

пространственного разграничения мембран и увеличения скорости потока между ними в электродиализатор заложены с п а р а торы-ту рбу л из а торы.

Все соединительные трубопроводы электродиализной опреснительной установки выполняют из полиэтилена, а арматуру — из коррозионностойких материалов. Вентиляцию в помещениях электродиализных установок проектируют так же, как и в хлораторных. Если производительность установки превышает 17 м³/ч, то электросиловое оборудование и контрольно-измерительные приборы размещают в отдельном изолированном помещении.

Метод опреснения и обессоливания воды электродиализом удобен и прост в эксплуатации, он легко поддается регулированию и автоматизации. В настоящее время в СССР эксплуатируются электродиализаторы, разработанные для у д а Опреснения воды и большой производительности (3000 м³/сут и более).

Процесс разделения истинных растворов, заключающийся в фильтровании жидкости через полупроницаемые мембраны, которые пропускают растворитель (воду) и задерживают растворенные вещества (гидратированные ионы и молекулы, органические соединения), называется обратным осмосом.

Частным случаем обратного осмоса является ультрафильтрация, основанная на фильтровании водных растворов органических веществ и коллоидных растворов через более крупнопористые полупроницаемые мембраны. Схема обратного осмоса представлена на рис. 19.19.

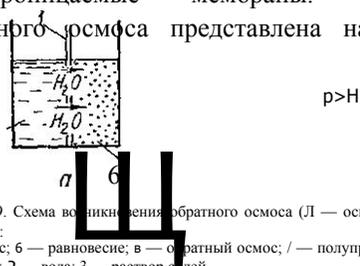


Рис. 19.19. Схема водопонижения обратного осмоса (H — осмотическое давление): а — осмос; б — равновесие; в — обратный осмос; 1 — полупроницаемая мембрана; 2 — вода; 3 — раствор солей.

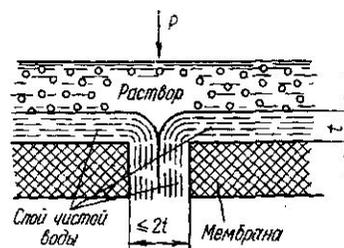


Рис. 19.20. Механизм полупроницаемости мембраны (по гипотезе Сурираджана).

Существует несколько гипотез, объясняющих процесс отделения солей от воды при ее фильтровании через полупроницаемые мембраны. Большинство экспериментальных данных свидетельствует о капиллярном течении жидкостей в набухающих мембранах. Селективность таких мембран объясняется особыми свойствами жидкостей в капиллярах. Капиллярная модель полупроницаемой мембраны хорошо объясняет снижение селективности с ростом концентрации раствора, а также изменение задерживающей способности ацетатцеллюлозных мембран в водных растворах.

Предполагают, например, что в водном растворе электролита на поверхности гидрофильной мембраны в результате отрицательной адсорбции появляется слой чистой воды, поэтому если размер пор в мембране не превышает удвоенной толщины такого слоя (рис. 19.20), через них может проходить только чистая вода.

Осмотическое давление растворов, близких по составу к природным водам, даже при небольшой степени минерализации их достаточно велико. Например, для морской воды, содержащей до 3,5 ‰ солей, оно составляет примерно 2,5 МПа.

Установки обратного осмоса просты в аппаратном оформлении, надежны и экономичны. Основными узлами этих установок являются устройства для создания давления (насосы) и разделительные ячейки с полупроницаемыми мембранами.

Отрицательно влияет на процессы обратного осмоса и ультрафильтрации образование в аппаратах осадков (соли кальция, гидроксиды железа и марганца, взвешенные вещества и высокомолекулярные соединения). Содержание взвешенных веществ в воде, поступающей в мембранные аппараты, не должно превышать 0,5 мг/л.

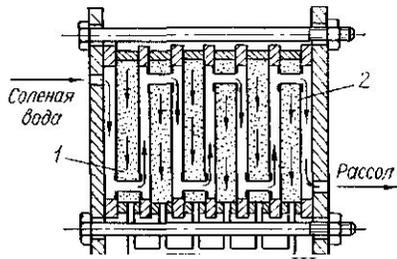


Рис. 19.21. Схема аппарата с плоскокамерными элементами.

1 — пористые пластины; 2 — мембраны.

Соленая вода ■ 1 2 3 и 5
Концентрат

Фильтрат 4 и
Пресная вода

Рис. 19.22. Схема аппарата рулонного типа: 1 — корпус; 2 — рулонный фильтрующий элемент; 3 — уплотняющее кольцо; 4 — водоотводная трубка; Б — муфта.

Мембраны изготовляют из полимерных материалов, пористого стекла, графитов, металлической фольги и др.

Отечественной промышленностью выпускаются мембраны УАМ (мембраны ультрафильтрационные ацетатные) и МГА (мембраны гиперфильтрационные ацетатные). Рядом зарубежных фирм выпускаются ацетатные мембраны типов КО-90, КО-95, КО-97, РО-98 (США), КК-94, КК-97 (Франция) и др. V

По виду мембранных элементов обратноосмотический и ультрафильтрационный аппараты делятся на плоскокамерные, рулонные, трубчатые, с полыми волокнами.

В аппаратах с плоскокамерными элементами (рис. 19.21) соленая вода опресняется при движении вдоль мембран параллельными потоками. Полезная поверхность аппарата увеличивается многокамерной укладкой мембран по типу фильтр-пресса.

Аппараты рулонного типа (рис. 19.22) состоят из корпуса 1, представляющего собой трубу длиной до 9 м диаметром 7—20 см, в которую вставляются рулонные фильтрующие элементы 2, соединенные между собой муфтами 5. Поступающая в корпус аппарата соленая вода попадает в напорные каналы фильтрующих элементов, движется вдоль их образующих, опресняется и в виде концентрата отводится. Опресненная вода направляется

по спиралевидным каналам к центру фильтрующего элемента и трубой 4 отводится из аппарата. Попадание соленой воды в зазор между фильтрующими элементами 2 и корпусом аппарата 1 предотвращается установкой уплотняющих колец 3.

На рис. 19.23 приведена схема аппарата с трубчатыми мембранами, помещаемыми внутри пористых труб из стеклопластика и способными выдерживать давление 10 МПа. Установка состоит из 100 сборок труб диаметром 13 мм и длиной 2,5 м. На первой ступени установки концентрация солей снижается с 35 до 2 г/л (давление 5,6 МПа), на второй — с 2 до 0,2 г/л (давление 3,5 МПа). Расход электроэнергии с учетом работы ре-куперационной турбины составляет 5,4 кВт • ч/м³.

Аппараты с мембранами из полых волокон (рис. 19.24) являются наиболее перспективными. Они представляют собой полимерные трубки диаметром 50—200 мкм (отношение диаметра к толщине равно 4—5), которые способны выдерживать большое давление и поэтому не требуют монтажа поддерживающих дренажных устройств. Такие волокна наматываются слоями вокруг центральной пористой трубки диаметром 120—220 мм и помещаются в напорный цилиндрический контейнер. Концы волокон закрепляются на трубке из эпоксидной смолы, образуя в торце камеру фильтрата, а концентрат, соленый отводится из корпуса контейнера.

Рис. 19.23. Схема аппарата с трубчатым креплением мембран:

1 — насос; 2 — пористая трубка; 3 — мембрана; 4 — турбина; 5 — сборник пресной воды.

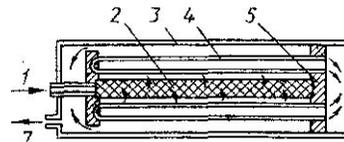


Рис. 19.24. Схема аппарата с полыми волокнами: 1 — подача исходной воды; 2 — распределительная трубка исходной воды; 3 — корпус; 4 — полые волокна; 5 — перегородка камеры фильтрата; 6 — выход фильтрата; 7 — выход концентрата.

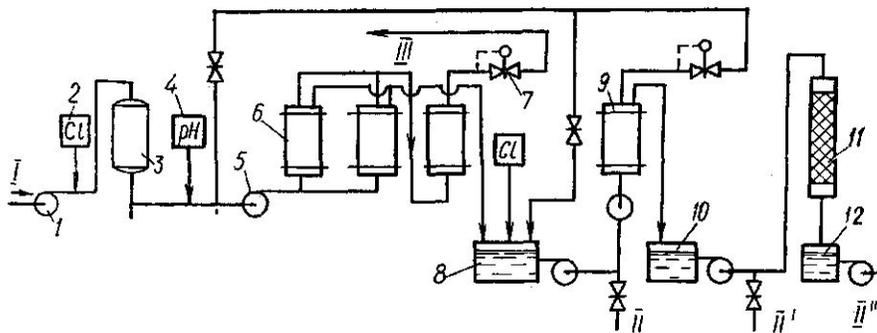


Рис. 19.25. Принципиальная схема трехступенчатой обратноосмотической установки для глубокого обессоливания воды:

1 — перекачивающий насос; 2 — хлоратор; 3 — фильтр механической очистки; 4 — подкислитель; 5 — питательный насос; 6 — обратноосмотический аппарат; 7 — регулирующий клапан; 8, 9 — сборники пресной воды; 10 — ионитовый фильтр смешанного действия; 11 — сборник глубоко обессоленной воды; 12 — исходная вода; II — пресная вода; IV — обессоленная вода; III — концентрат

Плотность размещения мембран достигает $20\ 000\ \text{м}^2/\text{м}^3$ камеры.

На рис. 19.25 представлена принципиальная схема трехступенчатой обратноосмотической установки для получения пресной и обессоленной воды.

Исходный раствор, например соленая природная вода, хлорируется и подается в высокоскоростной самоочищающийся фильтр. Очищенный раствор насосом высокого давления перекачивается в обратноосмотические аппараты первой ступени. Опресненная вода через расходомер и датчик солемера сливается в промежуточный бак, откуда часть ее подается потребителю, а другая часть направляется на дальнейшее обессоливание на вторую ступень. Фильтрат второй ступени сливается в емкость, откуда, как и после первой ступени, часть его подается потребителю, а другая часть поступает на третью ступень — фильтр смешанного действия, позволяющий получить глубоко обессоленную воду. Концентрированный раствор, выходящий из аппаратов первой ступени, либо подается на испарение, либо спускается в канализацию в зависимости от условий производства. Установка имеет узлы автоматического контроля и регулирования параметров процесса очистки.

Анализ стоимости установок в зависимости от их производительности указывает, что обратный осмос по сравнению с дистилляцией наиболее экономичен на установках производительностью до $100\ \text{тыс. м}^3/\text{сут}$, а по сравнению с электродиализом — на установках производительностью до $10\ \text{тыс. м}^3/\text{сут}$.

В ряде случаев, весьма эффективным является сочетание обратного осмоса с другими процессами. Так, например, при содержании солей в исходной воде $0,9\text{—}1,0\ \text{г/л}$ установки обратного осмоса могут применяться как предварительная ступень перед ионообменными фильтрами. Применение такой схемы для обработки добавочной питательной воды позволяет снизить себестоимость обессоленной воды на 26, а осмос солевых растворов — на 50 %.

Рабочее давление в установках по опреснению воды обратным осмосом рекомендуется поддерживать 5 МПа при опреснении вод с солесодержанием до 15 и 10 МПа — до 40 г/л (морские и океанские воды).

Ультрафильтрацию осуществляют при давлениях $0,1\text{—}0,6\ \text{МПа}$.

19.7. Опреснение воды экстракцией

Экстракция из растворов представляет собой физический метод разделения жидких смесей, основанный на неодинаковом равновесном распределении компонентов раствора между двумя фазами, образующимися при введении добавочного вещества — экстрагента.

Экстракционный процесс опреснения состоит из трех основных стадий: собственно экстракции, заключающейся в смешении исходной воды и экстрагента с последующим разделением водной и органической фаз; сепарации — отделения экстрагированной воды и рассола от растворителя предварительным раскла-

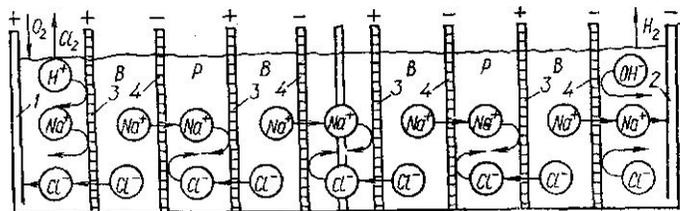


Рис. 19.15. Схема многокамерного электролизатора: В — камеры для воды; Р — камеры для рассола; 1 — анод; 2 — катод; 3 — анионоактивная мембрана; 4 — катионоактивная мембрана.

Фарадея:

$$\langle \Gamma = 26,8(C_n - C_k), \text{ где } C_n \text{ и } C_k —$$

соответственно начальная и конечная концентрации солей в воде, г-экв/л.

В обычных трехкамерных электролизаторах с пористыми диафрагмами выход по току очень низкий вследствие бесполезного переноса H^+ - и OH^- -ионов, перемещения ионов растворенных солей из электродных камер через среднюю камеру, диффузии катионов и анионов в средний объем и др. Поэтому электролиз начали использовать для опреснения воды лишь с появлением селективных мембран — анионо- и катионопроницаемых, обладающих хорошей электропроводностью и большим сопротивлением диффузии. Их применение позволило создать многокамерные электролизаторы (до 100—200 камер в одной ванне) с приемлемым для практики расходом электроэнергии.

Селективные мембраны изготовляют из ионитовых материалов — катионитов и анионитов. Такие мембраны могут быть гомогенными, гетерогенными и пропиточными. Первые целиком состоят из ионитового материала, вторые готовят из тонкоизмельченного ионита и пленкообразующего вещества, третьи получают пропиткой пористых листовых материалов веществами, способными образовывать ионообменные смолы. Электропроводность ионитовых мембран часто выражают как поверхностную электропроводность.



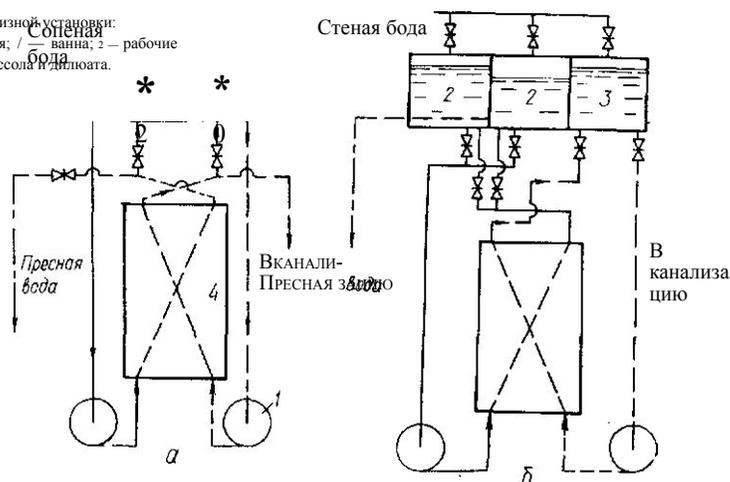
димостью (электропроводностью мембраны при фактической ее толщине и площади 1 см^2); в расчетах удобнее применять обратную величину — удельное поверхностное сопротивление. Селективность мембран характеризуют числом переноса; для идеально селективной мембраны оно равно 1. Отечественной промышленностью выпускаются катионитовые мембраны МК-40, МК-100, анионитовые МА-40, МА-100 и др.

Основным элементом электрохимической опреснительной установки является многокамерный электролизатор, обычно фильтр-прессового типа (рис. 19.15).

Каждая камера ограничена с одной стороны анионитовой, а с другой — катионитовой мембранами, разделенными рамками из диэлектрика. Чередуюсь, они используются для циркуляции опресняемой воды (диализата) и рассола, в котором накапливаются извлекаемые из воды ионы. При протекании через такую ванну постоянного электрического тока катионы растворенных в воде солей, двигаясь в камерах В в направлении катода, проходят через катионопроницаемые мембраны в камеры рассола Р, находящиеся справа. Одновременно анионы, двигаясь в камерах В в направлении анода, проходят через анионопроницаемые мембраны в камеры Р, находящиеся слева. Дальнейшему продвижению катионов препятствуют непроницаемые для них анионопроницаемые мембраны, продви-

Рис. 19.16. Схема проточной электролизной установки: а — одноступенчатой; б — многоступенчатой.

Рис. 19.17. Схема циркуляционной электродиализной установки:
 а — порционной; б — непрерывного действия; 1 — ванна; 2 — рабочие баки; 3 — баки для рассола; 4 — насосы для рассола и электролита.



жению анионов — катионпроницаемые мембраны. В результате ионы солей из воды, находящейся в камерах В, переносятся в рассольные камеры Р, где они и накапливаются.

Разделяющие мембраны рамки изготавливают из клингерита, паронита, резины, полиэтилена, поливинилхлорида или других неэлектропроводимых и негигроскопических материалов; они могут быть лабиринтового или прокладочного типа. В первых рамки снабжены извилистыми перегородками, создающими узкие каналы, по которым протекает между мембранами диализат или рассол, во вторых — рамки образуют наружные стенки камеры, а мембраны поддерживаются вкладываемыми в рамку гофрированными и пространственного плетения стенками-прокладками, которые изготавливают из диэлектриков.

Электроды, устанавливаемые в торцовых плитах, которыми сжимаются рамки и мембраны опреснительных ванн, изготавливают из материалов, стойких к окислению: платины, платинированного титана, графита, магнетита.

Метод электродиализа целесообразно применять для опреснения воды с содержанием солей от 1,5 до 15 г/л; соледержание получаемой воды не ниже 500 мг/л. В ванну можно подавать воду, содержащую не более 1,5 мг/л взвешенных веществ, 0,05 — железа и марганца, 3 — боратов (в пересчете на B_2O_3), с цветностью 20 град и окисляемостью 5 мг/л O_2 , брома не более 0,4 мг/л.

Электродиализные опреснительные установки разделяются на прямоточные и

циркуляционные. В одноступенчатых и многоступенчатых прямоточных установках (рис. 19.16) заданное опреснение воды происходит в процессе ее протекания через ячейки ванны. В циркуляционных установках опресняемая вода пропускается через ячейки ванны до тех пор, пока содержание солей в ней не снизится до заданного. Такие установки бывают порционного и непрерывного действия (рис. 19.17).

На рис. 19.18 показана схема сборки одного пакета электродиализатора. Между двумя зажимными рамами с краев располагаются электродные камеры, а между ними — отделенные рамками катионо- и анионообменные мембраны. Для

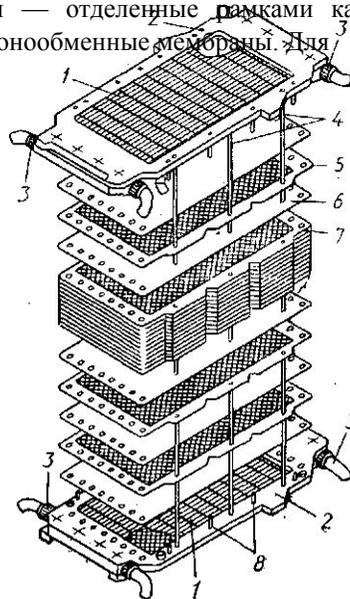


Рис. 19.18. Схема сборки одного пакета электродиализатора ЭДУ-50: 1 — рамные плиты; 2 — решетки рамной плиты; 3 — трубопроводы; 4 — фиксирующие штыри; 5 — корпусная рамка; 6 — мембрана; 7 — сетка-сепаратор; — болты.