$\gamma = 10^{\lg \gamma} = 10^{-0,362} = 0,434.$$

Тогда произведение концентрации ионов с учетом их активности составит:

$$\gamma^2 \cdot c_2(SO_4^{2-}) \cdot c_2(Ca^{2+}) = 0,188 \cdot 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 9,35 \cdot 10^{-3} = 1,49 \cdot 10^{-5};$$

$$1,49 \cdot 10^{-5} < 3,7 \cdot 10^{-5}.$$

Таким образом, обработка данной воды подкислением H_2SO_4 **допустима**. Образование гипса не произойдет.

Контрольное задание №3

Оборотная система охлаждения конденсаторов турбин электростанции должна подпитываться водой состава, мг/дм³ (значения см. в таблице 4). Система будет работать с коэффициентом упаривания 2,0. Температура воды 298 К. Для предотвращения накипеобразования добавляемую воду предполагается обрабатывать раствором H₂SO₄, понижая щелочность на 4 ммоль/дм³.

Определить с учетом ионной силы раствора, будет ли при этом выпадать в системе гипс (CaSO₄ · 2H₂O).

Таблица 4

Исходные данные к заданию

Вариант №	Массовые концентрации ионов, мг/дм ³					
	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Cl ⁻	Na ⁺	HCO ₃ ⁻
1	190	384	30	88	69	305
2	200	350	28	80	60	300
3	220	300	25	70	55	280
4	190	250	40	60	50	320
5	205	380	35	85	65	330
6	220	340	40	75	90	310
7	205	330	20	65	85	350
8	195	320	15	90	80	340
9	210	310	27	89	75	280
10	180	280	26	90	70	250
11	185	270	24	95	65	270
12	215	260	29	100	88	260
13	212	290	34	105	82	290
14	200	370	33	98	78	300
15	195	360	32	97	77	400

Примечание: обратите внимание, что единицы измерения концентраций ионов отличаются от представленных в примере, рассмотренном выше. Для выражения концентраций в ммоль/дм³, повторите раздел «Предварительные замечания».

5.7. Щелочность воды

Теоретические сведения

Щелочностью воды называют общее содержание веществ, обуславливающих при диссоциации или в результате гидролиза образование ионов OH^- , вступающих в реакцию с сильными кислотами, т.е. с ионами H^+ . Расход кислоты выражает значение щелочности воды. Единица измерения щелочности воды ммоль/дм³, моль/дм³ и др. кратные и дольные единицы.

Обычно в природных водах щелочность вызывается присутствием в них гидрокарбонат-, карбонат- и силикат-ионов, а также присутствием гуматов (соединений гуминовых кислот). В котловых водах кроме перечисленных веществ, щелочность обуславливается присутствием ионов PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} и непосредственно ионами OH^- .

Процесс определения щелочности воды заключается в нейтрализации отмеренного объема воды соляной или серной кислотой точно известной концентрации в присутствии индикатора метилоранжа или фенолфталеина. В зависимости от использованного индикатора различают щелочность по метилоранжу (Щ_m), которую называют также общей щелочностью (Щ_o) и щелочность по фенолфталеину (Щ_ϕ). Исходя из их значений, можно определить, какими именно соединениями обусловлена щелочность воды. Однако часто для решения этой задачи требуются и дополнительные сведения, в частности, необходимо знать концентрацию ионов SiO_3^{2-} или HSiO_3^- , концентрацию гуматов, фосфатов и т.д.

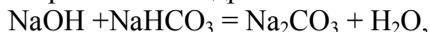
Если в воде присутствуют:

- а) гидраты - NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$;
- б) карбонаты – Na_2CO_3 , CaCO_3 , MgCO_3 ;
- в) гидрокарбонаты - NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, то, обозначив эти щелочности соответственно через Щ_g , Щ_k , Щ_{gk} , можно написать следующие уравнения:

$$\text{Щ}_\phi = \text{Щ}_g + 0,5\text{Щ}_k;$$

$$\text{Щ}_o = \text{Щ}_m = \text{Щ}_g + \text{Щ}_k + \text{Щ}_{gk}.$$

Так как в воде гидрокарбонаты и гидраты взаимно нейтрализуются



то система уравнений распадается на две самостоятельные:

первая система	$Щ_{\phi} = Щ_{\Sigma} + 0,5Щ_{\kappa}$ $Щ_{\phi} = Щ_{\Sigma} = Щ_{\Sigma} + Щ_{\kappa}$	относится к тому случаю, когда отсутствуют гидрокарбонаты и $Щ_{\phi} \geq Щ_{\Sigma}$
вторая система	$Щ_{\phi} = 0,5Щ_{\kappa}$ $Щ_{\phi} = Щ_{\Sigma} = Щ_{\Sigma} + Щ_{\Sigma\kappa}$	

Таблица 5

Формулы для вычисления $Щ_{\Sigma}$, $Щ_{\kappa}$, $Щ_{\Sigma\kappa}$,
исходя из значений $Щ_{\phi}$ и $Щ_{\Sigma}$
(силикат и фосфат-ионы отсутствуют)

Соотношение между $Щ_{\phi}$ и $Щ_{\Sigma}$	$Щ_{\Sigma}$	$Щ_{\kappa}$	$Щ_{\Sigma\kappa}$
$Щ_{\phi} > 0,5 Щ_{\Sigma}$	$2Щ_{\phi} - Щ_{\Sigma}$	$2(Щ_{\Sigma} - Щ_{\phi})$	Нет
$Щ_{\phi} = 0,5 Щ_{\Sigma}$	Нет	$Щ_{\Sigma} = 2 Щ_{\phi}$	Нет
$Щ_{\phi} < 0,5 Щ_{\Sigma}$	Нет	$2Щ_{\phi}$	$Щ_{\Sigma} - 2 Щ_{\phi}$
$Щ_{\phi} = Щ_{\Sigma}$	$Щ_{\phi} = Щ_{\Sigma}$	Нет	Нет
$Щ_{\phi} = 0, Щ_{\Sigma} > .0$	Нет	Нет	$Щ_{\Sigma}$

Контрольное задание №4

Найти концентрацию гидрата, карбоната и гидрокарбоната натрия в мг/дм³ для следующих значений щелочности по фенолфталеину и метилоранжу (таблица 6).

Таблица 6

Исходные данные для вычисления $Щ_{\Sigma}$, $Щ_{\kappa}$, $Щ_{\Sigma\kappa}$

№ варианта	$Щ_{\phi}$, ммоль/дм ³	$Щ_{\Sigma}$, ммоль/дм ³	№ варианта	$Щ_{\phi}$, ммоль/дм ³	$Щ_{\Sigma}$, ммоль/дм ³
1	3,5	6,0	9	7,0	12,0
2	2,4	8,0	10	4,8	16,0
3	3,4	5,6	11	6,8	11,2
4	0,5	0,8	12	1,0	1,6
5	0,2	1,2	13	0,4	2,4
6	1,2	2,4	14	2,4	4,8
7	0,25	0,85	15	0,5	1,7
8	4,2	8,0			

5.8. pH воды

Удобным показателем кислотности воды является pH. Наблюдение за величиной pH и поддержание ее на заданном уровне является одним из оперативных методов технологического контроля за процессом умягчения воды.

$$pH = -\lg[H^+], \text{ отсюда } [H^+] = 10^{-pH},$$

т.е. pH – это отрицательный логарифм концентрации катионов водорода, выраженной в моль/дм³.

При 25°C чистая вода имеет pH 7,00, а концентрации ионов водорода и гидроксида равны ($[H_3O^+] = [OH^-] = 1 \cdot 10^{-7}$ моль/дм³). При 0°C pH чистой воды равен 7,48, а при 60°C – 6,51, но концентрации ионов водорода и гидроксида при этом также равны. Такие растворы называют *нейтральными*.

Водный раствор с концентрацией ионов водорода, превышающей концентрацию гидроксид-ионов, называют *кислым*, его pH при 25°C меньше 7,00. Водный раствор, в котором концентрация гидроксид-ионов выше концентрации ионов водорода, называется *щелочным*; при 25°C его pH больше 7,00.

Таким образом, зная концентрацию ионов водорода, можно рассчитать pH, и наоборот. Аналогично, зная концентрацию гидроксид-ионов, можно рассчитать pOH. Пользуясь уравнением ионного произведения воды, можно рассчитать pH, зная pOH:

$$pH + pOH = 14.$$

(Величина pH, строго говоря, есть обратный логарифм не концентрации, а активности иона водорода. Понятие активности, связано с концентрацией посредством так называемого коэффициента активности «γ»).

Таблица 7

Зависимость концентрации ионов $[H^+]$, $[OH^-]$, pH и среды раствора

$[H^+]$, моль/дм ³	$[OH^-]$, моль/дм ³	pH	среда раствора
10^{-2}	10^{-12}	2	сильнокислая
10^{-4}	10^{-10}	4	кислая
10^{-5}	10^{-9}	5	слабокислая
10^{-7}	10^{-7}	7	нейтральная
10^{-10}	10^{-4}	10	щелочная
10^{-12}	10^{-2}	12	сильнощелочная

Контрольное задание №5

Рассчитайте:

а) рН воды для заданного значения концентрации ионов водорода, указанного в моль/дм³ в графе 2 таблицы-8, принимая коэффициент активности иона равным 1;

б) концентрацию ионов водорода в моль/дм³, исходя из заданного значения рН, указанного в графе таблицы 8.

Напишите ответ:

какой среде соответствует вычисленное значение рН: кислой, нейтральной, щелочной, слабощелочной, слабокислой?

Таблица 8

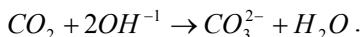
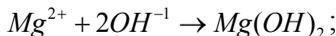
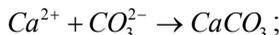
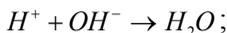
Исходные данные задания

Вариант №	Раствор-1 с известной концентрацией ионов водорода в растворе, моль/дм ³	Раствор-2 с известным значением рН	Вариант №	Раствор-1 с известной концентрацией ионов водорода в растворе, моль/дм ³	Раствор-2 с известным значением рН
1	2	3	1	2	3
1	$8 \cdot 10^{-3}$	3,5	9	$3 \cdot 10^{-4}$	3,2
2	$7 \cdot 10^{-4}$	8,5	10	$4 \cdot 10^{-8}$	4,3
3	$6 \cdot 10^{-6}$	2,5	11	$5 \cdot 10^{-9}$	5,4
4	$5 \cdot 10^{-8}$	9,5	12	$6 \cdot 10^{-5}$	8,5
5	$8 \cdot 10^{-7}$	2,8	13	$8 \cdot 10^{-2}$	3,6
6	$4 \cdot 10^{-02}$	3,9	14	$7 \cdot 10^{-7}$	6,7
7	$8 \cdot 10^{-05}$	7,5	15	$5 \cdot 10^{-6}$	8,8
8	$8 \cdot 10^{-9}$	5,1			

5.9. Обработка воды реагентами-осадителями. Известкование

Теоретические сведения

Известкование применяют в случаях, когда необходимо снизить щелочность исходной воды ($Щ_{у.в.}$). Процессы, протекающие при обработке воды известью, могут быть представлены следующими реакциями:



Таким образом, при известковании разрушается ион HCO_3^- , т.е. снижается щелочность исходной воды, удаляются из нее магний, растворенная CO_2 , снижается сухой остаток и жесткость.

По значению отношения молярных концентраций эквивалентов $c(\frac{1}{z}Ca^{2+}) : c(\frac{1}{z}HCO_3^-) = A$ природные воды могут быть разделены на две группы:

1) $A \geq 1$;

2) $A < 1$.

Известкование может осуществляться по двум режимам: гидратному и карбонатному.

При гидратном доза $Ca(OH)_2$ рассчитывается на связывание CO_2 , HCO_3^- , а также полное осаждение магния и дозы когулянта (d_k , ммоль/дм³):

$$n_{из}^I = Щ_{у.в.} + c(\frac{1}{z}Mg^{2+}) + c(\frac{1}{z}CO_2) + d_k + \alpha \quad (*)$$

При карбонатном режиме:

$$n_{из}^{II} = Щ_{у.в.} + c(\frac{1}{z}CO_2) + d_k + \alpha \quad \text{при } A \geq 1;$$

$$n_{из}^{III} = 2Щ_{у.в.} - c(\frac{1}{z}Ca^{2+}) + c(\frac{1}{z}CO_2) + d_k + \alpha \quad \text{при } A < 1;$$

где α - избыток добавляемого реагента, ммоль/дм³.

Следовательно, различие гидратного и карбонатного режимов состоит в том, что в первом почти весь присутствующий в воде магний осаждается в виде $Mg(OH)_2$. Во время, как во втором (карбонатном) осаждение магния стараются свести к минимуму.

Пример

Известковая водоочистка производительностью $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ обрабатывает воду следующего состава: $T_{MgO}=25 \text{ мг/дм}^3$; щелочность $2,4 \text{ ммоль/дм}^3$; концентрация растворенной $CO_2 = 18 \text{ мг/дм}^3$. Избыток извести принять $0,3 \text{ ммоль/дм}^3$; $d_k=0$. Определить расход извести в расчете на CaO в кг/ч .

Решение

Подставив в формулу (*) численные значения, приведенные в задаче, найдем требуемое количество извести для обработки воды ммоль/дм^3 :

$$n_{из}^I = Ш_{ш.е.} + c\left(\frac{1}{z} Mg^{2+}\right) + c\left(\frac{1}{z} CO_2\right) + d_k + \alpha = 2,4 + \frac{25}{20} + \frac{18}{22} + 0,3 = 4,77,$$

где 20 и 22 молярные массы эквивалентов MgO и CO_2 соответственно. Следовательно, расход извести составит, кг/ч :

$$4,77 \cdot 28 \cdot 60 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 = 8,0,$$

где 28 – молярная масса эквивалента CaO , мг/ммоль .

Контрольное задание №6

Известковая водоочистка производительностью 80 т/ч обрабатывает воду следующего состава:

$$c(\text{Mg}^{2+}) = A \text{ ммоль/дм}^3, \quad T_{\text{HCO}_3^-} = B \text{ мг/дм}^3, \quad T_{\text{CO}_2} = V \text{ мг/дм}^3.$$

Водоочистка работает при избытке извести с $(\frac{1}{2} \text{CaO}) = 0,28 \text{ ммоль/дм}^3$.

Определить расход CaO в кг/ч. Численные значения «А», «Б», «С» приведены в таблице 9.

Таблица 9

Исходные данные

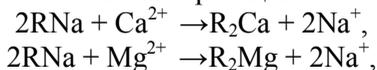
№ варианта	A, ммоль/дм ³	B, мг/дм ³	V, мг/дм ³
1	2,30	281	23,0
2	2,19	267	21,9
3	2,08	255	20,8
4	1,98	243	19,9
5	1,89	231	18,9
6	1,80	220	18,0
7	1,7	210	17,0
8	1,6	200	16,0
9	1,5	190	15,0
10	1,4	180	14,0
11	1,3	170	13,0
12	1,2	160	12,0
13	1,1	150	11,0
14	1,0	140	10,0
15	0,9	130	9,0

5.10. Обработка воды методом ионного обмена.

Na-катионирование

Теоретические сведения

Процесс натрий-катионирования широко используется в промышленности для умягчения воды, т.е. удаления из нее катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Он заключается в том, что умягчаемая вода фильтруется с определенной скоростью через слой катионита с обменным катионом натрия. При этом протекают обменные реакции:



где R обозначает комплекс матрицы и функциональной группы без обменного иона (его принято считать одновалентным).

В результате катион натрия переходит в воду, а Ca^{2+} и Mg^{2+} остаются в катионите. После замещения всех обменных катионов натрия кальцием и магнием процесс умягчения прекращается.

Реакции протекают во времени. Поэтому, начавшись при контакте обрабатываемой воды с катионитом, они заканчиваются в плоскости нижней линии слоя «А» на некоторой глубине h . Ниже находится свежий (неистощенный) катионит. В процессе работы работающая зона смещается вниз, и спустя некоторое время в слое катионита образуется три зоны:

- 1) А – истощенного;
- 2) Б – работающего;
- 3) В – свежего.

В момент, когда плоскость работающей зоны достигнет нижней границы слоя катионита, отмечается повышение жесткости на выходе (умягченной воды) и фильтр отключается на **регенерацию**. Если продолжить подачу воды, несмотря на проскок жесткости, то жесткость фильтрата будет возрастать до величины жесткости исходной воды ($J_{\text{ив}}$).

Произведение **объема** обработанной воды (q_1) до начала проскока на жесткость исходной воды соответствует **динамической обменной емкости** (ДОЕ) всего слоя катионита (E_p).

$$E_p = q_1 \cdot \frac{1}{2} J_{\text{и.с.}}$$

где $\frac{1}{2}$ - коэффициент, пересчета единицы жесткости, выраженной в градусах жесткости на ммоль.

Подставив значение $q_1 = f v_k T$,

где f - площадь сечения фильтра, m^2 ,

v_k - скорость фильтрования воды, м/ч (скорость катионирования),

T - межрегенерационный период работы фильтра, получим:

$$E_p = q_1 \cdot \mathcal{J}_{и.в} = 0,5 f \cdot v_k \cdot T \cdot \mathcal{J}_{и.в}.$$

Если E_p разделить на объем катионита в фильтре $V_k = f \cdot h_k$, получим рабочую удельную динамическую обменную емкость e_p , моль/ m^3 :

$$e_p = \frac{E_p}{f h_k} = \frac{0,5 \cdot v_k \cdot T \cdot \mathcal{J}_{и.в}}{h_k},$$

где h_k - высота слоя катионита.

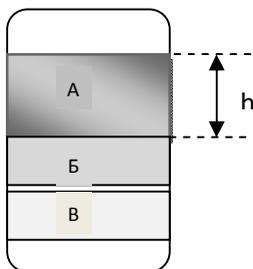


Рис.1. Катионитный фильтр

Пример

Натрий-катионитный фильтр диаметром 2 м и высотой слоя сульфогля 3 м умягчил за межрегенерационный период воду объемом 700 m^3 с общей жесткостью 5 °Ж. *Определить:*

а) удельную обменную емкость катионита в моль/ dm^3 ;

б) количество поглощенных катионов в килограммах и в процентах от массы загруженного в фильтр сульфогля, если молярное отношение $[Ca^{2+}] : [Mg^{2+}]$ в исходной воде равно двум, а насыпная плотность влажного катионита (ρ) 0,42 т/ m^3 .

Решение

Динамическая обменная емкость всего слоя катонита равна, моль:

$$E_p = q_1 \cdot 0,5Ж_{н.в.} = 700 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{+3} = 1750.$$

Площадь сечения фильтра равна, м²:

$$f = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 1^2 = 3,14.$$

Объем катонита в фильтре равен, м³:

$$V_k = f \cdot h_k = 3,14 \cdot 3 = 9,42.$$

Удельная обменная емкость катонита составляет, моль/дм³:

$$e_p = \frac{E_p}{f h_k} = \frac{1750}{9,42 \cdot 1000} = 0,185$$

Исходя из соотношения молярных концентраций $[Ca^{2+}]:[Mg^{2+}] = 2$, определяем молярные концентрации кальция и магния (с, ммоль/дм³) в исходной воде, подаваемой на очистку:

$$c(Mg^{2+}) = \frac{5}{2} \cdot \frac{1}{2+1} = 0,84,$$

$$c(Ca^{2+}) = \frac{5}{2} \cdot \frac{2}{2+1} = 1,66$$

Рассчитаем массовые концентрации кальция и магния (Т, мг/дм³):

$$T(Ca^{2+}) = c(Ca^{2+}) \cdot M(Ca^{2+}) = 1,66 \cdot 40 = 66,6,$$

$$T(Mg^{2+}) = c(Mg^{2+}) \cdot M(Mg^{2+}) = 0,84 \cdot 24 = 20,04.$$

Масса поглощенных катионов кальция составляет, кг:

$$m(Ca^{2+}) = 66,6 \cdot 700 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 46,62.$$

Масса поглощенных катионов магния составляет, кг:

$$m(Mg^{2+}) = 20,04 \cdot 700 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} = 14,03.$$

Количество поглощенных катионов *в процентах* от массы катонита составляет:

$$\omega = \frac{(46,62 + 14,03) \cdot 100}{9,42 \cdot 10^3 \cdot 0,42} = 1,53$$

Контрольное задание №7

Натрий-катионитный фильтр диаметром (d , м) и высотой слоя сульфогля (h , м) умягчил за межрегенерационный период воду объемом ($q_{\text{воды}}$, м³) с общей жесткостью (J_0) исходной воды, °Ж.

Определить:

- удельную обменную емкость катионита в моль/дм³;
- количество поглощенных катионов в килограммах и в процентах от массы загруженного в фильтр сульфогля, если эквивалентное отношение $[Ca^{2+}] / [Mg^{2+}]$ для исходной воды составляет (данные в таблице), а насыпная плотность влажного катионита (ρ) 0,42 т/м³.

Таблица 10

Исходные данные

Вариант №	d , м	h , м	$q_{\text{воды}}$, м ³	J_0 , °Ж	$[Ca^{2+}] / [Mg^{2+}]$
1	2	2,5	785	3,0	2,0
2	2,2	2,8	700	3,2	1,5
3	2,3	2,9	600	3,5	1,6
4	2,5	3,1	650	4,0	1,8
5	1,5	1,9	550	2,8	2,1
6	1,7	2,1	540	1,7	2,0
7	1,8	2,3	770	3,0	2,0
8	2,1	2,7	760	3,3	2,2
9	0,9	1,1	750	1,5	1,6
10	0,8	1,0	690	1,4	1,8
11	1,4	1,8	680	2,0	3,0
12	1,3	1,3	670	2,1	3,0
13	1,2	1,5	650	2,0	2,0
14	1,1	1,4	500	1,8	2,0
15	2,4	3,0	550	5,0	1,5

5.11. Очистка воды от растворенных газов

Теоретические сведения

Удаление из воды растворенных газов – важная часть комплексного технологического процесса обработки воды, реализуемого на ТЭС и АЭС. Необходимость этого процесса вызвана стремлением уменьшить интенсивность коррозии внутренних поверхностей теплового оборудования под действием растворенных в теплоносителе агрессивных газов. Кроме того, наличие в воде растворенной углекислоты отрицательно сказывается на эффективности работы анионитных фильтров, установленных в схеме очистки добавочной воды.

Кислород O_2 и диоксид углерода CO_2 присутствуют в воде в результате растворения при контакте воды с атмосферным воздухом. Углекислота появляется в воде также в процессе химического обессоливания после стадии Н-катионирования, а при умягчении воды методами Na- и Н-катионирования вода дополнительно насыщается связанным диоксидом углерода.

На ВПУ ТЭС и АЭС для удаления из воды свободной углекислоты широко применяют метод аэрации. Сущность метода аэрации заключается в продувании воздуха, свободного от углекислоты, через воду. Таким образом, при использовании данного метода, так же как и при термической деаэрации воды, над поверхностью обрабатываемой воды создается атмосфера, в которой парциальное давление углекислоты ничтожно мало по сравнению с парциальным давлением углекислоты в воде.

Удаление углекислоты производят в аппаратах, называемых *декарбонизаторами*, а сам процесс носит название *декарбонизации*.

В практике обработки воды получили широкое применение декарбонизаторы с насадкой из колец Рашига.

Расчет декарбонизатора состоит в определении геометрических размеров необходимой поверхности колец Рашига и определении напора, создаваемого вентилятором. Площадь поперечного сечения декарбонизатора определяется по плотности орошения насадки, т.е. по расходу воды, приходящемуся на единицу площади поперечного сечения декарбонизатора. Площадь орошения для декарбонизатора с насадкой из колец Рашига принимают равной $60 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$.

Исходными данными при проектировании декарбонизатора являются производительность, определяемая местом включения декарбонизатора в схему ВПУ, концентрация CO_2 на входе и выходе из декарбонизатора, температура обрабатываемой воды.

Площадь поперечного сечения декарбонизатора, f , м^2 :

$$f = \frac{Q}{60}$$

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

Диаметр декарбонизатора, D , м :

$$D = \sqrt{4f / 3,14}$$

Необходимая площадь поверхности десорбции ($F_{\text{десорб}}$) в декарбонизаторе для достижения заданного эффекта удаления свободной углекислоты определяется по уравнению десорбции, м^2 :

$$F_{\text{десорб}} = \frac{G}{K_{\text{ж}} \cdot \Delta C_{\text{ср}}}$$

где G – количество свободной углекислоты, которое необходимо удалить ($\text{кг}/\text{ч}$), определяемое по уравнению, $\text{кг}/\text{ч}$:

$$G = \frac{Q(c_{\text{вх}} - c_{\text{вых}})}{1000},$$

$c_{\text{вх}}$ – общая концентрация свободной углекислоты ($\text{мг}/\text{кг}$) на входе в декарбонизатор, которая определяется по уравнению, $\text{мг}/\text{кг}$:

$$c_{\text{вх}} = 44 \mathcal{J}_{\text{к}} + c_{\text{нач}};$$

$\mathcal{J}_{\text{к}}$ – карбонатная жесткость перед ионитными фильтрами, $^{\circ}\mathcal{J}$;

$c_{\text{нач}}$ – концентрация свободной углекислоты на входе в декарбонизатор, которая ориентировочно может быть рассчитана по уравнению, $\text{мг}/\text{кг}$.

$$c_{\text{нач}} = 0,268(\mathcal{J}_{\text{к}})^3;$$

$c_{\text{вых}}$ – концентрация свободной углекислоты в воде ($\text{мг}/\text{кг}$) на выходе из декарбонизатора, численным значением которой задаются, принимая его равным 3-10 $\text{мг}/\text{кг}$;

$K_{\text{ж}}$ – коэффициент десорбции или массопередачи, т.е. количество газа, передаваемое в единицу времени через единицу поверхности, при движущей силе процесса десорбции, равной единице, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; величина $K_{\text{ж}}$ определяется по рис. 2 в зависимости от заданной температуры воды.

Величину ΔC_{cp} – среднюю движущую силу процесса десорбции, зависящую от перепада концентраций углекислого газа в воде и омывающем ее воздухе, нагнетаемом вентилятором, можно определить по графику, приведенному на рис. 3.

Объем, занимаемый кольцами Рашига, м³:

$$V = \frac{F}{204}$$

где 204 - площадь поверхности единицы объема слоя насадки из колец Рашига, м²/м³.

Высота слоя насадки из колец Рашига при беспорядочной загрузке, м:

$$h = \frac{V}{f}$$

Пример

Рассчитать декарбонизатор с насадкой из колец Рашига с производительностью $Q=406$ м³/ч, для обеспечения содержания углекислоты на выходе $C_{вых} \leq 5$ мг/кг при карбонатной жесткости воды на входе 4 °Ж, температура воды 20°С. Плотность орошения 60 м³/м²·ч.

Решение

1) Площадь поперечного сечения декарбонизатора, м²:

$$f = \frac{Q}{60} = \frac{406}{60} = 6,76$$

2) Диаметр декарбонизатора, м:

$$D = \sqrt{4f / 3,14} = \sqrt{4 \cdot 6,76 / 3,14} = 2,93$$

3) Концентрация свободной углекислоты на входе в декарбонизатор, мг/кг:

$$c_{нач} = 0,268(J_k)^3 = 0,268 \cdot 4^3 = 17,2$$

4) Общая концентрация свободной углекислоты на входе, мг/дм³:

$$c_{вх} = 44 J_k + c(CO_2) = 44 \cdot 4 + 17,2 = 193,2$$

5) Коэффициент десорбции или массопередачи $K_{ж} = 0,4$ (по рис. 1).

6) Средняя движущая сила процесса, мг/кг $\Delta C_{cp} = 0,048$ (по рис. 2).

7) Количество свободной углекислоты, которое необходимо удалить, кг/ч:

$$G = \frac{Q(c_{вх} - c_{вых})}{1000} = \frac{406(193,2 - 5)}{1000} = 76,8$$

8) Необходимая площадь поверхности десорбции в декарбонизаторе для достижения заданного эффекта, м²:

$$F_{\text{десорб}} = \frac{G}{K_{\text{ж}} \cdot \Delta C_{\text{ср}}} = \frac{76,8}{0,4 \cdot 0,048} = 4000$$

9) Объем, занимаемый кольцами Рашига, м³:

$$v = \frac{F}{204} = \frac{4000}{204} = 19,6$$

10) Высота слоя насадки из колец Рашига при беспорядочной загрузке, м:

$$h = \frac{v}{f} = \frac{19,6}{6,76} = 2,9$$

Контрольное задание №8

Рассчитайте геометрические размеры декарбонизатора. Исходные данные в таблице 10.

Таблица 10

Исходные данные для расчета карбонизатора

Вариант №	$J_{\text{ж}}$, ммоль/дм ³	Q , м ³ /час	$C_{\text{вых}}$ мг/кг	Температура воды, °С
1	3,1	500	3	25
2	3,2	450	3	25
3	3,3	300	3	30
4	3,4	350	3	30
5	3,6	320	3	20
6	3,7	290	3	20
7	3,8	700	5	28
8	3,2	650	5	28
9	4,1	600	5	25
10	4,2	550	5	25
11	4,4	400	5	30
12	4,5	250	10	30
13	4,3	200	10	30
14	4,6	750	10	25
15	4,7	800	10	25
16	4,8	260	10	25

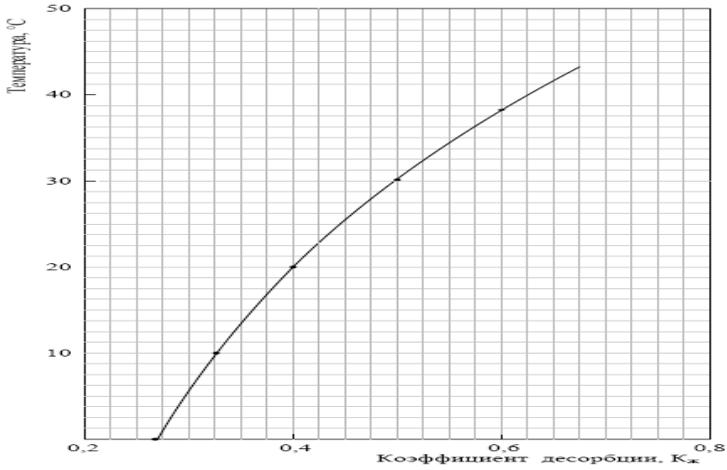


Рис. 2. Зависимость коэффициента десорбции от температуры воды для декарбонизатора, загруженного кольцами Рашига при плотности орошения насадки $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

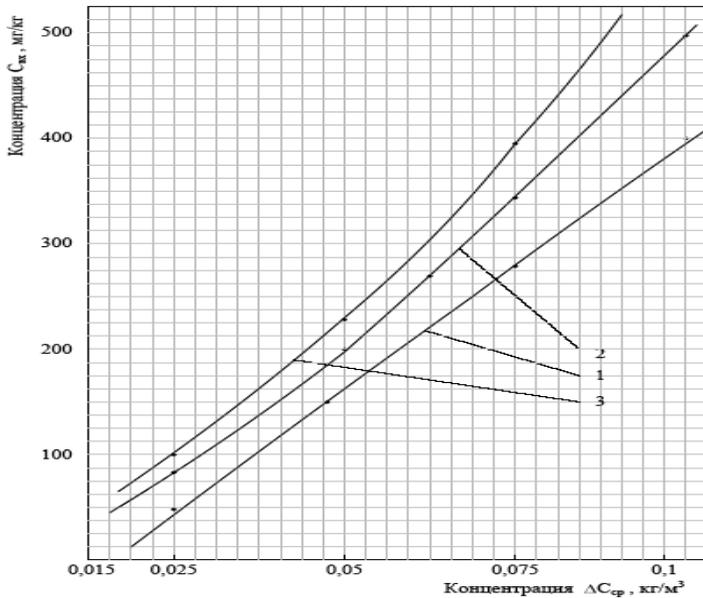


Рис. 3. Зависимость ΔC_{cp} (средней движущей силы десорбции) от концентрации углекислоты в воде до карбонизатора ($C_{вх}$) при различных ее значениях на выходе ($C_{вых}$):

1 – $C_{вых} = 3 \text{ мг}/\text{кг}$; 2 – $C_{вых} = 5 \text{ мг}/\text{кг}$; 3 – $C_{вых} = 10 \text{ мг}/\text{кг}$

Контрольное задание №9

Напишите ответы по вопросам из раздела «Вопросы к зачету (экзамену)». Соответствующие варианту номера вопросов см. в таблице 11.

Таблица 11

Варианты контрольной работы № 9

<i>Вариант №</i>	<i>Номера вопросов из раздела «Вопросы к экзамену»</i>		
1	<i>№1</i>	<i>№13</i>	<i>№8</i>
2	<i>№2</i>	<i>№24</i>	<i>№9</i>
3	<i>№3</i>	<i>№15</i>	<i>№10</i>
4	<i>№4</i>	<i>№16</i>	<i>№12</i>
5	<i>№5</i>	<i>№17</i>	<i>№12</i>
6	<i>№6</i>	<i>№25</i>	<i>№13</i>
7	<i>№7</i>	<i>№24</i>	<i>№14</i>
8	<i>№8</i>	<i>№23</i>	<i>№15</i>
9	<i>№9</i>	<i>№22</i>	<i>№13</i>
10	<i>№10</i>	<i>№21</i>	<i>№14</i>
11	<i>№11</i>	<i>№20</i>	<i>№15</i>
12	<i>№12</i>	<i>№19</i>	<i>№16</i>
13	<i>№13</i>	<i>№18</i>	<i>№17</i>
14	<i>№14</i>	<i>№17</i>	<i>№25</i>
15	<i>№15</i>	<i>№16</i>	<i>№24</i>

Оглавление

1 Общие указания	3
2 Вопросы к зачету (экзамену)	4
3 Литература	6
4 Предварительные замечания	7
4.1 Единицы количества вещества	7
4.2 Способы выражения концентрации	8
5 Краткие теоретические сведения и контрольные задания	12
5.1 Характеристики вод и их примесей	12
5.2 Технологические и качественные показатели воды	13
5.3 Методы очистки природной воды	13
5.4 Жесткость воды	15
<i>Контрольное задание № 1.</i>	18
5.5 Показатели качества воды	20
<i>Контрольное задание № 2</i>	22
5.6 Расчет активности ионов в водных растворах и его применение при прогнозировании эффективности обработки воды	23
<i>Контрольное задание № 3</i>	27
5.7 Щелочность воды	28
<i>Контрольное задание № 4</i>	29
5.8 pH воды	30
<i>Контрольное задание № 5</i>	31
5.9 Обработка воды реагентами-осадителями. Известкование	32
<i>Контрольное задание № 6</i>	34
5.10 Обработка воды методом ионного обмена. Na-катионирование	35
<i>Контрольное задание № 7</i>	38
5.11 Очистка воды от растворенных газов.	39
<i>Контрольное задание № 8</i>	42
<i>Контрольное задание № 9</i>	44

Учебное издание

Ахметова Танзиля Имамовна

кандидат химических наук

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОДОПОДГОТОВКИ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Корректор Белова И.М.
Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 28.12.14.
Подписано в печать 12.01.15.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 2,9. Тираж 100.
Заказ №28.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ»,
г. Нижнекамск, 423570, ул. 30 лет Победы, д. 5а.