



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Водоснабжение и водоотведение»

Сборник задач
по дисциплине
«Основы промышленного ВиВ»

**«Ионный обмен и
регенерация ионитов в
системе промышленного
водоснабжения»**



Авторы
Вильсон Е.В.,
Нечаева Л.И.

Ростов-на-Дону, 2017

Аннотация

Сборник задач предназначен для студентов всех форм обучения направления подготовки 08.03.01 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Авторы

к.т.н., доцент кафедры
«Водоснабжение и водоотведение»

Вильсон Елена Владимировна

к.т.н., доцент кафедры

«Водоснабжение и водоотведение»

Нечаева Лариса Ильинична





Оглавление

Лабораторная работа № 1 Определение общей и карбонатной жесткости воды.....	4
Лабораторная работа № 2 Исследование влияния скорости фильтрования на работу НА–катионитовых фильтров.....	11
Лабораторная работа № 3 Исследование работы ионообменной водоумягчительной установки	17
Лабораторная работа №4 Регенерация отработанных Н-катионитового и ОН-анионитового фильтров	21
Литература.....	24

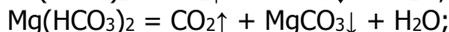
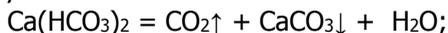
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ И КАРБОНАТНОЙ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ

1. Теоретическая часть

Жесткость – свойство воды, обусловленное присутствием в ней растворенных солей щелочноземельных металлов (преимущественно кальция и магния). Различают жесткость кальциевую и магниевую, связанную с присутствием в воде соответственно ионов кальция и магния. Суммарное содержание ионов этих металлов в воде называется общей жесткостью.

Общая жёсткость подразделяется на карбонатную, обусловленную присутствием в воде гидрокарбонатов и карбонатов кальция и магния, и некарбонатную, обусловленную наличием кальциевых и магниевых солей сильных кислот.

Карбонатную жёсткость также называют временной (устраиваемой), а некарбонатную – постоянной. Гидрокарбонаты кальция и магния при длительном кипячении воды разлагаются с выделением диоксида углерода и выпадающих в осадок карбонатов кальция и магния (при дальнейшем кипячении карбонат магния гидролизует с образованием гидроксида); жесткость воды при этом уменьшается:



Жесткость, оставшаяся после кипячения воды в течение определенного времени, достаточного для полного разложения гидрокарбонатов и удаления диоксида углерода (обычно 1 – 1,5 ч), называется постоянной жесткостью. Постоянная жесткость является важной характеристикой качества воды, используемой для технических целей. Она преимущественно зависит от содержания ионов кальция и магния, которые после кипячения уравниваются сульфатами и хлоридами. Эту часть постоянной жесткости, называемую также остаточной жесткостью, можно найти по разности между общей жесткостью и концентрацией гидрокарбонатов. В системе единиц СИ концентрацию выражают в молях на кубический метр (моль/м³). Однако на практике для измерения жесткости используются градусы жесткости и миллиграммы эквивалента на литр (мг-экв/л).

Общая жесткость поверхностных вод колеблется в основном от единиц до десятков мг- экв/л, причем карбонатная же-

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения

сткость часто составляет 70 – 80 % от общей жесткости. Она подвержена заметным сезонным колебаниям, достигая обычно наибольшего значения в конце зимы и наименьшего в период паводка. Жесткость подземных вод более постоянна.

Вода с жесткостью менее 4 мг-экв/л характеризуется как мягкая; от 4 до 8 мг-экв/л – средней жесткости; от 8 до 12 мг-экв/л – жесткая; более 12 мг-экв/л – очень жесткая.

Обычно преобладает (иногда в несколько раз) жесткость, обусловленная ионами кальция, однако в отдельных случаях, магниевая жесткость может достигать 50 – 60 % общей жесткости и более (часто магниевая жесткость превосходит кальциевую в морских и океанических водах, либо в поверхностных водах суши с высоким содержанием сульфат-ионов).

Высокая жесткость оказывает отрицательное влияние на свойства воды используемой в промышленности и для хозяйственно-бытовых целей. Жесткие требования в отношении величины жесткости предъявляются к воде, питающей паросиловые установки, поскольку в присутствии сульфатов и карбонатов кальция и магния образуют прочную накипь, уменьшающую теплопроводность металла и приводящую к перерасходу топлива и перегреву котлов.

Высокая жесткость, особенно, обусловленная превышением солей магния, ухудшает органолептические свойства воды, придавая ей горьковатый вкус и оказывая отрицательное воздействие на органы пищеварения. Предельно допустимая величина жесткости в питьевых водах 7 мг-экв/л, но в некоторых случаях допускается использовать для питьевых целей воду с жесткостью 10 мг-экв/л.

2. Цель работы.

Цель работы – приобрести навыки определения различных видов жесткости воды лабораторным методом

3. Определение общей жесткости по РД 52.24.395-2007 (методика выполнения измерений титриметрическим ме- тодом с трилоном Б)

Реактивы и материалы

1. Коническая колба вместимостью 250 см³
2. Бюретки вместимостью: 5; 10; 25 см³
3. Индикатор эриохром черный Т
4. Буферный раствор
5. Трилон Б по ГОСТ 10652-73, ч.д.а.

Метод измерений

Выполнение измерений жесткости основано на способности ионов кальция и магния в среде аммонийно-аммиачного буферного раствора (рН 9 – 10) образовывать с трилоном Б малодиссоциированные комплексные соединения. При титровании вначале связывается кальций, образующий более прочный комплекс с трилоном Б, а затем магний. Конечная точка титрования определяется по изменению окраски индикатора эриохрома черного Т от вишнево-красной (окраска соединения магния с индикатором) до голубой (окраска свободного индикатора).

Выполнение измерений

Объем аликвоты пробы воды для выполнения измерений величины жесткости выбирают исходя из предполагаемой величины жесткости по табл. 1. Титрование следует проводить из бюретки подходящей вместимости в зависимости от жесткости воды. Если по результатам оценочного титрования объем трилона Б менее 0,4 см³ или предполагаемая жесткости менее 0,8 мг-экв/л, используют бюретку вместимостью 5 см³; при объеме трилона Б от 0,4 см³ до 0,8 см³ или жесткости от 0,8 до 1,6 мг-экв/л – бюретку вместимостью 10 см³; при объеме трилона более 0,8 см³ или жесткости более 1,6 мг-экв/л – бюретку вместимостью 25 см³.

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе
 промышленного водоснабжения

Таблица 1 – Объем пробы воды, рекомендуемый для выполнения измерений жесткости

Предполагаемая жесткость воды, мг-экв/л	Объем раствора трилона Б, израсходованный при оценочном титровании, см ³	Рекомендуемый объем аликвоты пробы воды, см ³
Менее 4	Менее 2	100
От 4 до 8 включ.	От 2 до 4 включ.	50
Св. 8 до 16 включ.	Св. 4 до 8 включ.	25
Св. 16	Св. 8	10

При отсутствии бюретки вместимостью 10 см³ можно использовать бюретку вместимостью 25 см³; допускается замена бюретки вместимостью 5 см³ бюреткой вместимостью 10 см³, однако замена бюретки вместимостью 5 см³ бюреткой вместимостью 25 см³ недопустима.

Ход выполнения анализа

В коническую колбу вместимостью 250 см³ отмеривают пипеткой требуемый объем аликвоты пробы, доводят, если необходимо, до 100 см³ дистиллированной водой, добавляют 5 см³ буферного раствора, 70 – 100 мг индикатора эриохрома черного Т и титруют раствором трилона Б до перехода окраски из вишнево-красной в голубую. Повторяют титрование и, если расхождение объемов раствора трилона Б между параллельными титрованиями не превышает приведенных в таблице 2, за результат принимают среднее значение объема трилона Б. В противном случае повторяют титрование до получения допустимого расхождения результатов.

Таблица 2– Допустимые расхождения между параллельными титрованиями в зависимости от объема раствора трилона Б

Объем раствора трилона Б, израсходованного на титрование, см ³	Допустимое расхождение объемов трилона Б, см ³
Менее 4	0,05
От 4 до 12 включ.	0,10
Св. 12 до 16 включ.	0,15
Св. 16	0,20

Вычисление результатов

Общую жесткость воды X , мг-экв/л, рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{C_{mp} \cdot V_{mp} \cdot 1000}{V} , \quad (1)$$

где C_{mp} – концентрация раствора трилона Б, мг-экв/л;

V_{mp} – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование пробы, см³;

V – объем пробы воды, взятый для титрования, см³.

Определение карбонатной жесткости (общей щелочности) по ГОСТ 31957-2012 (Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов). Определение свободной и общей щелочности (Визуальный метод).

Щелочность – показатель количественной оценки свойств водной среды реагировать с ионами водорода. Щелочность воды является функцией концентрации гидрокарбоната, карбоната и гидроксида.

Общая щелочность - щелочность, определяемая титрованием пробы воды до значения рН 4,5. Общая щелочность обусловлена содержанием в пробе гидрокарбонат-ионов, карбонат-ионов и гидроксид-ионов:

Реактивы и материалы

1. Бюретки по ГОСТ 29251 2-го класса точности вместимостью 10 см³ с ценой деления 0,02 см³ или 0,05 см³.
2. Пипетки градуированные по ГОСТ 29227 2-го класса точности или пипетки с одной меткой 2-го класса точности по ГОСТ 29169.
3. Цилиндры мерные по ГОСТ 1770.
4. Колбы Эрленмейера вместимостью 250 см³
5. Колбы конические или плоскодонные по ГОСТ 25336.
6. Стаканы химические термостойкие по ГОСТ 25336.
7. Кислота соляная стандарт-титр с молярной концентрацией (НСl)=0,1 моль/дм
8. Индикатор фенолфталеин

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения

9. Смесь индикаторов бромкрезолового зеленого и метилового красного

Примечание – Если предполагаемое значение щелочности находится в пределах от 4 до 20 мг-экв/л, допускается для титрования применять раствор соляной кислоты молярной концентрации 0,1 моль/дм³; если щелочность находится в пределах от 0,4 до 4,0 мг-экв/л, – раствор соляной кислоты молярной концентрации 0,02 моль/дм³.

Ход выполнения анализа

Для удаления растворенного хлора перед титрованием в пробу воды добавляют раствор тиосульфата натрия из расчета 0,1 см³ раствора на 200 см³ анализируемой пробы воды.

1. Определение свободной щелочности.

В колбу Эрленмейера вместимостью 250 см³ вносят 100 см³ анализируемой пробы воды и добавляют 0,1 см³ раствора индикатора фенолфталеина.

Если раствор не окрашивается в розовый цвет, то свободную щелочность анализируемой пробы воды принимают равной нулю. Пробу, окрашенную в розовый цвет, титруют до обесцвечивания раствором соляной кислоты молярной концентрации 0,02 моль/дм³ или 0,05 моль/дм³.

Регистрируют объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование.

2. Определение общей щелочности титрованием раствором соляной кислоты (прямое титрование)

В раствор, использованный для определения свободной щелочности, добавляют 0,1 см³ смеси индикаторов бромкрезолового зеленого и метилового красного, продолжают титровать соответствующим раствором соляной кислоты до изменения сине-зеленой окраски на серую. Регистрируют объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование.

3. Вычисление результатов

1. Свободную щелочность A_p , мг-экв/л (моль/л), рассчитывают по формуле

$$A_p = \frac{c(\text{HCl})V_2 \cdot 1000}{V_1}, \quad (2)$$

где $c(\text{HCl})$ – точная молярная концентрация раствора соляной кислоты, моль/дм³;



Ионный обмен и регенерация ионитов в системе
промышленного водоснабжения

V_1 – объем анализируемой пробы воды, взятый для титрования, см^3 ;

V_2 – объем раствора соляной кислоты, израсходованный на титрование до pH 8,4, см^3

2. Общую щелочность A_T , мг -экв/л(моль/л) при определении по способу 1 рассчитывают по формуле

$$A_T = \frac{c(\text{HCl})V_3 \cdot 1000}{V_1}, \quad (3)$$

где $c(\text{HCl})$ – молярная концентрация раствора соляной кислоты, моль/дм³;

V_1 – объем анализируемой пробы воды, взятый для титрования, см^3 ;

V_3 – объем соляной кислоты, израсходованный на титрование до pH 4,5, см^3 .

Некарбонатную жесткость воды $\mathcal{K}_{\text{нх}}$, находят по разности:

$$\mathcal{K}_{\text{нх}} = \mathcal{K}_o - \mathcal{K}_x \quad (4)$$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

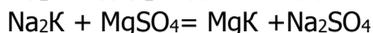
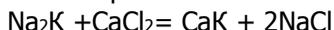
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ФИЛЬТРОВАНИЯ НА РАБОТУ НА–КАТИОНИТОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Теоретическая часть

Сущность ионного обмена заключается в способности ионообменных материалов или ионитов поглощать из воды (раствора электролита) положительные или отрицательные ионы в обмен на эквивалентное количество ионов ионита. Процесс водообработки методом ионного обмена, в результате которого происходит обмен катионов, называют катионированием. Катиониты в воде набухают, увеличиваясь в объеме. Отношение объемов одинаковых масс катионитов в набухом и воздушно - сухом состоянии называют коэффициентом набухания. Он выражается отношением насыпных плотностей воздушно-сухого и набухшего ионитов. Умягчение воды происходит путем фильтрования сырой воды через слой специального материала (катионитам) и имеющего свойство поглощать из воды катионы кальция и магния, обуславливающие жесткость воды и заменять их на ионы натрия. Одним из наиболее распространенных в настоящее время катионитовых материалов являются сульфоуголь и смола КУ-2. Процесс умягчения исходной воды при фильтровании ее через слой катионита называется катионированием, а сам аппарат, в котором происходит катионирование воды, катионитовым фильтром.

Натрий-катионитовый метод применяют для умягчения воды с содержанием взвеси не более 8 мг/л и цветностью не более 30 град.ПКШ. Жесткость воды снижается при одноступенчатом натрий-катионировании до 0,05... 0,1мг-экв/л

Процесс обмена ионов кальция и магния на ион натрия может быть изображен так:



Аналогично реагируют другие соли постоянной жесткости.

Из приведенных уравнений видно, что при фильтровании жесткой воды через слой катионита, ионы кальция и магния поглощаются катионитом, а в воде взамен солей жесткости появляются хорошо растворимые соли натрия, которые не образуют накипи. Также видно, что в процессе умягчения изменяется сам катионит, который отдает переходящий в воду ион натрия и при-

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения

нимает на себя ионы кальция и магния. Процесс обмена ионов натрия на ионы кальция и магния идет до тех пор, пока в катионите имеются ионы натрия. Когда ионов натрия в катионите становится мало, обменная способность катионита падает, и жесткость умягченной воды быстро растет.

Основополагающим фактором кинетики процесса является скорость ионообмена между ионами воды и омываемой частицей катионита. Непосредственно на наружной поверхности омываемой частицы образуется неподвижная водяная пленка, толщина которой зависит от скорости потока умягчаемой воды и размеров зерна катионита.

Процесс обмена катионами является функцией внешне- и внутридиффузионного массопереноса. Внутридиффузионный перенос иона из раствора в «тело» ионита зависит от толщины гидратной оболочки на поверхности частиц, от сродства обменных ионов матрице катионита, температуры умягчаемой воды, отношения объема частицы к ее поверхности. С уменьшением диаметра частицы на каждую функциональную группу приходится большая поверхность обмена. Повышение температуры умягчаемой воды влечет уменьшение ее вязкости, что способствует увеличению скорости диффузии и улучшению кинетики ионообмена.

Относительно скорости фильтрования следует отметить, что с увеличением скорости потока уменьшается толщина водяной пленки, что облегчает прохождение через нее ионов. С другой стороны скорость фильтрования определяет кинетику внешнедиффузионного переноса обменного иона из раствора к частице катионита. Внутридиффузионный перенос осуществляется чрезвычайно быстро, так что в системах ионного обмена лимитирующим фактором является внешнедиффузионный массоперенос. При высоких скоростях фильтрования ионы не «успевают» приблизиться к зерну катионита, на расстояние при котором возможен внутридиффузионный перенос.

По данным В. А. Клячко, даже в пористых катионитах реакция обмена Ca^{2+} , Mg^{2+} , на ионы Na^+ и водорода достигает 90 ... 98% в течение долей минуты, а равновесие устанавливается за 5 ... 6 мин. Поэтому допустимы большие скорости фильтрования умягчаемой воды через катиониты. Тем не менее, имеется интервал оптимальных скоростей фильтрования. Кроме этого увеличение скорости фильтрования вызывает возрастание потерь напора. Можно сказать, что при определенной высоте слоя ионита скорость фильтрования определяет продолжительность контакта между обрабатываемой водой и поверхностью катионита.

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения

Скорость фильтрования наряду с высотой слоя ионита, площадью фильтрования и величиной обменной емкости ионита определяют продолжительность фильтроцикла и связаны между собой уравнением материального баланса удаляемых ионов в исходной воде, г-экв/м³. Часовая производительность фильтра (q) равна скорости фильтрования v , умноженной на площадь фильтрования F , $q = v \cdot F$, м³/ч. Общее количество воды (Q), обработанной фильтром в течение рабочего цикла, равно его часовой производительности, умноженной на продолжительность рабочего цикла T , т.е. $Q = v \cdot F \cdot T$, м³. Если теперь полученное количество обработанной фильтром воды умножить на концентрацию в ней подлежащих удалению ионов C , получим общее количество ионов (E), г-экв, которое удаляется из воды за рабочий цикл.

$$E = v \cdot F \cdot T \cdot C \quad (5)$$

С другой стороны, объем загруженного в фильтр ионита (V) равен высоте его загрузки h , умноженной на площадь поперечного сечения фильтра, т.е. на площадь фильтрования $V = h \cdot F$.

Если теперь полученный объем загруженного в фильтр ионита умножим на его рабочую объемную обменную емкость, то получим общее количество ионов, извлеченных из воды, т.е. поглощенных фильтром (N). Отсюда получим следующее равенство:

$$v \cdot F \cdot T \cdot C = h \cdot F \cdot E \quad (6)$$

Величина F , стоящая в правой и левой частях этого равенства, может быть сокращена, отчего справедливость равенства не изменится и представится в следующем окончательном виде:

$$v \cdot T \cdot C = h \cdot E \quad (7)$$

Полученное уравнение связывает основные технологические параметры ионитного фильтра и позволяет с достаточной для практики точностью определять любой из них, если известны значения остальных параметров. Так, если в ионитный фильтр загружен ионит высотой $h = 2,5$ м с рабочей обменной емкостью $E = 700$ г-экв/м³, а концентрация подлежащих удалению ионов в обрабатываемой воде $C = 5,5$ г-экв/м³, то, зная скорость фильтрования воды в $v = 14$ м/ч, можно по уравнению (7), определить продолжительность рабочего цикла фильтра

$$T = h \cdot E / v \cdot C, \quad (8)$$

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения

Пользуясь уравнением (8), можно, например, определить с какой скоростью фильтрования воды следует работать для принятых выше исходных параметров, чтобы продолжительность рабочего цикла фильтра составляла около 12 ч.

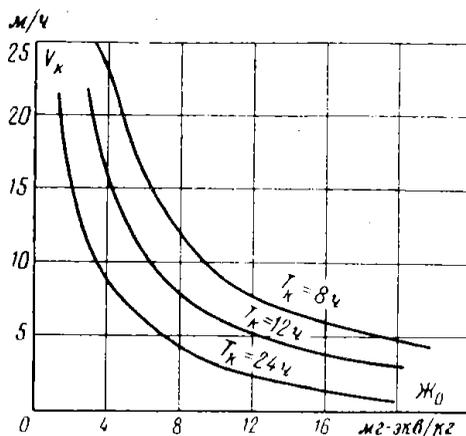


Рис. 1 График зависимости допустимой скорости фильтрования воды на катионитных фильтрах в зависимости от величины жесткости умягчаемой воды и длительности межрегенерационного периода.

Цель работы

Определение оптимальной скорости фильтрования при заданных параметрах ионита и жесткости обрабатываемой воды, (см. рис. 1). Контроль параметров работы катионита ведется по жесткости исходной и обработанной воды.

Оборудование, реактивы и материалы

- Фильтровальная колонка, загруженная катионитом (вид катионита уточняет преподаватель) (см. рис 2)
- Материалы и реактивы для определения жесткости воды (см. лаб. работу №1)

Ход работы

1. Подготовка катионита к работе

1.1. Перед загрузкой фильтрующего материала в фильтр необходимо:

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе
промышленного водоснабжения

Подать воду через дренажную систему, убедиться в том, что в верхнем и нижнем распределительных устройствах отверстия не засорены и система работает равномерно.

1.2. Для натрий-катионитного фильтра применяются следующие фильтрующие материалы: сульфуголь, катионит КУ-2.

1.3. Катиониты, обладающие значительной способностью к набуханию, загружают в фильтр, частично заполненный водой. Загрузку катионита производить слоями по 75-100 мм.

1.4. После укладки каждого слоя следует взрыхлять его подачей воды снизу вверх и отмывать от пылевидных частиц до полного осветления промывной воды.

1.5. Взрыхляют весь слой катионита в течение 5-10 мин.

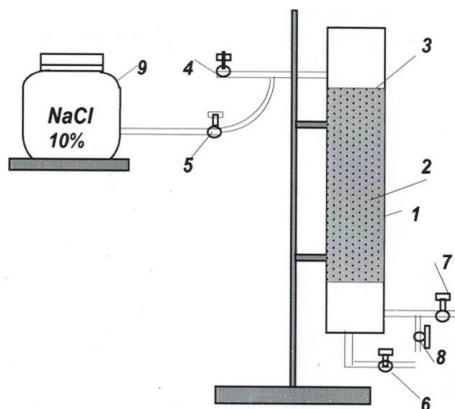


Рис. 2. Схема лабораторной установки

1 – корпус фильтра, $D=110$ мм; 2 – катионит (сульфуголь или КУ– 2); 3 – поддерживающие сетки; 4 – подача исходной воды; 5 – подача регенерационного раствора; 6 – спускная труба для полного опорожнения фильтра; 7 – подача воды для взрыхления загрузки; 8 – отвод умягченной воды; 9 – сосуд с раствором поваренной соли.

2. Определение скорости фильтрования – 2; 5; 10; 25; 30; 50 м/ч (определение скорости произвести объемным методом). Для каждой скорости фильтрования определить продолжительность фильтроцикла с учетом жесткости обработанной воды. В ходе работы необходимо определять качество исходной (сырой) воды и умягченной.

3. Обработка результатов измерений

3.1. Построить график зависимости – жесткость обра-

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе
 промышленного водоснабжения

ботанной воды от скорости фильтрования

3.2. Сделать выводы и дать рекомендации по скорости фильтрования.

Объём катионита, требующийся для заполнения фильтров, определяется по формуле:

$$V_{\text{КАТ.}} = \frac{Q_{\text{VP}} \cdot j \cdot H_0}{E}, \text{ м}^3 \quad (9)$$

где Q_{VP} – расчётный расход исходной воды, м³/ч.

j – период между регенерациями, ч.

H_0 – общая жесткость исходной воды

E – объёмная обменная способность катионита (принимается $E = 300 \text{ г} \cdot \text{эquiv} / \text{м}^3$)

Пример:

Расход исходной воды через химводоочистку составляет $Q_{\text{VP}} = 116118 \text{ м}^3/\text{ч}$, период между регенерациями составляет $j = 8$ часов, общая жесткость исходной воды составит: $Ж_0 = 6,65 \text{ мг-эquiv/л}$, обменная способность катионита $E = 300 \text{ г-эquiv/м}^3$.

Фактический межрегенерационный период можно определить, зная Q_{VP} - расчетный расход исходной воды, м³/ч, перепад напора на фильтре, ионообменная способность катионита, площадь рабочего слоя катионита.

$$T = \frac{F \cdot E^*}{Q_{\text{VP}} \cdot H_0}, \text{ ч} \quad (10)$$

Число регенераций в сутки определяется: $n_p = 24 / (T + 1,5)$, где 1,5 – продолжительность процесса регенерации, ч.

Количество соли, израсходованное на одну регенерацию, кг:

$$m = E \cdot h \cdot F \cdot Q \cdot 0,001, \quad (11)$$

где Q – удельный расход соли, $Q = 200 \text{ г} / \text{ч} \cdot \text{эquiv}$

Необходимый объем раствора соли (объем солерастворителя), м³: $V_c = m \cdot 0,001$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ИОНООБМЕННОЙ ВОДОУМЯГЧИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Цель работы: Ознакомиться с принципом действия натрий-катионитовой установки и оценить эффективность ее работы. Установить влияние жесткости исходной воды на режим работы водоумягчительной установки.

1. Приборы, посуда и реактивы:

1. Водоумягчительная установка;
2. Исходная вода объемом 15 л;
3. Бurette, ГОСТ 20292-74;
4. Штатив;
5. Коническая колба емкостью 250 мл;
6. Плоскодонная колба емкостью 200 мл;
7. Аммиачный буферный раствор ;
8. NaCl (10% раствор);
9. Трилон Б (0,05 н раствор);
10. Индикатор хром темно-синий, кислотный (раствор) или эрио-хром черный Т;

2. Общие положения

Ионнообменные методы умягчения обычно применяют для обработки подземных вод и вод поверхностных источников с мутностью не более 8 мг/л и цветностью не более 30°.

Самым простым из ионнообменных методов является натрий-катионитовый метод, заключающийся в фильтровании воды через слой сульфогля. При одноступенчатом натрий катионировании общая жесткость воды может быть снижена до 0,1-0,05 мг-экв/л, при двухступенчатом – до 0,01 мг-экв/л.

3. Порядок выполнения работы

3.1 Определение жесткости исходной воды

Жесткость исходной воды $J_{исх}$ определяется по рассмотренной ранее методике (см. лаб. раб. №1).

3.2 Пробное умягчение воды

Для проведения пробного умягчения необходимо исходную воду по трубопроводу 4 подать в верхнюю часть закрепленного на штативе фильтра 1 (рис 2.). Умягченная вода будет отво-

даться по трубопроводу 8, при этом вентили на трубопроводах 5,6,7 должны быть закрыты.

3.3 Определение жесткости умягченной воды

В коническую колбу емкостью 200 мл отобрать пробу фильтрата и определить жесткость умягченной воды J_{ϕ} (аналогично п.3.2).

3.4 Оценка эффективности работы Na- катионитовой установки

Для оценки эффективности работы установки необходимо сопоставить величины жесткости исходной воды $J_{исх}$ и фильтрата J_{ϕ} .

Эффективность работы установки Ξ , % определяется по формуле :

$$\Xi = \frac{J_{исх} - J_{\phi}}{J_{исх}} * 100\%, \quad (12)$$

Количество исходной воды Q , которое можно умягчить на лабораторной установке за один фильтроцикл ,(от регенерации до регенерации):

$$Q = \frac{\Pi * D^2 * H * E}{4 J_{исх}} \text{ м}^3, \quad (13)$$

где D – внутренний диаметр фильтровальной колонки, м;
 H – толщина слоя сульфогля в фильтровальной колонке, м;
 $E = 570$ – полная обменная емкость сульфогля, мг-экв/л;
 $J_{исх}$ – общая жесткость исходной воды, мг-экв/л.

3.5 Определение расхода поваренной соли для регенерации сульфогля

Количество поваренной соли G , требуемое для регенерации сульфогля в натрий-катионитовой установке определяется по формуле:

$$G = \frac{E_1 * \Pi * D^2 * H * d_c}{4000}, \text{ кг} \quad (14)$$

где E_1 – рабочая обменная емкость катионита (сульфогля), мг-экв/л;
 $d_c = 200$ - удельный расход поваренной соли на регенерацию сульфогля, мг на 1 мг – экв рабочей обменной емкости.

Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения

Рабочая обменная емкость E_1 , определяется по формуле:

$$E_1 = a * b * E_{\text{полн}} - 0,5 q_{\text{уд}} * Ж_{\text{исх}}, \text{ мг-экв/л} \quad (15)$$

где $a = 0,8-0,85$ – коэффициент эффективности регенерации;
 $b = 0,8-0,90$ – коэффициент, учитывающий снижение обменной способности катионита;
 $q_{\text{уд}} = 4$ – удельный расход на промывку с нормативными требованиями.

3.6 Регенерация и промывка сульфогля

Для регенерации и промывки катионита необходимо произвести его взрыхление обратным током воды из водопровода по трубопроводу 7 (рис.2) в течение 15-20 минут.

После регенерации катионит отмывают от продуктов регенерации (CaCl_2 , MgCl_2) и остатков поваренной соли. Отмывка производится исходной водой из трубопровода 4 в течение 30-40 минут. Сброс продуктов регенерации осуществляется через трубопровод 6.

3.7 Оценка эффективности работы установки после регенерации

После регенерации и промывки сульфогля повторить исследования, определить эффективность умягчения и сопоставить ее с эффективностью работы установки до регенерации загрузки.

Результаты исследования работы ионообменной Na-катионитовой установки представить в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты исследования работы Na-катионитовой установки

Характеристика воды	Жесткость исходной воды мг-экв/л	Жесткость фильтрата Жф мг-экв/л		Эффективность работы установки Э, %	
		До регенерации загрузки	После регенерации загрузки	До регенерации загрузки	После регенерации загрузки

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ Н- КАТИОНИТОВОГО И ОН-АНИОНИТОВОГО ФИЛЬТРОВ

Цель работы: Ознакомиться с некоторыми способами регенерации Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтров.

Приборы, посуда и реактивы

1. Стеклянные колонки;
2. Отработанный Н-катионит;
3. Отработанный ОН-анионит;
4. Бюретка, ГОСТ 20292-74
5. Штатив;
6. Коническая колба емкостью 250 мл;
7. Плоскодонная колба емкостью 200 мл мл;
8. 0,1 н раствор NaOH;
9. Фенолфталеин (0,1% раствор).
10. HNO₃-25%
11. NH₄OH-10%
12. Хромат калия-10%
13. Нитрат серебра 0,1 н;
14. Трилон Б 0,05 н;
15. Раствор BaCl₂+ Mg Cl₂;
16. Эриохром черный Т.

Общие положения

Отработанный Н-катионитовый фильтр регенерируют тремя порциями (по 0,7 л/л набухшей смолы) 25%-ного раствора азотной кислоты, а отработанный ОН-анионитовый фильтр – тремя порциями такого же объема 10%-ного раствора аммиака.

Затем аниониты промывают двумя порциями (по 0,5 л/л набухшей смолы) дистиллированной воды.

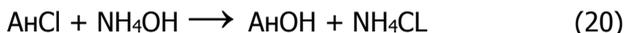
В результате реакций, протекающих при регенерации отработанного Н-катионитового фильтра, отработанный регенерационный раствор насыщается нитратами кальция, магния, натрия и азотной кислотой.



Ионный обмен и регенерация ионитов в системе промышленного водоснабжения



При регенерации отработанного ОН- анионитового фильтра отработанный регенерационный раствор насыщается сульфатом и хлоридом аммония, а также содержит свободный аммиак:



После нейтрализации отработанных регенерационных растворов соответственно аммиаком и азотной кислотой в них образуется некоторое количество NH_4NO_3 . Эти растворы можно использовать в качестве удобрений.

Ход работы

Рассчитывают объем набухшего, отработанного ионита в колонках (по высоте и площади их сечения). Он составляет 40 мл. Затем через отработанный катионит со скоростью $2\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{час})$, последовательно пропускают три порции 25%-ного раствора аммиака. Объем каждой порции регенерационного раствора составляет примерно 0,7 л/л набухшего ионита (около 28 мл). Каждую порцию собирают отдельно. В растворах, которыми регенерировали катионит, определяют кислотность, содержание ионов жесткости, а которыми регенерировали анионит-щелочность, содержание ионов SO_4^{2-} и Cl^- .

На основании полученных данных рассчитывают количество аммиака, необходимого для нейтрализации азотной кислоты в первой порции отработанного регенерационного раствора (после регенерации катионита), и количество азотной кислоты, необходимой для нейтрализации свободного аммиака в первой порции отработанного регенерационного раствора (после регенерации анионита).

Результаты опытов записывают в таблицу 4

Таблица 4 – Результаты регенерации отработанных Н-катионитовых и ОН-анионитовых фильтров

Номер порции отработанного регенерационного раствора	Показатели отработанных растворов регенерации, мг-экв/л					Рассчитанное количество для нейтрализации, мг-экв/л	
	Катионита			анионита		аммиака	азотной кислоты
	кислотность	жесткость	щелочность	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 31. 13330. 2012. Актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
2. Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений.-М.: Издательство АБВ, 2013.-288 с.
3. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. – М.: Высшая школа, 1984.- 368 с.