

Энергосберегающие технологии в системах обессоливания воды

* Десятерик Р.В., к.т.н.¹, Золотухин А.В.¹, Риферт В.Г., д.т.к.¹

Обессоленная вода различной степени кондиции требуется для обеспечения технологических нужд самых различных производств. Среди последних можно указать энергетическую отрасль, фармацевтику, радиоэлектронику, и большое количество других отраслей и отдельных технологических процессов, требующих обессоленной воды.

Для обессоливания воды применяют целый ряд как традиционных методов (ионный обмен, электродиализ, термическая дистилляция) так и более современные методы (обратный осмос, электродеионизация). Однако кроме технической эффективности используемых методов в современном мире все большее значение приобретает экономическая эффективность их применения в конкретных производственных условиях. Дополнительно нужно учитывать, что получение обессоленной воды на производстве далеко не всегда ограничивается применением только одного метода обессоливания, чаще всего для получения воды нужной кондиции используется технологическая цепочка, предусматривающая использование нескольких методов. Следовательно, экономичность процесса получения обессоленной воды зависит не только от особенностей каждого из применяемых методов, но и от удачного сочетания данных методов. Основным тезисом настоящей публикации является рассмотрение не самих методов обессоливания, а скорее обзор некоторых современных и эффективных технологических схем обессоливания различных вод.

Особое положение в плане энергосбережения в настоящее время занимает необходимость модернизации систем водоподготовки тепловых и атомных электростанций. Традиционно на данных объектах для получения обессоленной воды, используемой в дальнейшем в качестве теплоносителя, используются многоступенчатые системы ионообменных колонн. Данная технологическая схема успешно используется уже несколько десятков лет и зарекомендовала себя на тысячах энергетических объектов как достаточно эффективная и надежная. Однако данное технологическое решение имеет ряд недостатков. Среди основных можно выделить следующие:

1. Для регенерации ионообменных смол требуется значительное количество реагентов (кислот и щелочей). Учитывая постоянно растущие цены на химическое сырье, использование данного метода становится достаточно затратным.

2. Для обеспечения функционирования системы необходимо содержание достаточно сложного и дорогостоящего (учитывая агрессивность применяемых реагентов) реагентного хозяйства для хранения запаса реагентов и приготовления рабочих растворов.

3. После регенерации ионитных фильтров образуются значительные количества агрессивных регенерационных стоков, для нейтрализации и обработки которых необходимо содержание дополнительных очистных сооружений.

4. Процесс управления режимами работы фильтров, как правило, осуществляется в ручном режиме, что требует содержания значительного количества персонала достаточно высокой квалификации.

Более современным подходом в решении данных задач является использование технологии обратного осмоса и электродеионизации. Технология обратного осмоса позволяет извлечь из воды основное количество (около 98-99%) растворенных солей, коллоидные частицы, мелкую фракцию взвешенных веществ и т.д. Далее вода подается на электродеионизационную установку, которая позволяет получить уже глубокообессоленную воду. Применение такого комплекса сооружений позволяет:

- отказаться от использования дорогих и опасных реагентов;

- полностью автоматизировать технологический процесс. Функции персонала в данном случае сводятся к визуальному контролю за работой оборудования и ведению эксплуатационной технической документации;

- исключить образование высококонцентрированных регенерационных стоков. Стоки после установок обратного осмоса и электродеионизации имеют незначительные концентрации и в большинстве случаев могут быть сброшены в канализационную сеть либо направлены на повторное использование на иные участки производства;

- значительно сократить производственные площади под размещение системы водоподготовки;

- снизить себестоимость подготовленной воды.

Описанная технология уже успешно используется на многих энергетических объектах за рубежом. За последние годы была выполнена модернизация систем водоподготовки на нескольких электростанциях России и Украины. [1,2]

Традиционно для питания паровых котлов высокого давления используется обессоленная вода. Для котлов низкого и среднего давления такого качества воды нормативные документы не требуют, для их питания достаточно использования воды с различной степенью умягчения. Однако в последнее время в связи с повышением цен на энергетические ресурсы (в частности, газ) актуальным стало применение обессоленной воды и для питания паровых котлов низкого и среднего давления. Суть в том, что большинство современных котлов указанного класса оборудованы системой автоматики, которая обеспечивает автоматическую продувку котла по предельному содержанию солей в концентрате. Очевидно, что чем более высоким будет солесодержание питательной воды котла, тем больше будет процент продувочных вод. Поэтому при использовании обессоленной воды для котлов указанного класса Заказчик получает значительную экономию денежных средств за счет следующих факторов:

- экономия тепла за счет уменьшения количества продувочных сбросных вод;

- резкое снижение потребления хлорида натрия за счет исключения установок Na-катионирования первой ступени;

- многократное снижение сбросов регенерационных стоков после Na-катионитовых фильтров.

При этом, для обеспечения остаточной жесткости питательной воды на уровне 0,01-0,02 мг-экв/л, требуемой нормативными документами, после обессоливания вода должна подвергаться доумягчению на Na-катионитовых фильтрах и только после этого подаваться в деаэрактор. Однако, учитывая незначительное количество удаляемых на второй ступени солей жесткости и значительную величину фильтроцикла данной ступени умягчения, можно с уверенностью говорить о значительной эффективности данной технологической схемы по сравнению с традиционным двухступенчатым Na-катионированием.

Технико-экономические расчеты, выполненные при анализе водно-химического режима реальных объектов паросилового хозяйства, показывают, что окупаемость мероприятий по модернизации системы ХВО котельной составляет около 5-7 месяцев. При этом количество продувочных вод снижается с 25-30% до 0,5-1,0%, а месячное потребление хлорида натрия снижается с 18-19 тонн до 0,5-0,6 тонн.

Отдельной хозяйственной проблемой для многих предприятий являются шахтные воды, которые, как правило, имеют повышенную минерализацию. Сброс таких вод в водные объекты или углубления рельефа связан для предприятия с необходимостью уплаты крупных экологических штрафов. В тоже время существующие технологии позволяют осуществлять очистку этих вод, и даже более того, в результате этой очистки получать полезные продукты, которые могут в дальнейшем реализовываться либо использоваться на самом предприятии. [3,4]

Одна из современных технологических схем обработки шахтных вод показана рис.1. [4]

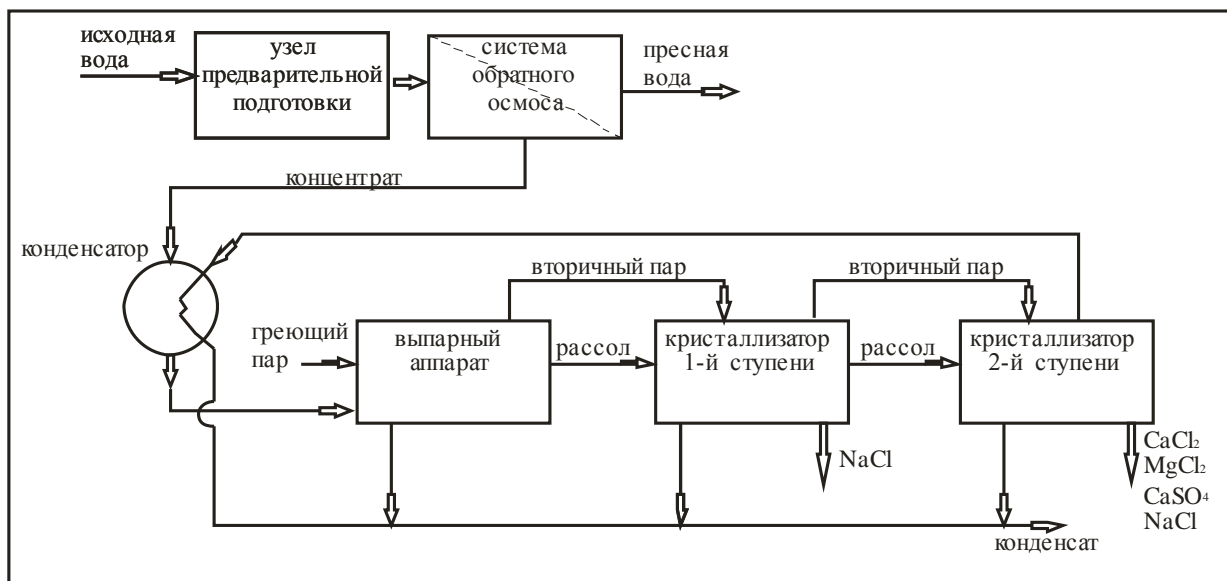


Рис. 1. Принципиальная схема системы для переработки шахтных вод.

Исходная шахтная вода изначально подается на узел предварительной очистки воды. Необходимость предварительной очистки обусловлена чувствительностью обратноосмотических мембран к различного рода загрязнениям. Комплектация данного узла может быть самой различной и определяется качеством исходной воды, конструкцией обратноосмотической системы и другими факторами. Далее вода поступает на первую ступень обессоливания – обратноосмотическую установку. На данном этапе осуществляется обессоливание воды с разделением потока на 2 части: пермеат (пресная вода) и концентрат. Пермеат обратноосмотической системы является ценным продуктом и может быть использован как для производственных целей так и для питья. Доля пермеата оставляет около 65-75% (в зависимости от качества воды и конструкции системы) от исходного потока. Концентрат обратноосмотической установки подлежит дальнейшей переработке. Для этого он направляется на вторую ступень обессоливания – выпарные аппараты, где из концентрата удаляется еще около 20-25% воды. Перед подачей на выпарные установки поток концентрата проходит через конденсатор, применение которого позволяет осуществить подогрев потока за счет теплоты конденсирующегося пара. В качестве выпарных аппаратов могут использоваться установки различных конструкций – вертикалотрубные с принудительной циркуляцией раствора и вынесенной зоной вскипания, вертикалотрубные в падающей пленкой раствора, горизонталотрубные пленочного типа. Естественно, что каждая из упомянутых конструкций дистилляторов имеет свои технологические особенности (потребление греющего пара, расход электроэнергии, др.), которые нужно учитывать при разработке технологии переработки засоленных вод. Рассол после выпарных установок последовательно подается на кристаллизаторы 1-й и 2-й ступени. В качестве кристаллизаторов используются вакуумвыпарные аппараты с принудительной циркуляцией раствора и вынесенной из теплообменных труб зоной вскипания. На первой ступени кристаллизации происходит дальнейшее упаривание рассола в отделением кристаллов хлорида натрия, на второй ступени кристаллизации осуществляется упаривание рассола до сухого остатка с получением некоторого количества пара и смеси минеральных солей.

В результате функционирования такой системы получаем следующие продукты:

1. пресная вода после системы обратного осмоса

2. дистиллированная вода после термических установок (выпарный аппарат, кристаллизаторы)
3. хлорид натрия после кристаллизатора первой ступени
4. смесь минеральных солей (хлорид и сульфат кальция, хлорида магния, сульфат кальция, частично хлорид натрия) после кристаллизатора второй ступени.

При этом три из четырех продуктов являются полезным сырьем. Пресная вода может быть использована на предприятии либо реализована на соседнее предприятие по выгодным для обеих сторон ценам. Тоже касается дистиллированной воды, которая стоит значительно дороже и может быть использована для обеспечения энергетических промышленных объектов (котельных). Соль хлорида натрия может быть использована для регенерации Нататиоитовых фильтров, существующих практически на любом предприятии, либо передана коммунальным службам для обработки дорожных покрытий в зимний период. Единственным продуктом системы, подлежащим утилизации, является смесь минеральных солей. Однако такая смесь не содержит каких-либо вредных или токсичных веществ, поэтому не требует особых условий утилизации.

Примером данной технологии могут служить опытно-промышленные установки, функционирующие в данное время в Чехии, Польше, Мексике, США и некоторых других странах. [3,4]

В качестве предварительных обоснований были выполнены технико-экономические расчеты системы переработки шахтных вод производительностью 500 м³/час для одной из шахт криворожского бассейна. Солеосодержание исходной воды находится на уровне 19 г/л. Количественные и стоимостные характеристики получаемых после такой системы продуктов приведены в табл.1.

Таблица 1.

Наименование	Ед. изм.	Кол-во за сутки	Ориентировочная рыночная стоимость ед., \$ США	Сумма прибыли за 1 год, \$ США
Вода пресная	м ³	7 920	0,55	1 589 940
Вода обессоленная	м ³	4 040	1,35	1 990 710
Хлорид натрия	т	96	93,2	3 265 728
Солевая смесь	т	89		
ИТОГО				6 846 378

Одним из наиболее распространенных и надежных методов опреснения воды является метод термической дистилляции. Несмотря на надежность указанного метода одним из его основных недостатков, в последнее время существенно сдерживающим его применение, является энергоемкость. Однако на некоторых производствах продолжают существовать отдельные технологические процессы, в которых от применения термической дистилляции отказаться пока невозможно (приготовление воды для инъекций в фармацевтике, др.). В связи с этим сохраняют свою актуальность разработки, направленные на снижение энергоемкости термических дистилляционных установок.

Для снижения расхода энергии в процессе дистилляции наибольшее распространение получили три метода:

- многоступенчатое испарение;
- сжатие пара в термическом (струйном) компрессоре;
- сжатие пара в механическом компрессоре.

Принцип действия многоступенчатой выпарной установки показан на рис. 2.

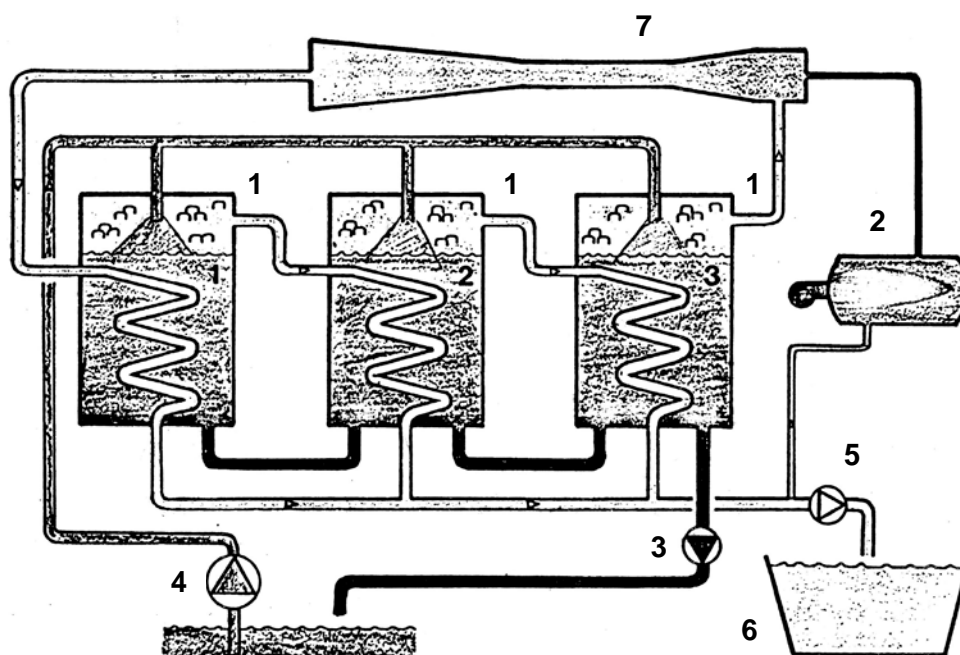


Рис. 2. Принципиальная схема многоступенчатой выпарной установки со струйным компрессором:

1 – испаритель-конденсатор, 2 – генератор пара, 3 – насос рассола, 4 – насос исходной воды, 5 – дистиллятный насос, 6 – сборник дистиллята, 7 – струйный паровой компрессор.

В 1-й ступени используется пар от внешнего источника тепла (электростанция, котельная) или пар от специального устройства – компрессора пара 7. Полученный из соленой воды пар в 1-й ступени направляется в испаритель 2-й ступени, где конденсируется внутри труб. При этом соленая вода во второй ступени испаряется, и пар из этой ступени поступает в испаритель 3-й ступени. Пар из 3-й ступени может или конденсироваться в конденсаторе, где охлаждается исходной соленой водой (на схеме не показано), или как показано на схеме направляется в специальное устройство – паровой компрессор (в данном случае струйного типа). В компрессор из специального генератора пара 2 (электрический, паровой) подается острый пар давлением в 20 раз больше, чем пар из 3-й ступени, который засасывает пар 3-й ступени и повышает его давление в 1,5-2 раза, чтобы было достаточно для осуществления рабочего процесса в 1-й ступени установки.

В трехступенчатом испарителе без парового компрессора теоретически на 1 кг греющего (внешнего) пара получается 3 кг пара из соленой воды. Применение струйного компрессора пара позволяет снизить расход внешнего пара на 20-50 %. [5] В зависимости от степени сжатия пара в компрессоре и давления острого пара.

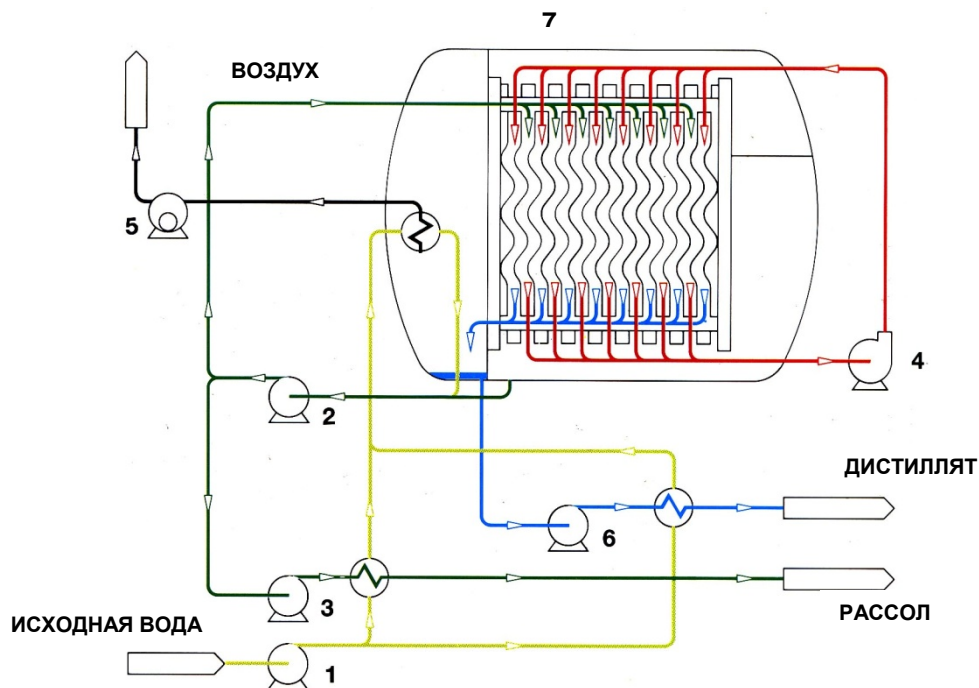


Рис. 3. Принципиальная схема многоступенчатой выпарной установки с механическим компрессором, и пластинчатым испарителем фирмы Альфа-Лаваль:
 1 – насос исходной воды, 2 – насос рециркуляции, 3 – насос рассола, 4 – механический паровой компрессор, 5 – вакуум-насос, 6 – насос дистиллята, 7 - дистиллятор.

Схема с механической компрессией пара (рис. 3) отличается от рис. 2 тем, что вместо струйного компрессора используется механический компрессор (обычно центробежный или поршневой), который сжимает пар от давления в последней ступени до давления выше, чем в первой ступени на величину, достаточную для преодоления термических и гидравлических сопротивлений, т.е. для осуществления процесса выпаривания в 1-й ступени. Таким образом, для функционирования дистиллятора такой конструкции источник внешнего пара (например, парогенератор) нужен только на начальном этапе работы установки. Удельный расход энергии в системах с механическим компрессором составляет от 10 до 20 кВт²/м. [6], дистиллят что практически совпадает с таким показателем для систем обратного осмоса в случае обессоливания воды с содержанием выше 20 ч./литр.

Дополнительным преимуществом при использовании дистиллятора с механической компрессией пара является то, что суммарная экономия денежных средств на электроэнергию и пар составляет около 30% по сравнению с традиционным многоколонным дистиллятором.

В последнее время использование дистилляторов с механической компрессией пара является перспективным направлением. Применение таких аппаратов особенно оправдано на небольших производствах, где часто отсутствует внешний пар необходимого давления, без которого обычные многоколонные дистилляторы функционировать не могут.

ВЫВОДЫ:

1. В настоящее время помимо новых технологий обессоливания воды специалистами разработаны и продолжают разрабатываться эффективные методы совместного использования указанных технологий. Модернизация существующих энергетических объектов, схемы ВПУ которых спроектированы на использовании устаревших подходов, с использованием новых достижений науки и техники позволит в значительной степени не только повысить экологическую безопасность данных объектов, но и существенно повысить экономическую

эффективность их функционирования с обеспечением минимальных сроков окупаемости вложений.

2. Внедрение эффективных современных подходов к обеспечению функционирования объектов водного хозяйства позволяет не только решить серьезные экологические проблемы, но и вывести эти объекты в ранг прибыльных путем внедрения способов эффективной переработки некоторых типов вод.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Риферт В.Г., Антонович А.В., Костюк Г.В., Лизунов В.В., Использование новых технологий водоподготовки для приготовления воды на ТЭС и АЭС. «Энергетика», Украина, 2002, № 12, стр.: 41-46.
2. Пантелеев А.А., Рябчинов Б.Е. Проектные решения водоподготовительных установок на основе мембранной технологий. «Теплоэнергетика», 2012, № 7, стр.: 30-36.
3. J.Masarczyk, C-H.Hanson, R.L.Solomon, B.Hallamans. Desalination plant at KWK Debienesko, Poland: Advanced mine drainage water treatment engineering for zero discharge. Pr 4th World Congress on Desalination and Water Reuse Kuwait. Nov. 4-8, 1989, v.8, pp. 259-287.
4. Recovering Clean Water and Pure Ammonium Alum From Uranium Mine Acid Waste in the Czech Republic. 2004 Ionics, Incorporated website: www.ionis.com.
5. M.Magdy El-Allawy. Predictive Simulation of the Performance of MED-TVC Desalination Distiller. International Desalination Association BaHO3-114, BaHreen, 2003.
6. Israel Desalination Engineering (IDE). Press Release February 15, 1983. Bulletin 109/83.