**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**

**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа ядерных технологий

Направление – Ядерные физика и технологии

Отделение ядерно-топливного цикла

Отчет по лабораторной работе №5

по дисциплине

«Методы разделения стабильных изотопов»

**Расчет электродиализного аппарата для обессоливания воды**

Вариант 6

Исполнитель:

Студент, гр. 0А8Д \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Кузьменко А.С.

подпись дата

Проверил:

Профессор ОЯТЦ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Орлов А.А.

подпись дата

Томск – 2021

**СОДЕРЖАНИЕ**

[1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ 3](#_Toc84389177)

[2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 3](#_Toc84389178)

[2.1 Введение 3](#_Toc84389179)

[3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ 12](#_Toc84389180)

[4 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ 12](#_Toc84389181)

[5 ВЫВОДЫ 14](#_Toc84389182)

**1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Расчет электродиализаторного аппарата, включающий расчет площади мембран, требуемых для обессоливания, общего количества мембран, необходимых для работы установки в заданном режиме, и определение условий электропитания электродиализной установки.

**2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

**2.1 Введение**

Принцип электродиализа как метода извлечения солей из растворов заключается в том, что при протекании через систему электрического тока возникает направленное движение ионов в растворе в соответствии со знаком их заряда. Это движение ионов прекратится, как только на аноде и катоде будет достигнут барьерный потенциал, при котором происходит нейтрализация ионами пластин анода и катода. При повышении этого напряжения ионы начнут разряжаться на контактных пластинах, при этом на катоде будут восстанавливаться ионы металлов и водорода, который в газообразном состоянии удаляется из опресняемой воды, а гидроксильные ионы с ионами натрия образуют щелочь. На аноде происходит окисление ионов Cl-, SO42-, OH- с выделением молекулярного кислорода и хлора с образованием серной и соляной кислот. Чтобы не допустить обратной реакции, вблизи анодных и катодных пластин устанавливают пористые пере-городки, через которые свободно могут проходить ионы, и организуют непрерывное удаление воды из образованных этими перегородками электродных камер, при этом из катодной камеры будет выходить щелочная вода, а из анодной – кислая. Если пространство, в котором происходит процесс электрохимического опреснения, разделено только на три камеры: анодную, рабочую и катодную, то анионы и катионы могут через перего-родки вновь проникать в рабочую камеру и тем самым снижать эффектив-ность процесса. Поэтому вместо инертных пористых перегородок устанав-ливают ионоселективные мембраны, через которые избирательно прохо-дят либо катионы, либо анионы. В этом случае процесс переноса ионов приобретает строго направленный характер. Схема такого процесса, включающая значительное количество чередующихся анионо- и катионо-обменных мембран с определенным распределением потоков, получила название многокамерного электродиализного аппарата.

Процесс электродиализного опреснения проигрывает с экономической точки зрения дистилляции и обратному осмосу, но при получении пресной воды при малых концентрациях солей он обеспечивает удовлетворительные результаты. Он остается эффективным при содержании солей в исходной воде до 1-2 г/л при производительности установки до 5000 м3/сут, так как капитальные затраты по сравнению с обратным осмосом в таких условиях на 10-20% ниже.

Механизм опреснения на электродиализной установке состоит из нескольких процессов, основным из них является перенос противоионов, который определяет электрическое движение ионов и сопровождается перемещением в результате электроосмоса некоторого количества воды. Из-за большой разницы в концентрациях солей наблюдается диффузия электролита из рассольной в обессаливающую камеру. Имеется также относительно малый, зависящий от количества ионитовых мембран электроосмотический перенос воды одноименными ионами. Результативность опреснения существенно зависит от этих процессов.

Особенностью процесса электродиализа является целенаправленный перенос ионов при воздействии на исходную воду электрическим током, позволяющий провести избирательное выделение определенных ионов. Ионообменные мембраны в соответствии с этим должны иметь высокую селективность, значительные числа переноса, обладать хорошей электрической проводимостью, химической стойкостью, механической прочностью при работе. Применяемые при электродиализе мембраны разделяются на гетерогенные, интерполярные и гомогенные.

Первые представляют сочетание тонкодисперсного порошка ионита с пластичным полимером, который фиксирует частицы иониты как систему униполярной проводимости. В интерполярных высокомолекулярный полиэлектролит совмещен с пленкообразующим полимером, и в силу межмолекулярного воздействия обеспечивается свойство униполярной проводимости. В гомогенных, силы химического взаимодействия связывают материал пленки и фиксированные ионы. При электродиализе морской и солоноватой вод, применяются как гомогенные, так и гетерогенные мембраны.

Гомогенные ионитовые мембраны по способу получения разделяют на четыре основных типа: полученные при помощи поликонденсации; изготовление методом привитой полимеризации; образованные при активации, предварительно полученных матриц, и изготовленные на основе пленкообразующих полимеров.

Гетерогенные ионитовые мембраны состоят из тонкоизмельченного ионита, впрессованного в инертный пластический материал (полиэтилен, полистирол, различные полиэфирные смолы, фенольные смолы, поливинилхлорид и синтетические каучуки) с упрочняющими сетками из нейлона, ткани неплотного плетения, шелка. Частицы ионообменной смолы имеют размеры не более 100 мкм. Электропроводность мембран обеспечивается при содержании ионообменной смолы более 65%, но это влияет на их набухание и снижение механической прочности. Повышение электропроводности и селективности гетерогенных мембран достигается обработкой их сульфирующими и нитрирующими агентами.

Электропроводность этих мембран зависит от концентрации раствора. С ее увеличением она возрастает, а селективность падает. Использование фторированных полимеров для каркасов катионитовых мембран привело к возрастанию их термической и химической стойкости.

Выбор каждой из них зависит от свойств воды, поступающей на опреснение, и производительности установки. Наиболее широкое распространение получили гетерогенные мембраны благодаря более простой технологии их получения и низкой стоимости.

Промышленные мембраны должны отличаться высокой химической, радиационной и технологической стойкостью, так как при опреснении морской и солоноватой вод агрессивные соединения, образующиеся в электродных камерах, приводят к их разрушению. Загрязнение поверхностей органическими веществами, осаждаемыми при протекании тока в электродиализаторе, требует их постоянной замены.

В многокамерных установках давление в смежных камерах различно, что обусловливает наличие гидравлической проницаемости через мембраны, которая определяется как

 (1)

где  – время;  – перепад давления между мембранами;  – количество жидкости, пропущенной мембранной;  – эффективная площадь мембраны, см2.

Разработка высокоселективных катионо- и анионопроницаемых мембран позволила создать высокопроизводительные многокамерные электродиализаторы, камеры которых образованы несколькими селективно-проницаемыми мембранами. В многокамерном процессе бесполезный расход энергии на разряд ионов не превышает 1-2%, что делает аппараты такого типа достаточно экономичными.

Также классификация мембран возможна по методам получения мембран, геометрической форму, назначению и по типу материал из которого мембраны изготовлены.

Методы получения полимерных мембран весьма разнообразны. Наиболее распространенными из них являются: формование мембран из расплавов полимеров; получение мембран из растворов полимеров способами сухого, мокрого и сухо-мокрого формования; образование полиэлектродных комплексов; образование пор в полимерах с помощью ядерных частиц и последующего выщелачивания продуктов деструкции полимера; осаждение на пористой подложке продуктов плазменной полимеризации в тлеющем разряде.

Исходя из геометрической формы, различают мембраны в виде плоских пленок; пленок цилиндрической формы, соединенных с пористой основой; покрытий, нанесенных на поверхность различного профиля, полых волокон.

По назначению различают мембраны для разделения газовых смесей и мембраны для разделения жидких смесей. Иногда в специальную группу выделяют мембраны для разделения жидких смесей методом селективного испарения отдельных компонентов. Газоразделительные мембраны могут различаться по типу проницаемости (диффузионному или фазовому), что зависит от их структуры. Мембраны для разделения жидких смесей разделяют на ультрафильтрационные, микрофильтрационные, диализные, осмотические.

В случае классификации по структуре все полимерные мембраны целесообразно разделить на монолитные и пористые. Монолитными следует считать такие мембраны, в которых отсутствуют поры постоянных размеров, а проницаемость обеспечивается системой отверстий флуктуационной природы. Для таких мембран характерна диффузионная проницаемость компонентов разделяемых систем. Пористыми мембранами являются такие, в которых существует система сквозных пор, обеспечивающая фазовую проницаемость компонентов разделяемых смесей. Поры в этих мембранах могут быть изолированными друг от друга или образовывать систему связанных между собой каналов.

Из многочисленных требований к мембранам целесообразно выделить несколько общих, характерных для всех типов мембран. Важнейшими из них являются: высокая разделяющая способность, высокая удельная производительность, инертность по отношению к компонентам разделяемой смеси, стабильность свойств во времени. Каждое из этих требований может приобретать большее или меньшее значение в каждом конкретном случае.

Разделяющая способность мембран зависит от химической природы полимера, от структуры мембраны и от состава разделяемой системы.

Удельная производительность (количество вещества, проходящее через единицу поверхности мембраны в единицу времени) является весьма важным свойством мембран, так как определяет продолжительность процесса разделения и габариты разделительных аппаратов, и обусловлена теми же причинами, что и разделяющая способность.

Инертность мембраны по отношению к компонентам разделяемой смеси определяет применимость мембраны для разделения конкретной системы с медико-биологической, санитарно-гигиенической и др. точек зрения. Кроме того она влияет на стабильность свойств мембран при эксплуатации. Понятие инертности мембран включает ее низкую сорбционную емкость по отношению к компонентам разделяемой смеси, а также отсутствие химического или физико-химического взаимодействия с компонентами.

Стабильность свойств мембран во времени является важнейшим условием при их использовании в аппаратах, предназначенных для длительной эксплуатации.

При выборе типа мембран для опреснения морской воды основное внимание должно быть обращено на фактор ионной селективности. Селективность мембран оценивается проницаемостью по отношению к ионам того же знака, что и фиксированный ион мембраны. С увеличением концентрации рассола опресняемой воды селективность, выраженная числом переноса противоионов в мембране, увеличивается. Для идеальной мембраны число переноса равно единице, а для электрохимически неактивных мембран 0,2-0,4. Под селективностью подразумевают величину, характеризующую увеличение числа переноса противоионов в системе с мембраной по отношению к его значению для свободного раствора:

 (2)

где ,  – число противоионов в системе с мембраной и для свободного раствора соответственно. Эта величина, характеризуемая числом переноса, зависит от концентрации воды по обе стороны мембраны, скорости и режима течения потока, а также плотности тока.

Число переноса – это доля тока, переносимая фиксированным ионом и выражаемая отношением значений токов, переносимых противоионами  и катионами , к значению протекающего через мембрану тока, т.е.

 (3)

Скорость движения ионов под действием потенциала  в электродиализной системе определяется как

 (4)

где  – коэффициент диффузии ионов;  – число Фарадея;  – заряд иона.

Число переноса определяется экспериментальным путем. С увеличением концентрации число переноса через мембрану уменьшается, чем объясняется сложность использования этого способа опреснения при работе на морской воде.

Способность ионитовой мембраны проводить электрический ток характеризуется ее удельной либо поверхностной электропроводимостью. В расчетах обычно используется обратная величина – удельное сопротивление.

В общем случае электропроводность равна:

 (5)

где ,  – ионная подвижность противоионов и коионов соответственно;  – удельная проводимость; ,  – значения концентраций, определяемые из системы уравнений:

 (6)

где ,  – концентрация катионов и анионов в растворе;  – концентрация ионообменных групп в мембране.

Значение ионной подвижности определяется как

 (7)

Электрическое сопротивление мембраны:

 (8)

где  – толщина мембраны, см;  – площадь мембраны, см2.

Тогда число переноса противоионов в мембране:

 (9)

Теоретическая оценка этих величин очень сложна и их значение определяется экспериментально.

Рабочий режим электродиализной опреснительной установки зависит от большого числа факторов. Во многом эффективности эксплуатации способствуют рациональное конструктивное исполнение электродиализного аппарата, свойства его мембран, схема осуществления процесса и его электрические условия, способ подачи опресняемой воды в камеры и ее отвод. При любой конструкции аппарата вода, идущая на опреснительную электродиализную установку, должна быть очищена от грубо-дисперсных и коллоидных загрязнений, а также от микроорганизмов. Особо тщательно необходимо удалять из исходной воды железо и марганец. При подготовке исходной воды, направляемой в электродиализные установки грубодисперсные и коллоидные примеси удаляются коагуляцией, отстаиванием и фильтрованием на кварцевых и антрацитных фильтрах, а для уничтожения микроорганизмов проводится процедура хлорирования. Такая обработка необходима для предотвращения образования осадков в камерах, вызывающих увеличение омического сопротивления аппарата и затрудняющих протекание воды через камеры.

Удаление железа и марганца, оседающих на катионитовых мембранах и приводящих к росту их электрического сопротивления, осуществляется обработкой воды перманганатом марганца и фильтрованием через Mn-катионитные и патронные целлюлозные фильтры. Для вод с высокой жесткостью и большим содержанием сульфатов в камерах опреснительной установки возможно выпадение осадков гипса, карбонатов кальция и гидроокиси магния. Поэтому для нормальной эксплуатации установки необходимо выдержать в рассольных камерах допустимую степень концентрирования солей или подвергать воду предварительному умягчению.

Для снижения омических потерь необходимо поддерживать в рассольных камерах аппарата максимальную концентрацию рассола, однако с увеличением концентрации рассола падает селективность мембран, что приводит к снижению коэффициента выхода по току. Практически допустимая концентрация солей в рассольных камерах должна быть в 3-4 раза выше, чем в камерах дилюатных. Для этого в прямоточных схемах необходимо поддерживать различную концентрацию по ступеням опреснения, а в циркуляционных схемах рекомендуется производить продувку рассольного тракта и подпитку опресненной водой.

Для предотвращения отложений в камерах аппарата на электролизных установках применяют подкисление раствора (до величины pH=4), производят смену полярности электродов до одного раза в сутки, а также пульсацию тока путем отключения источника питания каждые 20-30 с и с кратковременной сменой полюсов по току высокого напряжения.

**3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ**

Таблица 1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Cвх, кг/м3 | Cвых, кг/м3 | Соль | | | Расход, м3/ч | Площадь одной мембраны, см2 |
| NaCl | LiCl | KCl |
| 6 | 0,25 | 1,2·10-5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 3,2 | 18000 |

**4 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

Определена необходимая производительность по переносу соли по формуле (10):

 (10)



*D*f – в м3/ч или м3/с?

Определен молекулярный вес солей:







По формуле (11) определен средний молекулярный вес солей:

 (11)



Определено теоретическое количество перенесенной соли по формуле (12):

 (12)



Проведен расчет площади мембран, требуемой для обессоливания по формуле (12):

 (12)



Вычислено общее количество мембран, необходимых для работы установки в заданном режиме по формуле (13):

 (13)



N – целое число?

Определена сила тока, необходимая для работы электродиализного аппарата по формуле (14):

 (14)



Вычислено сопротивление системы по формуле (15):

 (15)



Рассчитано прикладываемое напряжение по формуле (16):

 (16)



По формуле (17) рассчитана потребляемая установкой мощность:

 (17)



**5 ВЫВОДЫ**

Выполнен расчет электродиализаторного аппарата, включающий расчет площади мембран, требуемых для обессоливания, общего количества мембран, необходимых для работы установки в заданном режиме, и определены условия электропитания электродиализной установки.