Краевой конкурс учебно-исследовательских и проектных работ учащихся
«Прикладные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

Проблема чистой воды и способы опреснения воды. Обработка эксперимента

Неволина М.А.,
МОУ «Лицей №1» г. Перми, 11 кл.
Леонтьева Г.В., д.х.н., проф.

Содержание работы:

Введение

1. Summary (Аннотация)
2. Литературный обзор
   2.1 Проблема чистой воды
   2.2 Способы опреснения воды
   2.3 Жесткость воды
3. Цель и задачи исследования
4. Экспериментальная часть
   4.1 Опыты

   Вывод

5. Список литературы

Введение

Две трети земного глобуса окрашено в голубой цвет. И все-таки воды на Земле не хватает. Потому что вода морей и океанов горько-соленая. Такую воду можно использовать для питья, бытовых и технических нужд только после опреснения.

Самый простой способ опреснения — кипячение. Вода переходит в пар, а соли остаются в рассоле. Если теперь водяной пар отвести в другой резервуар и там сконденсировать, мы получим пресную воду. Именно по такому принципу работает большая часть опреснительных установок во всем мире. Но такой способ требует большого расхода энергии, поэтому в тех местах, где позволяют климатические условия, в качестве источника тепла используют солнце.

Можно опреснять воду и при помощи холода. Лед из морской воды получается не простой а игольчатый: тысячи пресных ледяных иголочек собраны, как дрова в поленнице, а пустое пространство между ними заполнено рассолом. Если кусок такого льда немного оттает, камеры с рассолом вскроются, рассол вытечет, а из оставшегося пресного льда уже нетрудно получить пресную воду.

Тепло и холод хорошо использовать в стационарных опреснительных установках. Ну а как быть в аварийных ситуациях? Вот, например, корабль потерпел бедствие, и люди остались в океане без глотка пресной воды. Для таких случаев химики предложили специальные вещества — иониты. Они поглощают соли из морской воды, и вода становится пресной.

Добывают пресную воду из соленой и при помощи повышенного давления. Под большим давлением молекулы воды проходят сквозь пористую перегородку — мембрану. Соли же остаются в растворе. В технике такой процесс получил название обратный осмос

В последнее время предприняты попытки решить проблемы опреснения воды и при помощи живой природы. Удалось найти такие бактерии и водоросли, которые питаются солями морской воды. Помещенные в сосуд с соленой водой, эти бактерии или водоросли довольно быстро ее опресняют, остается лишь профильтровать полученный раствор. Чтобы опресненная вода имела привычный нам вкус, к ней добавляют небольшое количество солей.

1. Summary

This research work is devoted to the problem of pure water and methods of water desalination.

The main subject of it is deletion of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions.

The aim of the research is:

- To study the problem of purification
- To analyze theoretical material
- To make chemical experiments

To accomplish the task it was necessary:

- To study theoretical material
- To make up experiments to determine hard water and water softening
- To find out methods of water desalination and water purification methods
- To apply the theory of water purification and water desalination methods to practice

During the research water purification methods were found out and water titration of hard water was determined with the help of ion exchange to soften water.

It has become obvious that there are methods of water desalination and one of them is ion exchange which is used in this research.

In conclusion it should be noted that the objectives set in the beginning of the research have been accomplished. The method of water softening with the help of ion exchange was found.

2. Литературный обзор

2.1 Проблема чистой воды

Известно, что количество воды в природе практически неизменно. Проблемой является то, что на планете постоянно сокращаются запасы чистой питьевой воды. И это происходит при возрастающем объеме водопотребления.

Для использования в промышленности, сельском хозяйстве и быту пригодны в основном пресные воды.

Основные источники пресной (питьевой) воды — реки и пресные озера — распространены на континентах крайне неравномерно. В Европе и Азии, где проживает 70% населения, сосредоточено только 39% мировых запасов речных вод. В Европе, где проживает почти 20% населения планеты, запасы пресной воды составляют лишь 7% всех мировых запасов воды.

На планете есть территории, где катастрофически не хватает чистой питьевой воды. Так, в одном из африканских племен женщины целыми днями разгребают влажный песок, черпая ложками бурую жидкость. За день набирается всего один-два литра .

На островах южных морей для утоления жажды можно рассчитывать лишь на дождевую воду и кокосовое молоко. Нередко детям не разрешают играть в подвижные игры, потому что от этого ребенок потеет и ему больше хочется пить.

В течение длительного исторического периода в регионах с природными запасами чистой пресной воды человек в полной мере удовлетворял свои потребности в пресной воде, не ощущая в ней недостатка. Однако в связи с интенсивным ростом населения и его производственной деятельностью потребность в воде неуклонно возрастала. В настоящее время она достигла таких масштабов, что во многих местах планеты, и особенно в развитых промышленных районах, возникла острая проблема нехватки пресной воды.

Недостаток пресной воды отмечается уже сейчас во многих странах мира, его испытывает 1/3 населения планеты. Так, Гонконг, население которого около 4 млн. человек, получает воду по специальному трубопроводу из Китая. Дополнительно ее доставляют танкерами. Хронический «водный голод» испытывает Токио. Привозной водой частично обеспечивается государство Алжир. В Саудовскую Аравию чистую воду возили самолетами из Новой Зеландии. В магазинах Голландии и Японии продают чистую воду, привезенную из Норвегии.

Наряду с проблемой дефицита пресной воды во многих регионах мира остро стоит проблема чистой пресной воды. Есть сведения о том, что 1,5 млрд. людей не имеют чистой воды. Согласно же данным ВОЗ, почти 3 млрд. жителей планеты пользуются некачественной питьевой водой. По этой причине около 25% населения мира ежегодно подвергаются риску заболеть, приблизительно каждый десятый житель планеты болеет. Около 80% всех заболеваний в развивающихся странах связано с нехваткой чистой воды. Кроме того, вода является бесценным сырьем, которое невозможно заменить другим.

Учитывая все выше изложенные причины, проблема водоснабжения стала одной из важнейших в жизни и развитии человеческого общества.

Причины недостатка пресной воды в мире следующие: интенсивное увеличение потребностей в воде в связи с ростом численности населения планеты и развитием отраслей хозяйственной деятельности, требующих огромных затрат водных ресурсов; потери пресной воды вследствие сокращения водоносности рек и других причин; загрязнение водоемов сточными водами.

Потери пресной воды вследствие сокращения водоносности рек обусловлены в основном вырубкой лесов, распашкой лугов, осушением пойменных болот и т.д. Это приводит, во-первых, к усилению поверхностного стока и увеличению объема воды, стекающей в моря, и, во-вторых, к сокращению уровня грунтовых вод, питающих реки и поддерживающих их водоносность. Потери пресной воды во многих странах мира сокращают запасы подземных вод.

2.2 Способы опреснения воды

Снижение содержания солей в морской воде или солоноватых водах до уровня, при котором вода становится пригодной к использованию, называется опреснением воды.

Нормами на питьевую воду предусмотрено, что их солесодержание должно быть менее 1 г/л, и лишь по специальному решению разрешается использовать воду с солесодержанием до 1,5 г/л. Однако в ряде регионов поверхностные и подземные воды содержат больше солей. Морская вода, составляющая основной запас воды на Земле, содержит от 10 до 40 г/л солей. Для использования таких вод для питьевых целей ее подвергают опреснению.

Для многих процессов в теплоэнергетике, химии, электронике требуется вода, содержащая минимальные количества солей, вплоть до сверхчистой, которая практически их не содержит.

Существует несколько способов опреснения:

- Термический (дистилляция);
- вымораживание;
- ионообмен;
- обратный осмос;
- электродиализ;

Для опреснения засоленных вод используется термический метод, обратный осмос и электродиализ. Потребление при ионном обмене реагентов и объем отходов пропорциональны солесодержанию очищаемой воды, и поэтому его применение считается экономически оправданным при содержании солей до 2 г/л.

Термический метод позволяет опреснить воду с любым солесодержанием.

Во всем мире для опреснения морской воды наибольшее распространение получили установки обратного осмоса. Они обеспечивают получение воды с заданным высоким качеством. Лидирующее положение этого метода укрепляется по мере продолжающегося прогресса в технике изготовления мембран и дополнительного оборудования.

Для получения глубокообессоленной (деионизированной) воды используется как чисто ионообменная технология, так и ее комбинация с различными методами очистки, включающая обратный осмос. Термический метод, который ранее был обязателен для получения апирогенной воды для медицинских целей, и здесь уступил место обратному осмосу с УФ-облучением.

Термический метод опреснения воды

Старейшим методом получения опресненной воды (дистиллята) является термический метод – перегонка, дистилляция, выпарка.

Основой процесса является перевод воды в паровую фазу с последующей ее конденсацией. Для испарения воды требуется подвести, а при конденсации пара – отвести тепло фазового перехода. При образовании пара в него наряду с молекулами воды переходят и молекулы растворенных веществ в соответствии их летучестью.

Важнейшим преимуществом данного метода являются минимальные количества используемых реагентов и объем отходов, которые могут быть получены в виде твердых солей.

Тепловая и экономическая эффективность метода определяется режимом испарения и степенью рекуперации тепла фазового перехода при конденсации пара.

По характеру использования дистилляционные установки подразделяются на одноступенчатые, многоступенчатые и термокомпрессионные.

Наибольший интерес представляет использование выпарных установок в сочетании с ионообменными и реагентными схемами. В этих условиях возможно оптимизировать расход реагентов, тепла и решить как экономические, так и экологические проблемы.

Воду можно отделить от растворенных в ней солей дистилляцией (перегонкой). Этот процесс основан на том принципе, что вода представляет собой летучее вещество, а соли являются нелетучими веществами. Принцип дистилляции довольно прост, но с его промышленным использованием связано много проблем. Например, по мере выпаривания пресной воды из сосуда, в котором находится морская вода, раствор соли становится все более концентрированным, и в конце концов соль осаждается. Это приводит к образованию накипи, что в свою очередь ухудшает теплопроводность стенок сосуда, засоряет трубы и т.п.

Напрашивается такое решение этой проблемы, при котором морскую воду после дистилляции из нее некоторого количества пресной воды необходимо сбрасывать, а вместо нее набирать новую порцию морской воды. Но это следует делать аккуратно, чтобы не потерять весь запас тепла, накопленный в нагретой морской воде, и чтобы не пришлось подводить дополнительное тепло к вновь набираемой холодной морской воде. Потери тепла связаны с тепловым загрязнением окружающей среды и удорожанием процесса. Следует также учесть, что, если дистилляцию проводить при атмосферном давлении, воду надо нагревать до 100°С; при более низком давлении

температура кипения воды понижается, и, следовательно, дистилляция требует меньших тепловых затрат.

Одна из наиболее успешных попыток обойти ряд таких трудностей привела к разработке процесса многостадийной флеш-дистилляции. Эффективность работы установки многостадийной флеш-дистилляции ограничена главным образом возникновением накипи в системе циркуляции горячего рассола. Главными причинами образования накипи являются карбонат кальция и гидроксид магния. Чтобы воспрепятствовать их образованию и тем самым сделать возможной эксплуатацию системы при более высоких температурах, применяются различные добавки. Однако при высоких температурах возникает проблема, связанная с осаждением сульфата кальция.

Основная часть затрат при осуществлении любого варианта процесса дистилляции связана с большими потребностями в тепловой энергии. Для типичной установки многостадийной флеш-дистилляции стоимость пара составляет приблизительно 40% от стоимости получаемой пресной воды. В связи с этим предложено множество других способов опреснения воды, которые не связаны с необходимостью ее испарения. В одном из способов пресную воду удаляют из морской воды путем ее замораживания. При образовании льда из морской воды растворенные в ней соли не попадают в него. Однако, процесс замораживания тоже требует затрат энергии. В настоящее время проводятся испытания крупномасштабных установок по опреснению воды, в которых используется принцип замораживания.

Опреснение воды вымораживанием в искусственных условиях

В связи с продолжающимся ростом дефицита пресной воды в последнее время актуальным становится проведение исследований по разработке и усовершенствованию уже известных и поискам новых, перспективных методов опреснения соленых вод. К числу перспективных относится и искусственное вымораживание.

Энергетические и технологические преимущества метода искусственного вымораживания, а также быстрое развитие холодильной техники делают его конкурентоспособным. Поскольку вымораживающий процесс опреснения воды протекает при низких температурах, коррозионные процессы технологического оборудования установок проходят довольно медленно, поэтому возможно применение более дешевых некоррозионностойких конструкционных материалов. Кроме того, процессы опреснения не сопровождаются выпадением накипи, что также немаловажно. Эти преимущества и определяют тот большой интерес, который в настоящее время проявляется к опреснению солевых вод методом вымораживания.

Существует несколько вариантов проведения процесса вымораживания. По способу осуществления стадии кристаллизации они делятся на:

- кристаллизацию с отводом тепла от охлаждаемого раствора через теплообменные поверхности;
- кристаллизация при охлаждении раствора испарением некоторого количества воды под вакуумом;
- кристаллизация при непосредственном смешении раствора с жидким или испаряющимся хладоагентом;
- фракционное плавление предварительно замороженного раствора .

Стадии проведения процесса вымораживания: кристаллизация, сепарация полученной суспензии, промывка кристаллов льда и его расплавление.

Кристаллизацию проводят в кристаллизаторах (контактные, вакуумные, с теплообменом через стенку) . В контактных кристаллизаторах холодильный агент непосредственно смешивается с раствором. Они широко применяются для концентрирования непищевых продуктов, например, для опреснения морской воды, концентрирования и разделения химических растворов.

На стадии *сепарации кристаллической суспензии* производят отделение кристаллов льда от маточника. Эта стадия оказывает сильное влияние на эффективность процесса разделения.

Методы отделения маточника от кристаллической фазы делятся на две группы:

- основанные на механическом вытеснении маточного раствора из слоя кристаллической фазы;
- основанные на действии молекулярной или конвективной диффузии .

Методы первого рода эффективны для растворов с высокой вязкостью. В этом случае для разделения используются процессы фильтрования, центрифугирования и прессования. Методы второго рода эффективны для растворов с низким коэффициентом вязкости. Здесь используются промывные колонны. Иногда методы сепарации комбинируются. Например, центрифуга с промывной колонной или пресс с промывной колонной.

Фильтрование (нутч-фильтры, патронные фильтры, барабанные вакуум-фильтры, ленточные вакуум-фильтры, листовые фильтры, барабанные, ротационные, карусельные, многоярусные) - отделение кристаллического льда от маточника проводят через сетку, пропускающую жидкость.

Центрифугирование. Маточник под действием центробежных сил удаляют через отверстия в стенке ротора, оставляя на ней кристаллы льда (диаметр ротора 0,5-1,5 м, фактор разделения - 1000). Кристаллическая фаза затем промывается. Подбор центрифуги осуществляют с учётом физико-химических свойств суспензии (плотность, содержание твёрдой фазы в суспензии, вязкость маточника, размер кристаллов льда и др.).

Прессование. Сепарация происходит в результате сжатия суспензии льда. Суспензию загружают в цилиндр пресса и подвергают сжатию поршнем или же вращающимся шнеком. Прессы - гидравлические поршневые, винтовые, шнековые и др.

Промывка кристаллической фазы - сложный физико-химический процесс, в ходе которого растворённые вещества, находящиеся в порах твёрдой фазы извлекаются с помощью какой-либо жидкости. Современные теории процесса промывки основываются на законах диффузии и гидродинамики течения жидкости через пористые среды.

Промывная жидкость должна обладать свойствами:

- низкая вязкость
- малая летучесть паров
- химическая инертность
- высокая селективность по отношению к растворённым веществам
- не должна растворять твёрдую фазу.

Промывка по механизму действия бывает:

- фильтрационная

- диффузионная

- репульпационная

Фильтрационная происходит в основном путём вытеснения маточной жидкости промывной жидкостью. Движущая сила процесса - разность давлений над слоем и под слоем твёрдой фазы.

Диффузионная промывка происходит за счёт массообмена между промывной и маточной жидкостями. Основная движущая сила - разность концентраций между промываемыми жидкостями.

Репульпационная промывка осуществляется чередованием процессов смешения и разделения получаемой суспензии.

Процесс разделения в промывных колоннах происходит при противоточном движении жидкой и кристаллической фаз. Колонны напоминают противоточные кристаллизаторы, которые довольно широко используются для разделения бинарных или многокомпонентных расплавов на фракции, обогащении тем или иным компонентом, а также для глубокой очистки вещества от примесей.

Опреснение воды ионным обменом

Наиболее часто обессоливание воды производят ионным обменом. Это наиболее отработанный и надежный метод.

Частичное опреснение воды происходит при ее умягчении методами H-Na-катионирования, H-катионирования с голодной регенерацией, H-катионирования на слабокислотном катионите. В этих процессах происходит извлечение солей жесткости и частичная их замена на катион водорода, который разрушает бикарбонат-ионы с последующим удалением образовавшегося газа из воды. Степень обессоливания соответствует количеству удаленного $CaCO_3$.

При *глубоком опреснении* из раствора удаляются все макро- и микроэлементы, т.е. соли и примеси. Степень очистки раствора по каждому макроэлементу (катиону и аниону) зависит от их сродства к данному иониту, т.е. от расположения в рядах селективности. Подбирая иониты, степень их регенерации и количество ступеней очистки, можно добиться необходимой глубины очистки воды практически любого исходного состава.

Опреснение может проводиться в одну, две, три ступени или смешанным слоем ионитов. В каждой ступени раствор последовательно очищается сначала на катионите в Н-форме (при этом извлекаются все находящиеся в растворе катионы), а затем на аниоците в ОН-форме (при этом извлекаются находящиеся в воде анионы).

Более глубокое извлечение анионов может протекать только на сильноосновных анионитах.

Высокую степень очистки можно обеспечить в одном аппарате со смесью катионита в Н-форме и анионита в ОН-форме, т.н. *фильтре смешанного действия*. В этом случае отсутствует противоионный эффект, и из воды за один проход через слой смеси ионитов извлекаются все находящиеся в растворе ионы. Очищенный раствор имеет нейтральное pH и низкое солесодержание, примерно в 5-10 раз ниже, чем на одной ступени ионного обмена. Допускается работа с очень высокими скоростями очистки раствора, зависящими от его исходного солесодержания.

После насыщения ионитов для их регенерации смесь необходимо предварительно разделить на чистые катионит и анионит (они, как правило, имеют некоторое различие по плотности). Разделение может производиться гидродинамическим методом или путем заполнения фильтра концентрированным 18%-ным раствором щелочи.

Из-за сложности операций разделения смеси ионитов и их регенерации такие аппараты используются в основном для очистки малосоленых вод, например, контурных, для глубокой доочистки воды, обессоленной на раздельных слоях ионитов либо обратным осмосом. То есть в тех случаях, когда регенерация проводится редко, либо иониты применяют для получения сверхчистой воды с сопротивлением, близким к 18МОм/см, в энергетике и микроэлектронике – там, где никакие другие способы не могут обеспечить заданное качество.

Опреснение воды методом обратного осмоса

При опреснении воды методом обратного осмоса пресную воду отделяют от растворенных в ней солей при помощи мембраны, проницаемой для воды, но непроницаемой для солей. Для этого необходимо наличие селективной мембраны, пропускающей только воду, но задерживающей растворенные в ней вещества. Если поместить такую мембрану между рассолом и пресной водой, тенденция к выравниванию концентраций по обе стороны мембраны заставит воду проникать через мембрану в рассол. Этому процессу можно воспрепятствовать, прикладывая давление со стороны рассола. При достаточно большом давлении проникновение воды через мембрану в рассол прекратится. Давление, необходимое, чтобы воспрепятствовать просачиванию воды через мембрану в раствор, называется осмотическим. Для морской воды при нормальных условиях осмотическое давление составляет приблизительно 25 атм.

Если прикладываемое к рассолу давление превысит осмотическое, то вода будет проходить через мембрану в обратном направлении, другими словами, пресная вода будет выдавливаться из рассола через мембрану. Морскую или солоноватую воду накачивают под высоким давлением в камеры, стенки которых изготовлены из полупроницаемых мембран. При прохождении воды через мембраны локальная концентрация солей у стенки мембраны повышается, что приводит к повышению осмотического давления и уменьшению потока пресной воды. Чтобы воспрепятствовать этому, через камеру нужно непрерывно прокачивать морскую воду. Поток пресной воды через мембрану пропорционален прикладываемому давлению.

Максимальное давление, которое можно приложить к мембране, определяется ее собственными характеристиками. При слишком высоком давлении мембрана может разорваться, забиться присутствующими в воде примесями или пропускать слишком большое количество растворенных солей.

В обычных установках по опреснению воды методом обратного осмоса трубы изготавливают из пористого вещества, выложенного с внутренней стороны тонкой пленкой из ацетата целлюлозы. Ацетат целлюлозы (из которого изготовляют целлофан и основу фотографической пленки) играет роль полупроницаемой мембраны. Установка состоит из множества таких труб, уложенных параллельно друг другу. Скорость проникновения воды через мембрану довольно невелика. Например, при опреснении соленой воды из скважины, содержащей 0,5% растворенных солей, при давлении 50 атм в течение суток удается получить приблизительно 700 л пресной воды с каждого квадратного метра мембраны. Поскольку для получения большой площади поверхности необходимо очень много тонких труб, процесс обратного осмоса пока еще не используется для получения больших количеств пресной воды. Однако этот процесс представляется многообещающим, если будут разработаны улучшенные мембраны, в особенности для опреснения соленой воды из скважин. Эта вода имеет более низкую концентрацию растворенных солей по сравнению с морской водой, что позволяет проводить ее опреснение при более низких давлениях.

Уровень опреснения определяется селективностью мембран. Для обеспечения нормальной эксплуатации обратноосмотических установок необходимо, чтобы вода, подаваемая на мембраны, соответствовала определенным нормам, а именно:

Подаваемая на мембраны вода должна содержать:

- Менее 0,56 мг/л взвешенных веществ;
- Менее 2-3 мг/л коллоидных загрязнений;
- Свободного хлора менее 0,1 мг/л для композитных полиакриламидных мембран и менее 0,6-1,0 мг/л для ацетатцеллюлозных;
- Малорастворимые соли (железа, кальция, магния, стронция) в концентрациях, не вызывающих их отложение на мембранах;
- Микробиологические загрязнения должны отсутствовать;
- Температура подаваемой воды не должна превышать 35-45°С;
- pH исходной воды должен находиться в пределах 3,5-7,2 для ацетатцеллюлозных мембран и 2,5-11,0 для полиакриламидных.

Для обеспечения указанных требований необходимо обеспечить предочистку воды перед ее подачей на мембранную установку. Она

включает в себя узлы: механической фильтрации-обезжелезивания, дехлорирования, умягчения и дозирования ингибитора, обеззараживание ультрафиолетом.

Важным аспектом при расчете мембранных установок является учет температуры питающей воды. Все показатели мембран даются для температуры 25^0 С. В реальных условиях температура, как правило, существенно ниже.

Так, если например мембрана при температуре 25^0 С дает 500 л/час, то при 10^0 С производительность составляет 330 л/час, а при 5^0 С 250 л/час.

Соответственно, при расчете установки необходимо устанавливать такое количество элементов, которое обеспечит заданную производительность при снижении температуры, причем это количество может потребоваться в 2 раза больше, чем при стандартной температуре. Это существенно повышает стоимость установки. В ряде случаев, при наличии дешевого тепла, выгоднее производить предварительный подогрев питающей воды.

Опреснение воды путем электродиализа

Электродиализ - процесс мембранного разделения, в котором ионы растворенного вещества переносятся через мембрану под действием электрического поля. Движущей силой процесса является градиент электрического потенциала. Под действием электрического поля катионы перемещаются по направлению к отрицательному электроду (катоду). Анионы движутся по направлению к положительно заряженному электроду (аноду). Электрическое поле не оказывает влияния на незаряженные молекулы. При использовании проницаемых для ионов неселективных мембран можно разделять электролиты и неэлектролиты. Применяя катионообменные или анионообменные мембраны, при помощью электродиализа можно повысить или понизить концентрацию раствора электролита. Матрица анионообменной мембраны имеет катионные группы. Заряд катионов нейтрализован зарядом подвижных анионов, находящихся в порах мембраны. Анионы раствора электролита могут внедряться в матрицу мембраны и замещать первоначально присутствующие в ней анионы. Проникновению в мембрану катионов препятствуют силы отталкивания их фиксированными в матрице мембраны катионами. Аналогичным образом действуют и катионообменные мембраны, содержащие фиксированные анионные группы. В многокамерном электродиализаторе чередуется большое число (до нескольких сотен) катионообменных и анионообменных мембран, расположенных между двумя электродами. Электрический ток переносит катионы из исходного раствора в поток концентрата через

катионообменную мембрану, расположенную со стороны катода. Катионы задерживаются в этом потоке анионообменной мембраной со стороны катода. Направление движения анионов является противоположным. Они переносятся в поток концентрата через анионообменную мембрану. Со стороны анода анионы задерживаются в потоке концентрата катионообменной мембраной. Таким образом, общий результат процесса заключается в увеличении концентрации ионов в чередующихся камерах при одновременном уменьшении их концентрации в других камерах. На электродах протекает процесс электролиза. В многокамерном аппарате неизбежные непроизводительные затраты электроэнергии, обусловленные этим процессом, распределяются на большое число камер. Поэтому в расчете на единицу продукции эти затраты сводятся к минимуму.

Ионообменные мембраны, применяемые для электродиализа, должны иметь высокую электропроводность и высокую проницаемость для ионов. Кроме того, они должны обладать высокой селективностью, умеренной степенью набухания и достаточной механической прочностью. Как правило, электрическое сопротивление на единицу поверхности ионообменной мембраны находится в пределах от 2 Ом/см^2 до 10 Ом/см^2.

В растворе у поверхности мембраны всегда возникает концентрационная поляризация. При электродиализе концентрационная поляризация проявляется в большей степени, чем при баромембранных процессах. Рассмотрим явление концентрационной поляризации у поверхности катионообменной мембраны. При наложении движущей силы – разности потенциалов – катионы будут перемещаться по направлению к катоду. В процессе мембранного электролиза числа переноса ионов в мембранах существенно превосходят числа переноса ионов в растворе, поэтому поток катионов через мембрану, обусловленный разностью потенциалов, превосходит аналогичный поток в растворе. В результате концентрация катионов со стороны катода вблизи поверхности мембраны будет увеличиваться, а со стороны анода – уменьшаться. Это будет происходить до тех пор, пока в растворе со стороны катода и со стороны анода не установятся такие градиенты концентраций, при которых поток катионов в растворе за счет диффузии и за счет разности потенциалов не станет равным потоку катионов через мембрану. Таким образом, у поверхности мембраны концентрация катионов увеличивается со стороны концентрированного раствора и уменьшается со стороны разбавленного раствора. Снижение концентрации со стороны разбавленного раствора ограничивает плотность электрического тока, который может быть использован при электродиализе

Процесс электродиализа реже применяется в промышленности, чем процессы обратного осмоса и ультрафильтрации, так как применяя

электродиализ возможно удалять из раствора только ионы. Наиболее широко электродиализные установки применяются для опреснения морской воды при получении питьевой и/или технической воды. Но чаще процесс электродиализа применяют для очистки воды, содержание растворенных солей в которой составляет примерно 10 г/л. В этом случае процесс электродиализа является более экономичным по сравнению с обратным осмосом или выпариванием. При помощи электродиализа можно получать растворы солей со сравнительно высокой концентрацией. Благодаря этой особенности рассматриваемого процесса электродиализ применяется также при производстве поваренной соли и других солей из морской воды. Электродиализ применяется также для предочистки воды для теплоэнергетических установок.

Важное направление использования электродиализных установок - *очистко сточных вод*. Электродиализ применяется для обессоливания сточных вод гальванического производств (гальванических стоков). Также мембранный электролиз используется для концентрирования сточных вод, содержащих ценные компоненты (например, драгоценные металлы), перед последующим извлечением этих компонентов. По сравнению с обратным осмосом электродиализ имеет то преимущество, что позволяет использовать термически и химически более стойкие мембраны, поэтому процесс электродиализа может осуществляться при повышенных температурах, а также при очень малых или наоборот больших значениях pH раствора. Ограничением в применении электродиализа для очистки стоков *гальванического производства* является невозможность удалить незаряженные компоненты, которые также присутствуют в сточных водах.

В таблице приведено оценочное сравнение методов опреснения по трем уровням: минимальный (Мин.), максимальный (Макс.) и средний (Ср.).

Параметр	Ионный обмен	Обратный осмос	Электро-диализ	Выпарка
Надежность	Макс.	Ср.	Мин.	Макс.
Степень обессоливания	Макс.	Ср.	Мин.	Ср.
Удаление органики	Мин.	Макс.	Мин.	Ср.
Удаление микрофлоры	Мин.	Макс.	Ср.	Макс.
Удаление взвесей	Мин.	Макс.	Мин.	Макс.
Удаление растворенных газов	Мин.	Мин.	Мин.	Макс.
Требования к предподготовке	Мин.	Макс.	Макс.	Ср.
Энергозатраты	Мин.	Макс.	Макс.	Макс.
Расход реагентов	Макс.	Мин.	Мин.	Мин.
Расход питающей воды	Мин.	Макс.	Макс.	Мин.
Объем отходов	Мин.	Макс.	Ср.	Мин.
Возможность переработки отходов	Макс.	Мин.	Мин.	Макс.
Возможность сброса отходов	Мин.	Макс.	Ср.	Мин.

2.3 Жесткость воды

Подготовка питьевой воды обеспечивает удаление из нее всех веществ, потенциально опасных для здоровья. Но иногда воду приходится подвергать еще дополнительной обработке, чтобы снизить в ней концентрацию ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, которые вызывают жесткость воды. Общую жесткость воды выражают суммарной концентрацией ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}, которую вычисляют в мг-экв/л. В зависимости от содержания ионов Ca^{2+} и Mg^{2-}(в мг-экв/л) природные воды делятся на следующие категории:

до 1,5 – очень мягкая вода,
1,5-3,0 – мягкая
3,0-5,4 – средняя,
5,4-10,7 – жесткая,
Более 10,7 – очень жесткая.

Эти ионы реагируют с мылами, образуя нерастворимые вещества. Хотя при их взаимодействии с синтетическими моющими средствами не образуется нерастворимых осадков, указанные ионы неблагоприятно сказываются на эффективности действия синтетических моющих средств. Кроме того, при нагревании воды, содержащей ионы Ca^{2+} и Mg^{2+}, в водонагревательных устройствах образуются минеральные отложения (накипь). При нагревании воды, содержащей Ca^{2+} и бикарбонат-ионы, из нее выделяется часть диоксида углерода. В результате этого происходит повышение pH воды и образование нерастворимого карбоната кальция:

нагревание

Ca_2+(водн.) + $2HCO_3$- > $CaCO_3$(тв.) + CO_2(г.) + H_2O(ж.)

Твердый $CaCO_3$ покрывает поверхность водонагревательных систем и внутренние стенки чайников, что снижает их нагревательную способность. Особенно много накипи откладывается на стенках бойлеров, где вода нагревается под давлением в трубках, обвивающих печь. Образование накипи снижает эффективность теплопередачи и может привести к плавлению трубок.

Вода не всех источников питьевой воды требует умягчения. Обычно это необходимо для воды из подземных источников, где она достаточно долго соприкасается с известняком ($CaCO_3$) и другими минералами, содержащими ионы Ca^{2+}, Mg^{2-} и Fe^{2+}. Для крупномасштабного умягчения водопроводной воды применяют известково-содовый процесс. В этом процессе воду обрабатывают негашеной известью CaO или гашеной известью $Ca(OH)_2$ и содой $NaHCO_3$. Эти вещества вызывают осаждение кальция в виде CaCO3 и магния в виде Mg(OH). Роль Na_2CO_3 заключается в повышении pH воды и, если необходимо, в

обеспечении ее ионами CO_2^{2-}. Если вода уже содержит бикарбонат-ион в высокой концентрации, кальций можно удалить из нее в виде $CaCO_3$ просто путем повышения pH в результате добавления Ca(OH)2: Ca^{2+}(водн.) + $2HCO_3^-$(водн.) + [Ca^{2+}водн.) + 2OH (води.)] = $2CaCO_3$ (тв.) + 2H2O(ж.)

Количество добавляемой негашеной извести зависит только от содержания бикарбоната: 1 моль $Ca(OH)_2$ в расчете на каждые 2 моля HCO_3^-. В отсутствие бикарбоната добавление Na_2CO_3 вызывает удаление из воды ионов Ca^{2+} в виде $CaCO_3$. Сильно основной карбонат-ион также способствует повышению pH до значения, при котором происходит осаждение $Mg(OH)_2$:

Mg^{2+}(водн.) + $2CO_3^{2-}$ (водн.) + $2H_2O$(ж.) = $2HCO_3$ (водн.) +$Mg(OH)_2$ (тв.)

При проведении известково-содового процесса возникают две трудности: во-первых, большая продолжительность образования осадков $CaCO_3$ и $Mg(OH)_2$ и недостаточно хорошее их осаждение, во-вторых, слишком высокое pH полученной таким образом воды. Обычно для удаления осадков в воду добавляют квасцы $Al_2(SO_4)_3$. В основном растворе ион Al^{3-} образует желатинообразный осадок $Al(OH)_3$, при осаждении из раствора уносящий с собой тонкоизмельченные частицы твердых веществ. Чтобы предотвратить последующее осаждение оставшихся в воде $Mg(OH)_2$ и $CaCO_3$, через нее продувают CO_2. Это позволяет снизить pH воды приблизительно до 8 и тем самым приостановить дальнейшее осаждение.

3. Цель и задачи исследования

В настоящий момент, ввиду глобального и постоянного сокращения запасов пресной воды в мире, задача опреснения морской воды, очистки, водоочистки становится если не самой важной, то, во всяком случае, одной из самых значительных. Даже если провести анализ обычной водопроводной воды из городского водоснабжения, то и там можно обнаружить повышенное содержание солей и различных загрязнений. Существует множество способов опреснения воды, и на основе любого из них могут быть построены большие производственные предприятия. Проблема заключается в том, чтобы проводить опреснение с минимальной затратой энергии и минимальными расходами на оборудование. Это требование важно потому, что государство, которое вынуждено в большей мере полагаться на опресненную воду, должно выдерживать экономическую конкуренцию с другими государствами, располагающими более обильными и дешевыми источниками пресной воды. Наиболее популярным методом опреснения морской воды, очистки и водоочистки на сегодняшний день является метод обратного осмоса и опреснительные установки, использующие этот метод. Такие установки просты в использовании, их легко собрать, и – что самое главное – такие установки для опреснения морской воды не нуждаются в ТЭЦ, для их постоянной работы необходим только бесперебойный источник питания. Все это, в сочетании с высокой эффективностью, делает опреснительные установки обратного осмоса оптимальным решением проблемы получения и восстановления чистой питьевой воды. Различают частичное и полное обессоливание. Частным случаем обессоливания является опреснение, в результате которого величина солесодержания в очищенной воде не превышает 1000 мг/л.Полное обессоливание обеспечивает получение в процессе обработки воды , близкой по качеству к дистиллированной, используемой в большинстве случаев для питания барабанных и прямоточных котлов ТЭЦ, ГРЭС. Выбор метода обессоливания определяется производительностью установки, качеством исходной и очищенной воды и осуществляется на базе технико-экономического сравнения вариантов. И на основе этого были составлены задачи и цели исследования.

Конкретными задачами и целями являлись:

- Сделать анализ литературных данных по проблеме чистой воды и способов опреснения воды

- В лабораторных условиях проверить воду на наличие ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (оттитровать воду) и умягчить воду с помощью реакции ионообмена
- Составить отчет о проделанной работе

4. Экспериментальная часть

4.1 Опыты

Опыт №1 Определение жесткости исходной воды

Жесткость исходной минерализованной воды определяем титрование 0,05н раствором трилона Б. Для этого в стакан наливаем примерно 50-60 мл жесткой воды и пипеткой отбираем 10 мл воды в коническую колбу. В пробу воды добавляем 5 мл аммиачного буферного раствора (для создания определенной щелочности раствора) и 7-8 капель раствора индикатора хрома темно синего; титруем раствором трилона Б из бюретки до появления синей окраски раствора. Титрование проводим 3 раза. По результатам титрования вычисляем среднее значение объема раствора трилона Б $V_т$, пошедшего на титрование

Трилон Б в виде формулы $Na_2ЭDTA$, то реакция с ионами Ca^{2+} и Mg^{2} выражаются уравнением

$$Ca^{2+} + Na_2ЭDTA = CaЭDTA + 2Na^{-}$$

Жесткая вода

$$V_т = \frac{V1+V2+V3}{3},$$

Где V1 , V2 , V3 – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование каждой пробы, мл.

$V_т$ - средний объем трилона Б, пошедшего на титрования, мл;

V1 =1,8

V2 =1,9

V3=2,0

$V_т = \frac{1,8+1,9+2,0}{3} = 1,9$ мл

Жесткость воды определяют из соотношения

$$V_т * H_т = V_{ж.в} * H_{ж.в}$$

$$H_{ж.в} = \frac{V_т \times H_т}{V_{ж.в}},$$

Где $V_{ж.в}$ - объем жесткой воды, мл;

$Н_{ж.в}$ – нормальность жесткой воды;

$V_т$ - средний объем трилона Б, пошедшего на титрования, мл;

$Н_т$ – нормальность трилона Б ($Н_т = 0,01$)

$$Н_{ж.в} = \frac{1,9 \cdot 0,1}{10} = 0,019 \text{ н}$$

С учетом перевода единиц нормальности (г-экв/л) в единицы жесткости (мг-экв/л) жесткость воды $Ж_в$ вычисляют по формуле

$$Ж_в = \frac{VT \cdot HT \cdot 1000}{VЖв}, \text{ мг-экв/л.}$$

$Ж_э$ = 19 мг-экв/л.

Результаты титрования и расчетов заносим в таблицу

Номер титрования п/п	Объем трилона Б, пошедшего на титрование, мл	Среднее значение объема трилона Б $V_т$, мл	Среднее значение жесткости воды, мг-экв/л
1	1,8	1,9	19
2	1,9		
3	2,0		

Снег талый

При добавлении в талый снег буферного раствора и индикатора вода окрасилась в синий цвет → вода мягкая

Домашняя вода

V1 = 0,8

V2 = 0,7

V3 = 0,6

$$V_т = \frac{0,8 + 0,7 + 0,6}{3} = 0,7 \text{ мл}$$

$$Н_{ж.в} = \frac{0,7 \cdot 0,1}{10} = 0,007 \text{ н}$$

$$Ж.В = \frac{0,7 \cdot 0,1 \cdot 1000}{10} = 7 \text{ мг-экв/л}$$

Номер титрования п/п	Объем трилона Б, пошедшего на титрование, мл	Среднее значение объема трилона Б $V_{т}$, мл	Среднее значение жесткости воды, мг-экв/л
1	0,8	0,7	7
2	0,7		
3	0,6		

Вода детская

V1 = 0,5

V2 = 0,6

V3 = 0,5

$V_{т} = \frac{0,5+0,6+0,5}{3} = 0,53$ мл

$Н_{ж.в} = \frac{0,53 \cdot 0,1}{10} = 0,0053$ н

$Ж_{в} = 5,3$ мг-экв/л

Номер титрования п/п	Объем трилона Б, пошедшего на титрование, мл	Среднее значение объема трилона Б $V_{т}$, мл	Среднее значение жесткости воды, мг-экв/л
1	0,5	0,53	5,3
2	0,6		
3	0,5		

Вода из Камы

V1 =0,4

V2 =0,5

V3 = 0,5

$V_{т} = \frac{0,4+0,5+0,5}{3} = 0,46$ мл

$Н_{ж.в} = \frac{0,46 \cdot 0,1}{10} = 0,0046$ н

$Ж_{в} = 4,6$ мг-экв/л

Номер титрования п/п	Объем трилона Б, пошедшего на титрование, мл	Среднее значение объема трилона Б $V_т$, мл	Среднее значение жесткости воды, мг-экв/л
1	0,4	0,46	4,6
2	0,5		
3	0,5		

Опыт №2 Ионообменное умягчение воды

Через ионообменную колонку, заполненную катионитом КУ-2 в Na^+ - форме, пропускаем 125 мл исходной жесткой воды со скоростью 2-3 капли в секунду. Соберем умягченную воду в стакан.

При пропускании через ионообменную колонку жесткой воды происходит реакция обмена:

$$Ca^{2+} + 2NaR = CaR_2 + 2Na^+$$

После хорошего умягчения окраска индикатора сразу же может указать на отсутствие ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в растворе, при этом $Ж_{у.в} = 0$.

По разности величин жесткости воды до умягчения $Ж_в$ и после него $Ж_{у.в}$ и по объему пропущенной через колонку жесткой воды (V = 0,125 л) подсчитаем поглощенное количество ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} $a_п$ (в мг-экв/л)

$$a_п = (Ж_в - Ж_{у.в}) * V$$

где $a_п$ – поглощенное количество ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , мг-экв/л;

$Ж_в$ – жесткость воды до умягчения, мг-экв/л;

$Ж_{у.в}$ – жесткость воды после умягчения ($Ж_{у.в} = 0$)

V – объем пропущенной через колонку жесткой воды (V = 0,125 л);

$a_п = 19 * 0,125 = 2,375$ мг-экв

Вывод

Были проведены исследования, какие проблемы чистой воды существуют и пути дальнейшего решения этой проблемы. Одним из наиболее перспективных путей обеспечения пресной водой является опреснение соленых вод Мирового океана. Целесообразность данного пути подтверждается тем фактом, что 60% населения планеты живет в приморской полосе шириной 65 миль. Кроме того большие площади засушливых и малообводненных территорий примыкают к океанским берегам или находятся поблизости от них.

Таким образом, океанские и морские воды могут стать ценным источником водных ресурсов для промышленного использования. Их огромные запасы практически неисчерпаемы. Однако на современном уровне технологического развития применение технологий опреснения не везде экономически оправдано.

На основе литературного обзора узнали как проблема чистой воды решается в других странах мира. Проанализировали какие из этих способов опреснения можно использовать в промышленности, а какие нет.

Промышленное опреснение морской воды осуществляется одним из следующих методов: дистилляция, обратный осмос, электродиализ, вымораживание и ионный обмен.

Рассмотрены недостатки этих способов опреснения. По оценкам экспертов, каждая из обозначенных технологий имеет существенные недостатки, к числу которых относятся:

- значительные отложения на поверхностях теплообмена, мембран и т.п.
- большие удельные энергетические затраты
- наличие большого количества сменных материалов, комплектующих, дополнительного расхода химических реагентов
- экологическая опасность в процессе эксплуатации установок
- необходимость в высокой квалификации обслуживающего персонала.

В связи с этим актуальным остается вопрос разработки более эффективных и экологически безопасных методов опреснения морской воды.

В лаборатории использовали один из способов опреснения воды - ионообмен. Провели ионообменное умягчение воды в лабораторных условиях. С помощью этого способа опреснения в лаборатории очистили воду от ионов Ca^{2+} и Mg^{2+}. Метод, который использовали, подходит только для небольших объемов воды. При пропускании через ионообменную колонку умягчили воду. Определили жесткость различных вод и подсчитали поглощенное количество ионов Ca^{2+} и Mg^{2-}.

5. Список литературы

- Т. Браун, Г.Ю. Лемей. Химия в центре наук. Москва, Мир, 1983.
- Интернет – энциклопедия «Википедия»
- Т.С.Соколова, В.С.Колеватова «Методические указания к лабораторным работам по общей химии» , ПГТУ, Пермь, 1994