

УДК 628.164+628.165

С.П. Высоцкий, д-р техн. наук, М.В. Коновальчик, канд. техн. наук

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Рассмотрены альтернативные варианты технологий обессоливания воды с использованием ионного обмена, обратного осмоса и испарителей мгновенного вскипания. Совершенствование технологий ионного обмена реализуется за счет применения новых реагентов, схем подключения фильтров и реконструкции дренажных систем фильтров. При использовании обратноосмотической технологии обессоливания необходим выбор оптимальной конфигурации подключения корпусов обратноосмотической установки и давления исходной воды. Применение электроионитной технологии позволяет отказаться от использования реагентов.

Ключевые слова: ионный обмен, обратный осмос, испарители, затраты реагентов, конфигурация подключения, сброс стоков

Состояние проблемы

В современных технических системах широко используется обессоленная вода. Это обусловлено ее уникальными свойствами, такими как особенность физико-химических показателей, высокая теплоемкость, растворяющая способность, доступность во многих местах планеты и др.

Потребителями большого количества поверхностных вод являются предприятия энергетической, химической и металлургической отраслей промышленности. Воды используются для покрытия потерь конденсата в технологических циклах генерации энергии и для подпитки циркуляционных систем охлаждения конденсаторов турбин. На химических и металлургических предприятиях поверхностные воды используются в установках приготовления обессоленной воды для технологических нужд (растворитель и реагирующее вещество) и как теплоноситель для отвода тепла реакций.

Значительное увеличение цен на энергоносители, реагенты и стоимость их доставки, ужесточение экологических требований по сбросу засоленных стоков и появление новых технологий очистки воды вызывают необходимость пересмотра или существенной реконструкции применяемых в энергетике технологий подготовки подпиточной воды для энергетического оборудования. За последние 30 лет цены на реагенты, используемые на обессоливающих установках, выросли в десятки раз.

Цель исследования

Целью настоящего исследования является выбор более совершенных технологий обессоливания воды с учетом экономических и экологических показателей.

Изложение основного материала

Ключевыми факторами, характеризующими эффективность использования систем очистки воды, являются:

- затраты на обслуживание и ремонт. При этом учитывается стоимость материалов и реагентов, энергоносителей, электрической энергии и зарплата эксплуатационного персонала;
- затраты на переработку или на сброс сточных вод (концентрата) в поверхностные водоемы;
- эксплуатационная надежность и удобства обслуживания;

– возможность использования альтернативных, менее минерализованных, более удаленных источников водоснабжения.

При выборе технологии «перевооружения» существующих установок очистки воды в зависимости от наличия необходимых средств и экологических требований применяются следующие подходы:

– сохранение принципиальной схемы очистки воды в ионитных фильтрах с изменением вида регенеранта, реконструкцией дренажных систем фильтров и реконструкцией фильтров с переводом прямоточной технологии ионирования на противоточную;

– замена ионитной технологии на мембранно-ионитную при основной нагрузке по удалению солей в мембранных аппаратах (как правило, обратноосмотических) и более глубокой очистке пермеата в фильтрах смешанного действия или электроионитных модулях;

– использование испарительных технологий с установкой аппаратов мгновенного вскипания или адиабатных испарителей как включенных в систему регенерации паровых турбин, так и работающих отдельно без связи с системой регенерации.

В указанных технологиях система предочистки воды может быть как реагентной в осветлителях, тонкослойных отстойниках (в т. ч. «Actiflo»), так и мембранной (с использованием ультрафильтрационных аппаратов) [1, 2].

Совершенствование ионитных технологий обессоливания воды может быть реализовано с использованием следующих направлений:

– применение противоточной схемы регенерации ионитных фильтров;

– использование более дешевых реагентов для регенерации фильтров;

– реконструкция дренажных систем фильтров;

– использование более высоких скоростей ионирования.

Технология противоточной регенерации уже подробно описана в зарубежной и отечественной литературе, поэтому не рассматривается в данной работе [3, 4].

При сохранении существующих технологических схем обессоливания воды для регенерации катионитных фильтров может быть использована более дешевая, по сравнению с серной кислотой, соляная кислота. Однако это требует замены дренажных систем фильтров. Для регенерации анионитных фильтров первой ступени целесообразно использовать кальцинированную соду. Технология регенерации промышленных анионитных фильтров кальцинированной содой в 80-х годах прошлого века была реализована на обессоливающих установках Сумгаитской ТЭЦ и Рубежанского химического комбината.

На основании существующих цен на реагенты в Российской Федерации нами выполнены расчеты себестоимости обессоливания воды при использовании кальцинированной соды в качестве регенеранта фильтров первой ступени анионирования. Как известно, анионитные фильтры второй ступени, загруженные сильноосновным анионитом, необходимо регенерировать раствором едкого натра. Однако, учитывая относительно низкую концентрацию анионов слабых кислот (кремниевой и угольной), они «работают» с длительным фильтроциклом.

При включении ионитных фильтров по схеме технологических «щепочек» анионитные фильтры второй ступени регенерируются совместно с фильтрами первой ступени только один раз за 2–3 суток. В остальные периоды времени фильтры первой ступени регенерируются отдельно с использованием кальцинированной соды. Следует отметить, что на территории РФ значительное количество водоподготовительного оборудования эксплуатируется длительное время при низких температурах окружающего воздуха. Это создает ряд проблем при хранении концентрированных растворов щелочи в баках, размещенных вне обогреваемых помещений.

При использовании в качестве регенеранта анионитных фильтров первой ступени кальцинированной соды значительно сокращаются расходы на ее транспортировку (по сравнению с транспортировкой 42–44 %-ных растворов едкого натра) и отсутствуют

проблемы ее хранения. Вследствие значительного сокращения объема потребления едкого натра хранение последнего может быть осуществлено в баках, размещенных в обогреваемых помещениях химводоочисток.

Эксплуатационные затраты на реагенты при использовании кальцинированной соды в качестве регенеранта анионитных фильтров первой ступени ионирования для исходной воды с суммой анионов сильных кислот $4 \text{ мг}\cdot\text{экв}/\text{дм}^3$ (вода взята с учетом дозы коагулянта в р. Волге, в районе г. Казани) сокращаются по сравнению с использованием в качестве регенеранта только едкого натра с 10,64 до 4,06 млн руб. в год на каждые 100 т/ч обессоленной воды. Сброс засоленных стоков также сокращается в 2,54 раза с 17,73 кг·экв/сутки до 6,99 кг·экв/сутки.

Следующим направлением совершенствования ионитных технологий является повышение рабочих скоростей в ионитных фильтрах в 3–4 раза. Это позволяет существенно сократить потребность в дорогостоящих ионообменных смолах импортных поставок. В таблице 1 представлены данные, показывающие влияние скорости фильтрации на технологические параметры работы ионообменной смолы при умягчении воды [5].

Таблица 1 – Технологические характеристики работы ионитного фильтра при разных скоростях фильтрации

Линейная скорость, м/ч	Высота загрузки ионита, м	Требуемый объем загрузки, м ³	Требуемая поверхность загрузки, м ²	Диаметр фильтра, м	Рабочий цикл, дни	Расход ионита	Приведенная стоимость затрат, евро/м ³
13	2	18,16	9,1	3,4	72,3	104722	0,023
22	2	10,90	5,4	2,6	43,4	86201	0,019
33	2	7,26	3,6	2,2	28,9	76940	0,017
44	2	5,45	2,7	1,9	21,7	72309	0,016
55	2	4,36	2,2	1,7	17,4	69531	0,015
66	2	3,63	1,8	1,5	14,5	67679	0,0149
77	2	3,11	1,6	1,4	12,4	66356	0,0146
88	2	2,72	1,4	1,3	10,8	65364	0,0143
99	2	2,42	1,2	1,2	9,6	64592	0,0142

Для существенного сокращения расхода воды на отмывку ионитных фильтров от продуктов регенерации и, соответственно, расхода реагентов (так как в процессе отмывки происходит истощение ионообменной смолы) предпочтительно использовать так называемое фрактальное распределение потоков (рисунок 1). Реконструкция дренажных систем позволяет уменьшить длину работающего слоя в ионообменной смоле и существенно сократить как расход реагентов, так и улучшить качество фильтрата [6, 7].

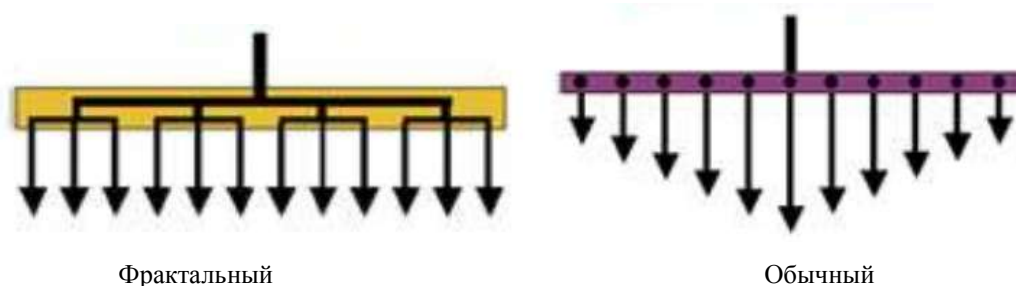
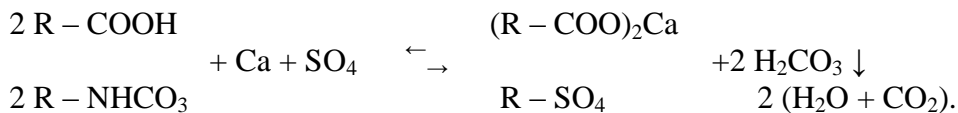


Рисунок 1 – Распределители потоков (фрактальный и обычный) [7]

Перспективными являются такие ионитные технологии, как «Десал» и «Карикс». При этом используется свойство слабокислотного (карбоксильного) катионита к ионообменному поглощению катионов, что эквивалентно щелочности исходной воды. В процессе обессоливания производится только регенерация катионитного фильтра, загруженного слабокислотным катионитом, а анионитный фильтр переводится в бикарбонатную форму за счет истощения на угольной кислоте. В процессе задействования технологии «Карикс» используется ионный обмен в одном фильтре смешанного действия, загруженном катионитом и анионитом (например, Амберлайт IRC 50 и IRA 458 Cl) [7]. Процесс обессоливания воды протекает по схеме:



Следующим направлением сокращения сбросов засоленных стоков и снижения затрат на обессоливание воды является применение мембранных (обратноосмотических) технологий.

Во время эксплуатации мембранные аппараты необходимо использовать с одной стороны интенсивно, для возмещения капитальных расходов, а с другой – квалифицировано, во избежание потери его важных технических характеристик. Для этого необходимо учитывать целый ряд факторов, от которых зависит производительность и долговечность эксплуатации мембранных установок.

Одной из эффективных возможностей оптимизации работы мембранного элемента является оптимизация давления воды, которая поступает на очистку. В [8] установлена зависимость удельной производительности мембран от давления воды, которая поступает на обессоливание, и от ее температуры. Предложен метод определения оптимального давления воды, которая поступает на обессоливание, с учетом стоимости электроэнергии и обратноосмотических аппаратов. Оптимальное давление воды обеспечит экономию электроэнергии и значительно продлит срок службы мембранных элементов. Основной действующей силой обратноосмотического обессоливания является давление исходной воды. По аналогии с уравнением Вагелера-Ленгмюра [9], для описания емкости поглощения ионообменных смол применяется составленная нами модель зависимости производительности мембранного элемента от давления исходной воды (рисунок 2). Исследования проводились на мембранных элементах фирмы «Filmtec».

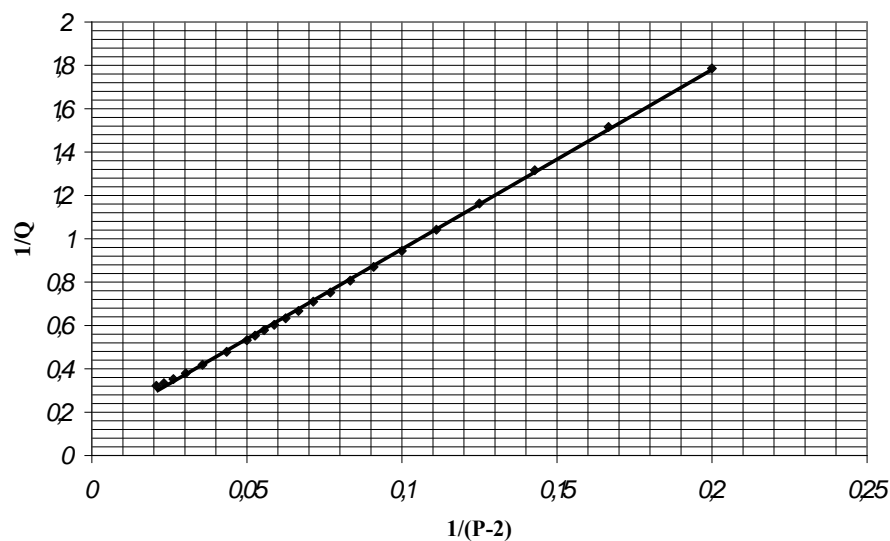


Рисунок 2 – Зависимость производительности от давления воды, которая поступает на очистку, для рулонных мембранных элементов фирмы «Filmtec»

Вышеприведенная графическая зависимость имеет вид уравнения

$$Q = \frac{8,10 \cdot (P - \varphi)}{67,3 + (P - \varphi)}, \quad (1)$$

где Q – производительность мембранного элемента, м³/ч;

P – давление воды, которая поступает на обработку, бар;

φ – осмотическое давление, бар ($\varphi = 2$ бар для мембранных элементов фирмы «Filmtec» при минерализации исходной воды 1500 мг/кг).

Мембранные элементы в обратноосмотической установке могут быть собраны по разным схемам и конфигурациям, как уже отмечалось в [10]. Например, при обессоливании солоноватых вод с содержанием до 2 г/л мембраны могут быть соединены в несколько корпусов, соединенных параллельно (для увеличения производительности оборудования) и последовательно (для увеличения выхода обессоленной воды – пермеата). На рисунке 3 показаны разные схемы подключения мембранных аппаратов и возможность быстрого перехода к другой конфигурации.

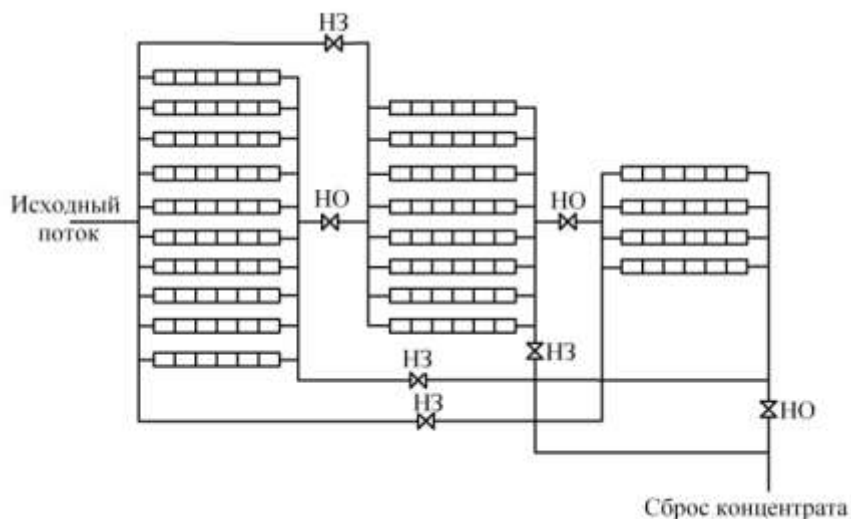


Рисунок 3 – Переход от трехступенчатой схемы включения к двухступенчатой.

НЗ, НО – нормально закрытые и открытые клапаны

Очевидно, что в случае обессоливания высокоминерализованных вод последовательное соединение обратноосмотических элементов по концентрату вызовет как ухудшение качества пермеата, так и опасность загрязнения последних по ходу концентрата мембранных элементов и потерю служебных характеристик мембран. Пользуясь программами «ROSA» (анализ системы обратного осмоса), разработанных компанией «Dow Chemical», были выполнены расчеты эффективности работы установок с разными конфигурациями подключения мембранных аппаратов при обессоливании шахтной воды.

Для обратноосмотического оборудования доля общего выхода обессоленной воды связана с выходом на каждом элементе следующим образом:

$$1 - (1 - \alpha)^n = r, \quad (2)$$

где α – доля выхода пермеата на отдельном мембранном элементе;

r – доля выхода пермеата по всей установке.

При этом допущено, что α есть постоянная величина, то есть мало изменяется по мере обессоливания воды. Таким образом, взаимная связь между « α » и « r » описывается уравнением:

$$(1 - \alpha)^n = (1 - r), \quad (3)$$

$$\alpha = 1 - (1 - r)^{1/n}. \quad (4)$$

Например, при $n = 12$ и $r = 0,75$, $\alpha = 0,11$.

Средневзвешенный выход на один элемент составляет 0,15, при этом необходимое количество ступеней обессоливания составляет:

$$n = \frac{\ln(1 - r)}{\ln(1 - \alpha)}. \quad (5)$$

Для выхода пермеата $r = 0,75$, $n = \frac{1,386}{0,162} \approx 8$ ступеней.

Расчеты технологических параметров работы обратноосмотических установок показали, что при одинаковом давлении поступающей воды и одинаковом количестве корпусов изменение конфигурации подключения позволяет в значительной мере увеличить расход обессоленной воды – пермеата (таблицы 1, 2) [10].

Таблица 1 – Технологические параметры установок разной конфигурации при неизменном давлении

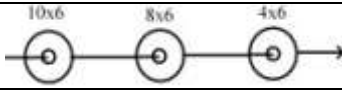
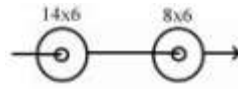
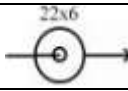
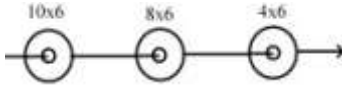
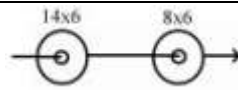
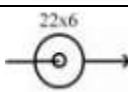
Конфигурация подключения корпусов мембранных элементов	Расход поступающей воды, м ³ /ч	Расход пермеата, м ³ /ч	Выход пермеата, %	Среднее солесодержание пермеата, мг/л	Давление исходной воды, бар	Затраты электроэнергии, кВт·ч/м ³
	172	132	76	21,58	14,5	0,62
	202	151	70	17,31	14,5	0,68
	283	171	60	14,9	14,5	0,78

Таблица 2 – Технологические параметры установок разной конфигурации при неизменном расходе входного потока и выхода потока пермеата

Конфигурация подключения корпусов мембранных элементов	Расход поступающей воды, м ³ /ч	Расход пермеата, м ³ /ч	Выход пермеата, %	Среднее солесодержание пермеата, мг/л	Давление исходной воды, бар	Затраты электроэнергии, кВт·ч/м ³
	150	112,5	75	23,48	12,57	0,55
	150	112,5	75	23,50	10,78	0,47
	150	112,5	75	24,69	9,79	0,43

При этом при переходе от трехступенчатой схемы обессоливания воды (по ходу концентрата) к одноступенчатой снижается выход пермеата с 76 до 60 % и его солесодер-

жание, а общий расход пермеата увеличивается в 1,3 раза. При двухступенчатой схеме включения мембранных аппаратов наблюдается наиболее полная и равномерно распределенная нагрузка на отдельные элементы (выход на каждый элемент).

При неизменном расходе поступающей воды и выходе пермеата переход с трехступенчатой схемы подключения корпусов на одноступенчатую позволяет уменьшить давление поступающей воды приблизительно с 13 до 10 бар и затраты электроэнергии с 0,55 до 0,43 кВт·ч/м³ (таблица 2) [10].

Известно, что мембраны обратнoсмотических аппаратов имеют различную селективность по отношению к одно- и двухзарядным ионам. Значительный практический интерес представляет определение проницаемости мембран по отношению к ионам различной валентности при изменении конфигурации подключения обратнoсмотических аппаратов.

Степень удаления ионов характеризуется соотношением концентрации солей в обессоленной и исходных водах – C/C_0 . Соотношение C/C_0 для ионов натрия и хлора равны 0,022 и 0,024, а для двухвалентных ионов: кальция, магния и сульфатов это соотношение равно 0,0081, 0,0082 и 0,0088. Таким образом, коэффициент селективности по отношению к двухвалентным ионам больше, чем к одновалентным примерно в 4 раза. При этом в [11] уже отмечалось, что коэффициенты селективности по катионам и анионам имеют близкие значения, соответственно для одно- и двухзарядных ионов, и равны 0,98 и 0,99, т. е. имеют высокие значения.

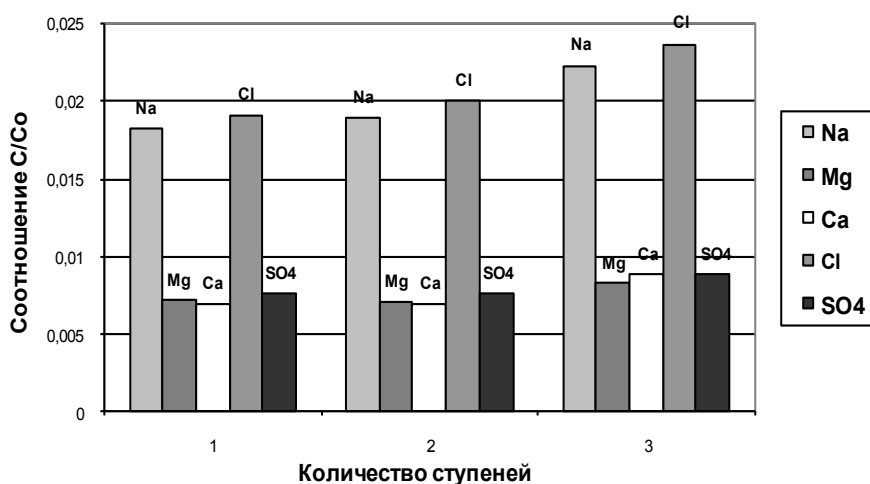


Рисунок 4 – Диаграмма соотношения C/C_0 для разных конфигураций включения мембранных аппаратов

Изменение конфигурации подключения корпусов обратнoсмотических аппаратов позволяет гибко регулировать производительность оборудования за счет изменения выхода пермеата. При этом при одинаковой производительности можно достичь значительной экономии электрической энергии.

Изменение конфигурации подключения корпусов дает возможность управлять качеством пермеата. Наиболее целесообразно использовать двухступенчатую схему включения мембранных аппаратов, при которой достигаются наилучшие показатели пермеата по сравнению с другими схемами.

При обессоливании воды с минерализацией 2 г/л оптимальная конфигурация подключения мембранных аппаратов может быть выполнена следующим образом: $n \times 6/0,6n \times 6$ или $1,5(n \times 4/0,6n \times 4)$ для одинаковой производительности оборудования (n – количество корпусов аппаратов). Оптимальное давление поступающей воды при современных ценах на электроэнергию и на мембранные аппараты составляет приблизительно 14 бар [10, 11].

В последние годы в практике водоподготовки во многих странах, особенно в США,

используется технология электроионитной или непрерывной электродеионизации воды, которая позволяет практически полностью отказаться от использования реагентов. Первая промышленная установка непрерывной электродеионизации воды была представлена в 1987 году фирмой «Millipore» [12]. С тех пор многие компании изготавливают различные варианты этой системы. Во всех установках непрерывной электродеионизации воды используются катионо- и анионоселективные мембраны, образующие ячейки, в которых ионы удаляются из исходной воды под воздействием электрического поля (рисунок 5). Указанные ионы собираются и удаляются из системы очистки через ячейки концентрата, последние чередуются с ячейками очистки воды. Ячейки обессоливания заполняются ионообменной смолой. В некоторых системах ячейки концентрата также заполняются смолой.

В отдельных системах используются смешанные слои катионита и анионита при различной геометрии ячеек. В большинстве систем непрерывной электродеионизации воды используются плоскорамные конструкции, хотя в некоторых системах используется спиральная конфигурация аппаратов [12, 13].

Использование электроионитных технологий обессоливания воды позволяет практически полностью исключить потребление реагентов. Однако область их применения ограничивается относительно небольшими (до 100 т/ч) расходами обрабатываемой воды.

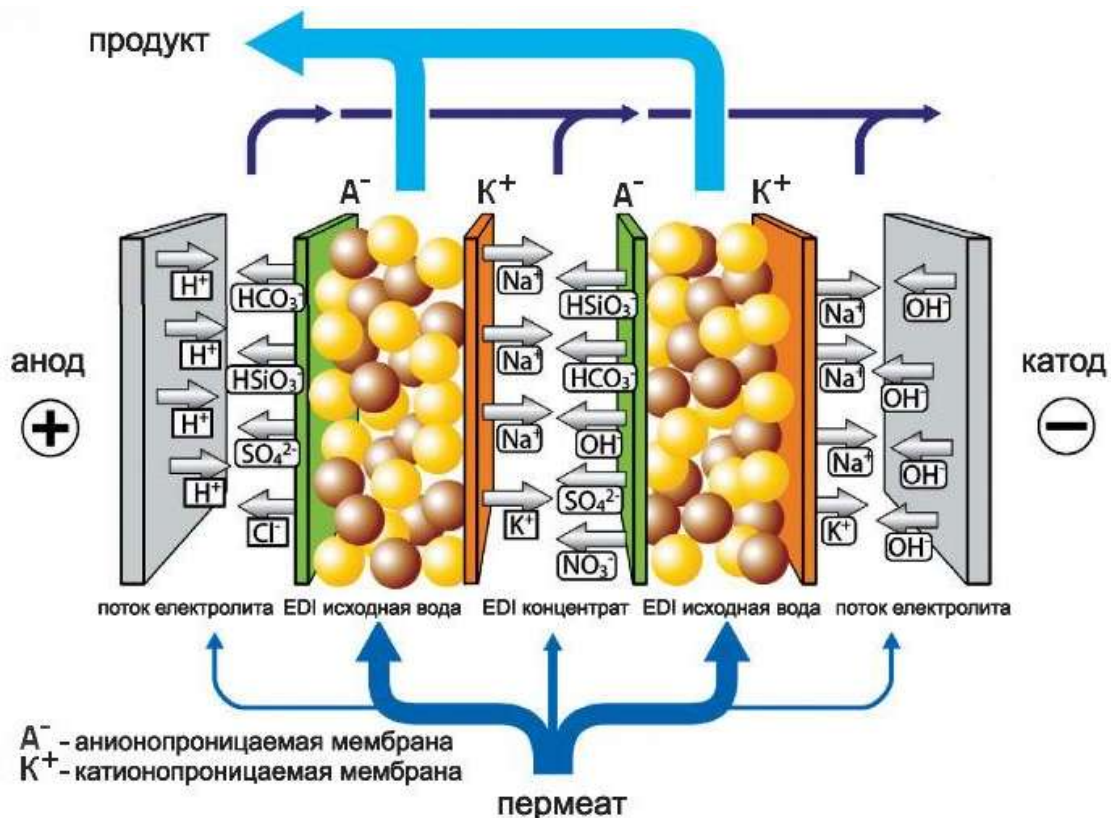


Рисунок 5 – Общая схема обессоливания воды в процессе электроионитной технологии [14]

Основным недостатком технологии обессоливания воды в обратноосмотических аппаратах является относительно большой расход воды на собственные нужды, достигающий примерно 25 % от количества обрабатываемой воды. В этом плане выигрышными являются испарительные методы водоподготовки [14]. Предпочтительными технологиями являются испарители мгновенного вскипания (ИМВ) особенно для ТЭС и АЭС (рисунок 6). ИМВ имеют горизонтальное и вертикальное расположение отдельных ступеней. Вертикальное расположение ступеней испарения позволяет обеспечить достаточно компактное размещение аппаратов, что дает возможность их установки рядом с турбоагрегатами с включением в

систему регенеративного подогрева конденсата. Эта схема включения обеспечивает утилизацию скрытой теплоты парообразования и называется включением «без энергетических потерь».

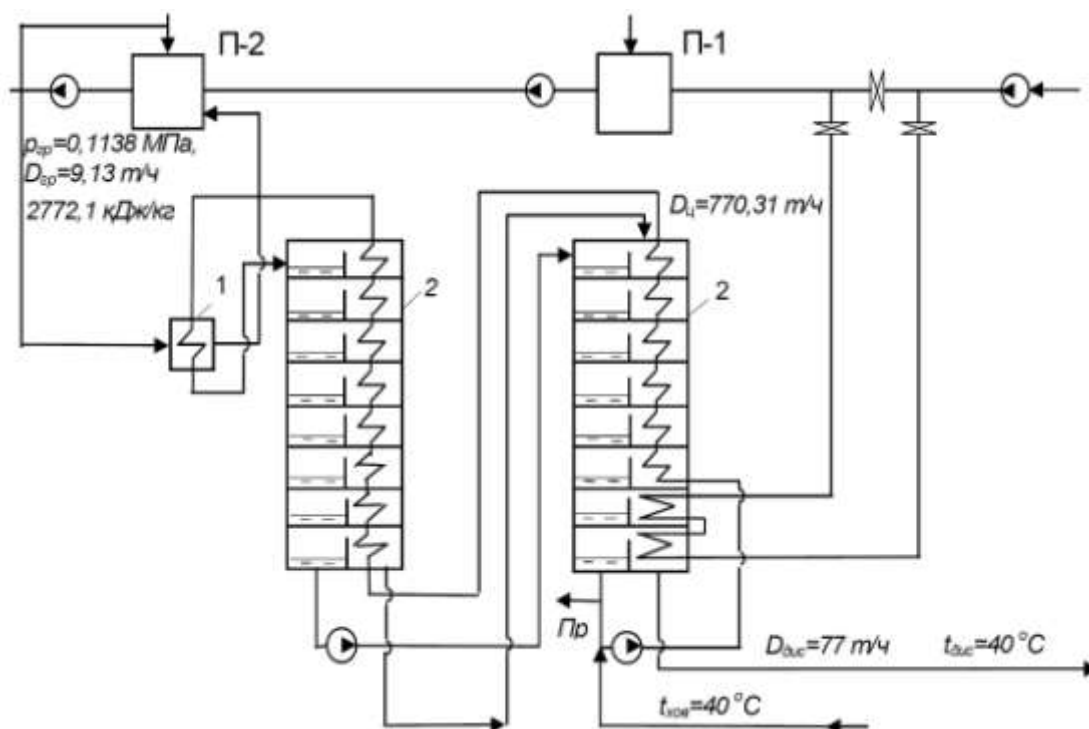


Рисунок 6 – Схема материальных потоков в испарителе мгновенного вскипания [15]

Некоторую сложность представляет необходимость доочистки получаемого дистиллята в фильтрах смешанного действия при подготовке воды для подпитки котлов СКД, потому что температура дистиллята составляет 38–44 °С. Так как повышение температуры сопряжено с потерей основности сильноосновного анионита в ФСД, то перед очисткой подпиточной воды в ФСД требуется захлаживание потока дистиллята в водоводяных теплообменниках.

По данным компании-производителя ИМВ «ИКСА» себестоимость производства 1 тонны дистиллята составляет ориентировочно 20 руб/т. При подключении испарительной установки вне системы регенеративного подогрева конденсата паровой турбины первичный пар давлением 1,2 ата подается от редукционно-охладительной установки. Срок окупаемости установки составляет 3,6 года. Приведенные капитальные затраты при длительности работы установки ИМВ 11–10 лет составляют ~ 19 руб/т дистиллята.

В практике зарубежных стран применяют концепцию нулевого сброса загрязнителей (zero discharge level – ZDL) в любых технологических процессах. Рассмотренные в этой работе технологии позволяют если не исключить сброс сточных вод, то, по крайней мере существенно уменьшить их объем, что позволяет более просто реализовать их последующую переработку или утилизацию.

Выводы

1. Значительное повышение требований к защите окружающей среды и увеличение стоимости реагентов, используемых в ионообменных технологиях водоподготовки, вызывает необходимость совершенствования ионообменных и использования альтернативных мембранных или испарительных технологий.

2. Совершенствование ионообменных технологий может быть реализовано за счет использования альтернативных, применяемых в настоящее время, реагентов, использования

новых типов ионообменных смол, повышения рабочих скоростей фильтрации и реконструкции дренажных систем фильтров.

3. Использование мембранных обратноосмотических технологий позволяет примерно в 3 раза уменьшить массу сбрасываемых в окружающую среду солей и снизить потребление реагентов в 15–17 раз даже при солесодержании исходной воды до 500 мг/дм³.

4. Определены удельные потоки пермеата через обратноосмотические мембраны в зависимости от давления поступающей воды. Показано, что изменение конфигурации подключения корпусов обратноосмотической установки позволяет гибко регулировать производительность и степень обессоливания воды.

5. Использование электроионитных технологий обессоливания воды позволяет практически полностью исключить потребление реагентов. Однако область их применения ограничивается относительно небольшими (до 100 т/ч) расходами обрабатываемой воды.

6. Обоснованы преимущества испарителей мгновенного вскипания, особенно при их включении в схему регенеративных отборов турбоустановок.

7. Приведены удельные затраты энергоресурсов при получении дистиллята и обоснована целесообразность применения испарителей для переработки концентрата обратноосмотических установок.

Список литературы

1. Water Treatment Technologies: «Actiflo» [Электронный ресурс]. URL: http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/actiflo/en/Actiflo_Disc.htm.
2. Forward Osmosis–Reverse Osmosis Process Offers a Novel Hybrid Solution for Water Purification and Reuse / Tzahi Y. Cath [and others] // Treatment Innovations IDA Journal. 2010. Fourth Quarter. P. 16–20.
3. Wheaton R.M., Lefevre L.J. Fundamentals of Ion Exchange // Dow Chemical U.S.A. June 2000. 9 p.
4. Developing Testing Plant and Methods for Water Processing and Control for Thermal Power Stations / M.K.L. Bhatti [and others] // International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. 2011. Vol. 11, № 04. P. 16–20.
5. Jiali Wang, Kenchouw Wu. The design for Ion Exchange Column // BSc. Students Process and Food Technology / The Hague University. 2015. March. 58 p.
6. Water Permeability and Water/Salt Selectivity Tradeoff in Polymers for Desalination / Geoffrey M. Geise [and others] // Journal of Membrane Science. 2011. № 369. P. 130–138.
7. Water Treatment Technologies: Advanced Amberpack™ Municipal. Advanced Amberpack Municipal (Cont) // Layne. 2014. 22 p. URL: https://www.layne.com/user_area/content_media/WaterTreatmentTechnologies_AdvancedAmberpackMunicipal-v2.pdf
8. Висоцький С.П., Коновальчик М.В. Оптимальні умови експлуатації зворотньоосмотичного обладнання при знесоленні води // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: наук.-вироб. зб. / АДІ ДВНЗ ДонНТУ. Горлівка, 2010. № 2 (11). С. 163–170.
9. Гриссбах Р. Теория и практика ионного обмена. М.: Иностранная литература, 1963. 500 с.
10. Vysotky S., Konovalchik M. The Improvement of Water Treatment Technologies for Saline Wastes Discharge Reduction // Проблеми екології: загальнодерж. наук.-техн. журн. 2013. № 1 (31). С. 14–18.
11. Висоцький С.П., Коновальчик М.В. Анализ параметров работы мембранного оборудования разных производителей // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: наук.-вироб. зб. / АДІ ДВНЗ ДонНТУ. Горлівка, 2007. № 2. С. 175–184.
12. Висоцький С.П., Николаева Ю.А. Использование новых технических решений в технологиях обессоливания воды // Збірник наукових праць Луганського національного університету. Серія: Технічні науки. Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2008. № 81. С. 217–229.
13. Combining Reverse Osmosis and Ion-Exchange / Dr. Jens Lipnizki [and others] // Filtration+Separation. September/October, 2012.
14. Технология электродеионизации «ГидроТехИнжиниринг» [Электронный ресурс]. URL: http://hydrotechengineering.com/index.php?option=com_content&view=article&id=137&Itemid=209.
15. Мошкарин А.А., Шувалов С.И. Блочные испарительные установки мгновенного вскипания // Вестник ИГЭУ. 2005. Вып. 1. С. 1–8.

С.П. Высоцкий, д-р техн. наук, М.В. Коновальчик, канд. техн. наук
Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка
Совершенствование экологических показателей технологий обессоливания воды

В настоящее время наиболее широко распространенные технологии обессоливания воды основаны на фильтрации воды в ионитных фильтрах. Несмотря на простоту реализации данных технологий, они имеют ряд существенных недостатков. Это обусловлено высокими удельными расходами реагентов и большими расходами воды на отмывку ионообменных смол от продуктов регенерации.

В статье рассмотрены альтернативные варианты технологий обессоливания воды с использованием ионного обмена, обратного осмоса и испарителей мгновенного вскипания. Совершенствование технологий ионного обмена реализуется за счет применения новых реагентов, усовершенствованных схем подключения фильтров и реконструкции дренажных систем фильтров. При использовании обратноосмотической технологии обессоливания необходим выбор оптимальной конфигурации подключения корпусов обратноосмотической установки и давления исходной воды. Применение электроионитной технологии позволяет отказаться от использования реагентов. Недостатком обратноосмотической технологии является относительно большой расход воды с продувкой концентрата. Применение испарительных технологий с аппаратами мгновенного вскипания позволяет существенно сократить как потребление реагентов, так и сброс засоленных стоков. Наиболее выигрышным решением является включение испарителей в схему регенерации турбоустановок.

ИОННЫЙ ОБМЕН, ОБРАТНЫЙ ОСМОС, ИСПАРИТЕЛИ, ЗАТРАТЫ РЕАГЕНТОВ, КОНФИГУРАЦИЯ ПОДКЛЮЧЕНИЯ, СБРОС СТОКОВ

S.P. Vysotskiy, Doctor of Tech.Sc., M.V. Konvalchik, Cand. of Tech.Sc.
Automobile and Highway Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Improvement of Ecological Indicators of Water Treatment Technologies

At present the most widespread water treatment technologies are based on the water filtration in ion-exchange filters. In spite of simplicity of given technologies realization they have a number of essential drawbacks. It is caused by high specific consumption of reagents and great water consumption to wash ion-exchange resin from products of regeneration.

In the article alternative variants of water treatment with the help of ion exchange, reverse osmosis and flash evaporator are considered. Improvement of reverse osmosis technologies is realized by new reagents application, improved schemes of filter connection and reconstruction of filter drainage systems. While using the reverse osmosis water treatment technology it is necessary to choose the optimal connection configuration of reverse osmosis plant blocks and influent water pressure. Electroionization technology application allows to reject reagent usage. The drawback of the reverse-osmosis technology is relatively large water consumption with concentrate blowing. The application of vaporizing technologies with flash evaporators allows to reduce considerably both reagents consumption and discharge of salted flows. The most winning solution is the evaporator inclusion in the scheme of the turbo-installation regeneration.

ION-EXCHANGE, REVERSE OSMOSIS, EVAPORATORS, REAGENT CONSUMPTION, CONNECTION CONFIGURATION, EFFLUENT DISCHARGE

Сведения об авторах

С.П. Высоцкий

SPIN-код: 7497-0100
 Телефон: 0506498436
 Эл. почта: kf-ebg@adidonntu.ru

М.В. Коновальчик

SPIN-код: 1616-9285
 Телефон: 0507788219
 Эл. почта: inst@adidonntu.ru

Статья поступила 30.12.2015
 © С.П. Высоцкий, М.В. Коновальчик, 2016
 Рецензент к.т.н., доц. Е.В. Грабарь