

УДК 662.611.2:662,613,5

Демидова Н.П.,  
ОНМА

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Разработка и совершенствование всех методов обессоливания воды, особенно стремительное усовершенствование мембранных процессов, постоянно меняет соотношение стоимостей установок и очищенной воды. Кроме того, в настоящее время все большую роль играет экологичность процессов очистки воды, т.е. количество сбрасываемых в окружающую среду солей. Следует отметить, что многие положительные и отрицательные качества этих процессов зависят от солевого содержания обрабатываемой воды.

Обессоливание – полное или почти полное удаление из воды растворенных в ней солей.

В основном используют пять основных методов опреснения и обессоливания воды: термический метод (дистилляции), вымораживания, обратного осмоса, электродиализа, ионного обмена.

Термический метод подходит для воды даже с высоким уровнем солей. Дистилляция основана на изменении агрегатного состояния воды. Процесс заключается в том, что воду переводят в пар, а затем происходит конденсация пара. Немалое преимущество этого способа в использовании небольшого количества реагентов, а также возможность получения отходов в виде твердых солей.

Продуктивность выпарных опреснительных установок существенно зависит от максимальной температуры нагревания воды, которая подвергается опреснению, и степени рекуперации тепла. По характеру использования тепловой энергии и степени ее рекуперации дистилляционные установки подразделяют на одно-, многоступенчатые и паро-компрессорные.

Принципиальная схема любой дистилляционной опреснительной установки включает два теплообменника — испаритель и конденсатор с обслуживающими их трубопроводами и арматурой. Дистилляционные опреснители по основному признаку — способу испарения — делятся на испарители с постоянным давлением (кипящие) и расширительные (некипящие).

Эффективно применение многокорпусных испарителей, которые различают по типу используемой в них теплообменной аппаратуры. Современные опреснители, как правило, оснащаются тонкопленочными вертикально и горизонтально трубными аппаратами, что по-

звolyет повысить их тепловую эффективность и снизить расход энергии на осуществление процесса дистилляции.

Применяется также метод пароконпрессорной дистилляции. Он отличается от прямого выпаривания тем, что полученный водяной пар сжимается при помощи компрессора, который поднимает давление и, следовательно, температуру пара таким образом, чтобы она на несколько градусов превышала температуру исходной (соленой) воды, предварительно подогретой в теплообменнике. В этом случае пар конденсируется и превращается в опресненную воду, а его тепло используется для испарения новой порции исходной воды.

По технологии дистилляционные опреснители хорошо комплектуются с тепловыми и атомными электростанциями. Разработкой проектов атомных опреснителей занимались в США, Израиле, Греции и других странах.

Опреснять воду можно и методом вымораживания, сущность которого заключается в разделении соленой воды на две фазы на основании того, что температура замерзания соленой воды ниже, чем температура замерзания пресной. Одной из фаз являются кристаллы пресного льда, образующиеся при медленном замерзании соленой воды. В дальнейшем для получения пресной воды кристаллы льда отделяют от рассола, отмывают и расплавляют. Опреснение соленой воды можно осуществлять путем использования природного и искусственного холода.

Для обработки воды с невысоким содержанием солей целесообразно применять современные мембранные методы: ионного обмена, обратного осмоса (гиперфилтрации), электродиализа и другие.

При обессоливании воды ионным обменом пропорционально солесодержанию питательной воды растут объем ионитов и оборудования, а также расход реагентов, т.е. капитальные и эксплуатационные затраты. Даже при оптимально организованной регенерации (противоток) с минимальным избытком реагентов в сточные воды поступают извлеченные соли и использовавшиеся реагенты в количестве 1,1 – 2,0 от количества солей. Суммарное количество составляет 2,1 – 3,0. Следует учитывать, что эти соли находятся в небольшом объеме регенератов, соответственно, в высокой концентрации. Регенераты, как правило, имеют кислую реакцию и требуют дополнительной нейтрализации. Прямой сброс таких отходов запрещен. Обычно используется метод разбавления другими стоками. Эксплуа-

тационные расходы практически прямо пропорциональны солесодержанию исходной воды.

Метод обратного осмоса основан на опреснении или обессоливании воды путем фильтрации ее под высоким давлением (3-25 атм) через полупроницаемые мембраны, которые пропускают молекулы воды (и некоторых растворенных веществ), но задерживают большие по размеру ионы растворенных в воде солей. В результате прохождения через мембрану исходная вода разделяется на очищенную воду с уменьшенной концентрацией примесей и концентрат — сконцентрированный раствор примесей. Размер задерживаемых частиц определяется структурой мембраны, то есть размером ее пор. Мембранные процессы классифицируют по размерам разделяемых частиц.

Различают четыре типа мембран:

- микрофильтрационные (MF) с размером пор от 0,02 до 1,3 микрона;
- ультрафильтрационные (UF) с размером пор от 0,001 до 0,1 микрона;
- нанофильтрационные (NF) с размером пор от 0,001 до 0,05 микрона;
- гиперфильтрационные (RO-обратный осмос) с размером пор от 0,001 микрона и меньше 0,0001 микрона.

Лучше всего для подготовки питьевой воды использовать UF, NF и RO-мембраны.

В обратном осмосе производительность мембранных элементов, расход энергии и, соответственно, капитальные и эксплуатационные затраты незначительно зависят от солесодержания (см. рис. 1). При обратном осмосе количество солей в стоках близко к их количеству в питающей обратноосмотической установке воде. Дополнительным источником солей являются составы для промывки мембран обратного осмоса. Суммарное количество сбрасываемых солей пропорционально солесодержанию исходной воды и, при правильном расчете и эксплуатации обратноосмотической установки, превышает его на 5 – 15%. К сожалению, известны случаи, когда из-за неверно выбранных условий эксплуатации приходится промывать мембраны обратного осмоса столь часто, что сброс токсичных солей оказывается во много раз больше. Сбросные воды – концентрат обратного осмоса – имеют солесодержание в 2,5 – 4,0 раза большее, чем исходной воды, т.е. 1 – 2г/л, и состав, соответствующий ей. Это дает возможность сброса стоков без больших проблем.

Электродиализный метод опреснения (обессоливания) воды основан на принципе разделения солей в электрическом поле через селективные полупроницаемые ионитовые мембраны при пропуске постоянного тока через слой воды. При этом ионы движутся в соответствии со знаком их заряда: катионы – к катоду (свободно проходят через катионитовые мембраны и задерживаются анионитовыми), а анионы – к аноду (свободно проходят через анионитовые мембраны и задерживаются катионитовыми).

Если процессу электрохимического обессоливания подвергается NaCl, то в электрическом поле при пропускании постоянного тока через слой воды анионы Cl<sup>-</sup> растворенных в воде солей движутся к аноду, а катионы Na<sup>+</sup> – к катоду.

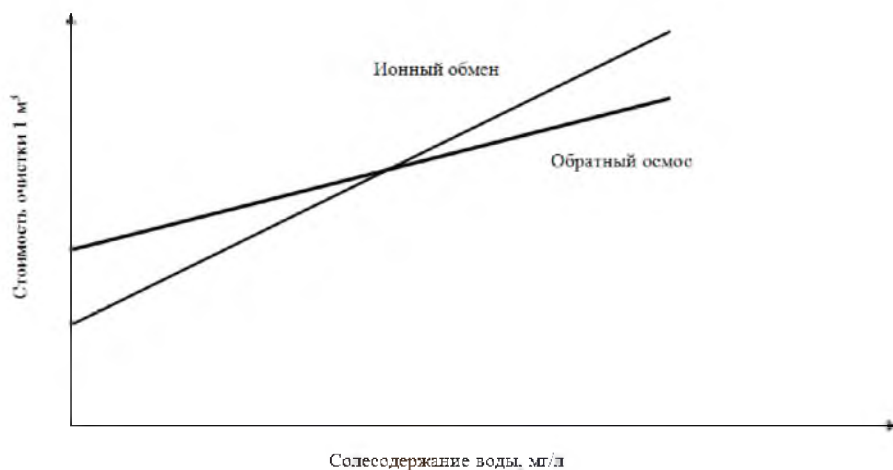


Рис. 1. Сравнение зависимости стоимости очистки воды ионным обменом и обратным осмосом от солевого содержания воды при одинаковой производительности

Сравнивая стоимость очистки воды ионным обменом и обратным осмосом, можно отметить наличие точки пересечения прямых, соответствующих каждому методу. Положение этой точки у разных авторов сильно различается: от 600 – 800 мг/л до 100 – 150 мг/л. Последнее вряд ли может соответствовать реальности. Корректно эта точка может быть определена только для заданного состава воды при сравнении реальных установок с учетом всех расходов. Так, эксплуатационные расходы при обратном осмосе существенно зависят от способа предотвращения выпадения осадков. При применении инги-

биторов их количество растет пропорционально содержанию солей жесткости. При умягчении воды ионным обменом необходимо учитывать расходы на эту операцию, которые также растут пропорционально содержанию солей жесткости в воде. Кроме того, необходимо учитывать стоимость исходной воды, расход которой при обратном осмосе примерно в 1,5 раза выше, чем при ионном обмене и выпарке воды, а также стоимость сброса отходов. Для глубокого обессоливания воды однозначно эффективнее ионный обмен.

При опреснении морской воды корректно сравнивать энергозатраты на проведение процесса. Отчетливо виден прогресс в совершенствовании дистилляции и обратного осмоса, которые в настоящее время являются основными конкурентами. Ионный обмен в этих условиях не используется.

Следует отметить преимущества каждого из методов.

*Термический метод*: минимальное количество реагентов и сброс солей в окружающую среду; высокое качество воды по взвесям; возможность получения отходов минимального объема, вплоть до сухих солей; возможность использования избыточного тепла; удаление из воды растворенных газов.

*Ионный обмен*: возможность получения сверхчистой воды; отработанность и надежность; способность работать при резко меняющихся параметрах питательной воды; минимальные капитальные и энергозатраты; меньший расход питательной воды; минимальный объем вторичных отходов, обеспечивающий возможность их переработки.

*Обратный осмос*: высокое качество воды по взвесям, биологическим и органическим загрязнениям; минимальное количество реагентов и суммарный сброс солей в окружающую среду; возможность сброса концентрата без обработки в канализацию; относительно низкие эксплуатационные затраты; отсутствие агрессивных реагентов и необходимости их обработки.

Их недостатками являются:

*Термический метод*: необходимость подготовки; большие энергозатраты; большие капитальные затраты.

*Ионный обмен*: высокий расход агрессивных реагентов; эксплуатационные расходы, растущие пропорционально солесодержанию воды; необходимость обработки регенератов и сложности с их сбросом.

*Обратный осмос*: необходимость тщательной подготовки; желательность непрерывной работы обратноосмотической установки; большие капитальные затраты; большой расход питательной воды и объем сбросных вод; большие энергозатраты.

В настоящий момент наилучшие экономические, экологические и технологические показатели имеют комбинированные схемы, когда первая стадия обессоливания воды осуществляется безреагентным методом – обратным осмосом, а глубокая доочистка воды – ионным обменом. Такая схема позволяет сократить по сравнению с «чистым» ионным обменом расход реагентов и объем солевых стоков примерно в 10 раз при максимальном качестве очистки воды. Именно такой вариант наиболее часто употребляется во всех разрабатывающихся и строящихся в Украине и за рубежом схемах получения высокочистой воды для энергетики, электроники и медицины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сурин С.М. Технологии обработки воды на морских судах: Учебное пособие. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1988. – 48с.
2. Сурин С.М., Логишев И.В., Калугин В.Н. Технологии обработки воды в судовых энергетических установках: Учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2007. – 100с.
3. Тихомиров Г.И. Технологии обработки воды на морских судах: Курс лекций: Учебное пособие для курсантов и студентов морских специальностей. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2013. – 159.