

УДК 628.105+541.18.045+541.67

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ МЕМБРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ. УМЕНЬШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ.

Высоцкий С.П., Коновальчик М.В.

Автомобильно-дорожный институт ДВНЗ "ДонНТУ", г. Горловка, Украина

Аннотация. Выполнено сравнение эксплуатационных параметров мембранных установок при использовании расчетных программ фирм "Filmtec" и "Hydranautics". Проведены анализ влияния технологических схем подключения мембранных аппаратов на производительность оборудования, содержание отдельных ионов в пермиате и затраты электроэнергии. Предложены возможные пути повышения эффективности работы мембранных установок за счет рекуперации энергии.

Анотація. Виконано порівняння експлуатаційних параметрів мембранных установок з використанням програм фірм «Hydranautics» и «FilmTec» Проаналізований вплив технологічних схем підключення мембранных елементів на продуктивність обладнання, вміст окремих іонів в перміаті та витрати електроенергії. Запропоновано можливі шляхи підвищення ефективності роботи мембранного обладнання за рахунок рекуператії енергії.

Summary. Comparison of membrane operation parameters by application of calculations programs of "FilmTec" and "Hydranautics" compares has been carried out. The influence of different technological scheme of membrane arrangement on capacity, content of ions in of permeate and energy expenses is analyzed. The possible ways of **increasing** of work efficiency of membrane options due to renewal of energy are suggested.

В последние годы мембранные технологии очистки воды получили широкое распространение. Надежная и эффективная работа, долговечность их использования зависит от целого ряда факторов: технологии предочистки воды, солесодержания и ионного состава воды, конфигурации включения аппаратов, рабочего давления и прочего.

На энергетических комплексах (тепловых и атомных электростанциях), а также химических предприятиях до настоящего времени основной технологией очистки воды является очистка воды в ионитных фильтрах. Однако при эксплуатации последних потребляется значительное количество реагентов, которые в виде разбавленных засоленных стоков поступают в поверхностные водоемы. Это приводит к деградации поверхностных водных источников и в ряде случаев исключает возможность использования воды приоритетными потребителями.

В настоящее время предъявляются повышенные требования к сбросу засоленных стоков, что вызывает необходимость замены существующих ионообменных технологий на мембранные. Последние обладают рядом достоинств: практически полное исключение потребления реагентов на процесс обессоливания воды, высокая степень обессоливания за один проход и снижение сброса солей до уровня, эквивалентного содержанию солей в исходной воде. Однако при этом в ряде случаев требуется утилизация или переработка концентрата.

При использовании обратноосмотического оборудования, несмотря на относительную простоту схемы соединения аппаратов и обслуживания необходимо учитывать некоторые особенности их эксплуатации, в частности, распределение нагрузки между корпусами и мембранными элементами. В противном случае наблюдаются потери эксплуатационных свойств технологического процесса: увеличение затрат электроэнергии, снижение степени обессоливания и выхода чистой воды – пермиата или увеличения капитальных затрат на установки. Поэтому практический интерес представляет сравнение эксплуатационных параметров мембранных элементов разных производителей.

Мембраны фирмы «Hydranautics» высокоселективны и широко используются в мировой практике при подготовке воды для промышленных циклов. По данным этой фирмы более 5,68 млн. м³/сутки чистой воды вырабатывается во всем мире использованием их мембран. Многие производители полупроводниковой техники также используют мембраны «Hydranautics» для получения ультра чистой воды. Указанная компания выпускает широкий спектр мембранных элементов (серии CPA, LFC, SWA, ESNA, ESPA). Мембраны CPA – являются наиболее универсальными. Они имеют разновидности: CPA 2 – самые распространенные элементы и имеющие производительность до 37,9 м³/сутки; CPA 3 – элементы с наилучшим сочетанием производительности и селективности (соответственно, до 41,6 м³/сутки и 99,6%); CPA 4 – применяются там где требуется высокая селективность (в среднем до 99,7%) они применяются, в основном, для получения подпиточной воды для котлов высоко давления. Характерное отличие имеют элементы серии

LFC – новое поколение мембран с высокой устойчивостью к биообрастанию и загрязнению.

Активным участником рынка в области водоподготовки является компания Dow Liquid Separations, которая также занимает лидирующие позиции по технологиям очистки воды для промышленного, бытового и питьевого водоснабжения. Одним из методов очистки воды, которым занимается данная компания, является мембранная технология, основанная на применении обратноосмотических (RO) и нанофильтрационных (NF) элементов FILMTEC. Они выпускаются фирмой "FilmTec Corporation", являющейся составной частью Dow. Элементы FILMTEC обеспечивают эффективную очистку воды от широкого спектра растворенных веществ как органического, так и неорганического происхождения и работоспособны даже при относительно низком избыточном давлении. Они характеризуются высокой стабильностью структуры и обеспечивают более высокую производительность, чем большинство аналогов (по заявлениям производителя).

Обратноосмотические элементы FILMTEC имеют большую поверхность активной мембраны, благодаря чему их производительность на 20-40% выше, чем у аналогов. Усовершенствованная конструкция элементов, применяемых в технологическом цикле производства полупроводников, позволяет сократить до минимума количество общего органического углерода, поступающего в обрабатываемую воду из элемента. NF-элементы FILMTEC обладают высокой селективностью по солям кальция, магния и других поливалентных элементов.

В основе конструкции обратноосмотических элементов FILMTEC лежит тонкопленочная композитная мембрана FT30, которая уже длительное время используется в обратноосмотических элементах.

Фирма "FilmTec Corporation" также выпускает широкий спектр обратноосмотических мембранных элементов для морской воды (SW, SW-NR и низкого давления SW-XLE), солоноватой (BW, BW-XLE) и речной (TW, TW-XLE), а также нанофильтрационные элементы.

Задачей данного исследования было сравнение параметров элементов указанных производителей и выявление возможных недостатков или преимуществ конкретных мембран. Анализ осуществляется на основе данных полученных с помощью программ анализа систем обратного осмоса ROSA 6.0 предоставленной фирмой "FilmTec Corporation" и IMSdesign 8.8 – фирмой «Hydranautics». В исследованиях была использована шахтная вода с наиболее распространенным ионным составом для донецкого региона, основные показатели которой представлены в таблице 1.

Мембранные элементы в обратноосмотической установке могут быть собраны по разным схемам, конфигурациям.

Мембранные элементы разных производителей имеют разные рабочие характеристики, поэтому установки разной конфигурации могут работать с разными показателями. В данной работе было проведено исследование основных параметров работы мембранных элементов (установок) фирм "FilmTec" и "Hydranautics".

Изменение схемы подключения корпусов дает возможность, не повышая давление, увеличить выход обсоленной воды, при этом предотвращая "крип" мембран.

Мембранные элементы фирмы «Hydranautics» и «Filmtec» имеют близкие характеристики по затратам энергии (отличия в пределах 7%) при 2, 3-х ступенчатом включении мембранных элементов.

Однако мембранные элементы Hydranautics обладают существенно большей селективностью, что обеспечивает получение пермиата с солесодержанием в 2 раза меньше (см. табл. 1) по сравнению с мембранами Filmtec, что существенно влияет на эффективность работы фильтров смешанного действия, обеспечивающих "финишную" очистку воды.

Известно, что мембраны обратноосмотических аппаратов имеют различную селективность по отношению к одно и двухзарядным ионам [3]. Значительный практический интерес представляет определение проницаемости мембран по отношению к ионам различной валентности при изменении конфигурации подключения обратноосмотических аппаратов.

Степень задержания ионов характеризуется соотношением концентрации солей в обессоленной и исходных водах – C/C_0 . Для наглядности на рисунке 1 представлены зависимости соотношения содержания ионов в пермиате и в исходной C/C_0 при 2-х ступенчатой схеме подключения мембранных аппаратов.

Сравнение проскока различных ионов в пермиат при 2-х и 3-х ступенчатом включении мембранных аппаратов (с элементами разных производителей) представлено в таблице 1.

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

Смена конфигурации подключения корпусов также дает возможность управлять качеством пермиата. Наиболее целесообразно использовать двухступенчатую схему включения мембранных аппаратов, при которой достигаются наилучшие показатели пермиата по сравнению с другими схемами. В результате исследований работы установок (с количеством элементов в корпусе 4, 5 и 6) также было выявлено, что

оптимальное количество мембранных элементов в корпусе составляет 6 шт.

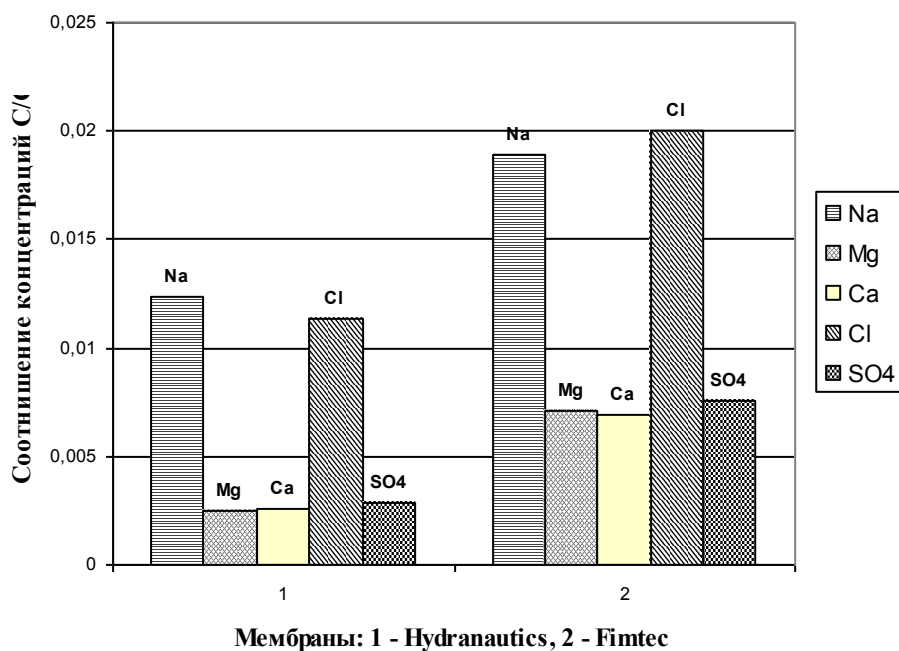


Рисунок 1 – Сравнение соотношений концентраций солей в пермиате и исходной воде (C/C_0) при использовании мембранных элементов «Hydranautics» и «Filmtec»

В приведенных ниже таблицах отражены параметры работы мембранных элементов двух разных производителей: «Hydranautics» и «Filmtec». Таблицы приведены для трех возможных конфигураций подключения обратноосмотических аппаратов с основными показателями расходов, давлений, и солесодержания пермиата. При анализе данных приведенных в таблицах видно, что мембранные элементы фирмы «Hydranautics» заметно отличаются более высокой производительностью и высоким качеством пермиата (солесодержание пермиата в 2 раза меньше) при одном и том же давлении исходной воды (14,5 бар). Но при этом наблюдается некоторое увеличение расхода электроэнергии, по сравнению с мембранными элементами «Filmtec». У последних наблюдается меньшая производительность, при близких значениях удельного потребления электроэнергии, при более низком качестве пермиата (повышенном солесодержании) по сравнению с «Hydranautics».

Ниже приведены таблицы сравнения показателей работы мембранных элементов «Hydranautics» и «Filmtec». В них показаны расходы и солесодержание пермиата на отдельных элементах, ступенях и в

целом на установке. Оптимальные параметры работы элементов наблюдаются при двухступенчатой схеме включения аппаратов.

Таблица 1. Сравнение показателей работы мембранных элементов разных производителей, при разной конфигурации включения

Параметр	Концентрация ионов в исходной воде	2-х ступенчатая система				3-х ступенчатая система				Тип и количество элементов
		Концентрат		Пермиат		Концентрат		Пермиат		
		Элементы		Элементы		Элементы		Элементы		
		Film Tec	Hydranautics	Film Tec	Hydranautics	Film Tec	Hydranautics	Film Tec	Hydranautics	
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	
Na	186,8	774,4	819,9	3,54	2,32	788,7	793,6	4,18	3,11	FIMTEC BW30-400 и Hydranautics Membrane CPA3 132 шт.
Mg	95,7	400,6	409,9	0,68	0,24	408,7	397,7	0,79	0,32	
Ca	117,8	492,8	504,6	0,82	0,30	502,8	489,6	0,95	0,40	
CO ₃	0,00	0,1	3,9	0,00	0,00	0,1	3,8	0,00	0,00	
HCO ₃	84,5	349,3	417,3	4,29	2,00	355,7	403,0	4,49	2,68	
NO ₃	0,4	1,7	1,6	0,04	0,03	1,7	1,5	0,05	0,04	
Cl	184,2	763,1	783,7	3,69	2,09	776,9	758,7	4,37	2,79	
SO ₄	734,2	3070,2	3143,8	5,58	2,09	3132,4	3049,9	6,49	2,80	
SiO ₂	25,0	104,4	106,6	0,23	0,21	106,5	103,3	0,27	0,29	
CO ₂	293,8	293,9	-	292,07	-	293,9	-	292,2	-	
Соле-вміст	1428,7	5956,6	6191,3	18,8	9,3	6073,7	6001,0	21,6	12,4	
pH	5,5	5,9	8,6	4,4	6,4	6,0	8,6	4,4	6,5	

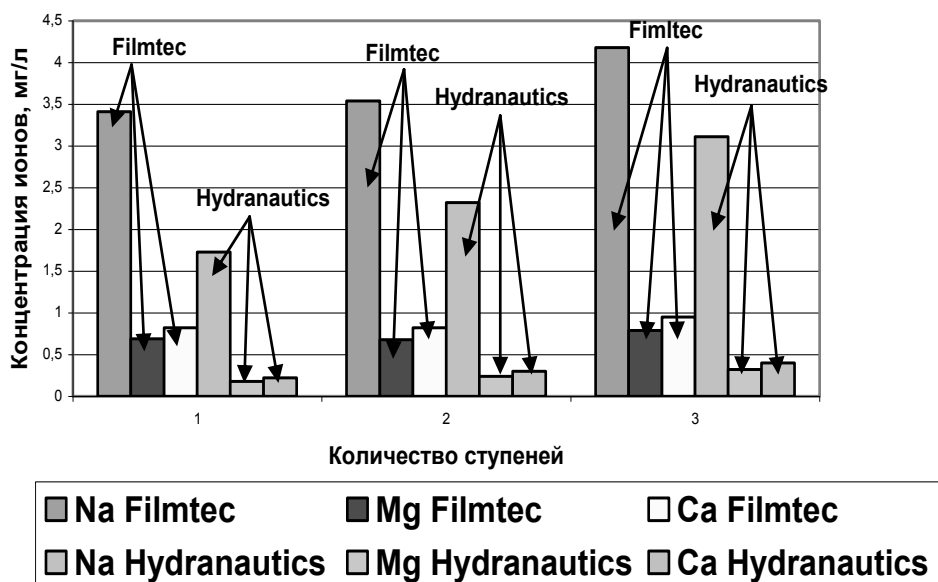


Рисунок 6 - Влияние конфигурации подключения мембранных аппаратов на катионный состав пермиата для мембран разных производителей

1 (11) - питающая камера, 2 (21) - разделители с манжетой, 3 (31), 4 (41) - датчики положения разделителей, 5 (51) - трехходовые электромагнитные клапаны, 6 (61), 7 (71) - обратные клапаны.

Учитывая то, что расширяется применение обратного осмоса в области очистки вод высокой минерализации, требуется снижение затрат энергии. Последнее решается за счет изменения конфигурации, рабочих параметров или типа элемента.

Одним из недостатков присущих обратноосмотическим установкам для опреснения морской воды является низкая степень конверсии (выход обессоленной воды), и высокие требования к качеству поступающей воды. В последней выход составляет около 30%, остальной раствор-рассол (без использования энергии воды под давлением) сбрасывается.

В прошлом степень конверсии морской воды (концентрата) в обессоленную являлась основным фактором снижения затрат энергии. Перспективным решением снижения энергозатрат является рекуперация энергии сбрасываемого рассола, находящегося под давлением.

Для систем обратного осмоса используются плунжерные, турбинные и центробежные насосы, которые также используются в других отраслях промышленности. В течение последних лет началось производство насосов непосредственно для обратноосмотических установок. Для снижения затрат изготовители насосов и мембран начали работать совместно. Эти усилия позволили оптимизировать и снизить эксплуатационные и капитальные затраты.

С точки зрения рекуперации энергии разработаны различные технические решения. Например, турбины "Pelton" обеспечивают высокую эффективность при использовании дешевых электродвигателей и за счет установки на одном валу турбин и насосов высокого давления. При этом восстановление энергии в турбинах успешно конкурирует с использованием изобарных камер [4].

Следующим направлением является использование изобарных камер. При этом методе рекуперации энергии используется часть энергии концентрата, которая возвращается в процесс опреснения. В настоящее время имеется тенденция замены таких распространенных систем как турбины "Calderes Pelton" и применение насосов с более эффективной рекуперацией энергии [4].

Сбрасываемый рассол подается в камеру и передает давление поступающей морской воде на всас насоса высокого давления. За счет применения изобарных камер потребление энергии сокращается на 40%. Применение изобарных камер устраняет потери энергии обусловленные превращением гидравлической энергии в механическую в турбозарядном устройстве и турбине. Механизм рекуперации давления снабжен вращающимся клапаном. Встроенная электронная система минимизирует

потребление энергии, обеспечивает гибкое функционирование всех элементов системы. Данная система может обеспечивать производительность до 1000 м³/ч при использовании агрессивной соленой воды при давлении до 100 бар. Конструкция выполнена из нержавеющей стали, и оборудована гибкой системой регулирования [4].

Таблица 2. Сравнение показателей работы мембранных элементов «Hydranautics» и «Filmtec»

Степень	Элемент	Показатели пермиата							
		Filmtec				Hydranautics			
		Расход, м ³ /ч		Солесодержание, мг/л		Расход, м ³ /ч		Солесодержание, мг/л	
		На отдельном элементе	На всей ступени	На отдельном элементе	На всей ступени	На отдельном элементе	На всей ступени	На отдельном элементе	На всей ступени
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1,42	108,11	10,3	13,9	1,7	124,7	2,5	3,3
	2	1,36		11,4		1,6		2,8	
	3	1,31		12,7		1,5		3,1	
	4	1,26		14,4		1,4		3,5	
	5	1,21		16,5		1,4		4,0	
	6	1,17		19,4		1,3		4,6	
2	1	1,09	45,86	21,5	30,6	1,2	49,3	5,1	6,8
	2	1,03		24,4		1,1		5,7	
	3	0,98		27,9		1,1		6,3	
	4	0,93		32,2		1,0		7,1	
	5	0,88		37,5		0,9		8,1	
	6	0,82		44,4		0,9		9,3	
Общее по установке		153,98		18,8		174,0		9,3	

До настоящего времени на отечественных обратноосмотических установках практически не применяются устройства рекуперации энергии концентрата. За рубежом широко используют различные технологии рекуперации энергии. Существуют относительно дешевые и достаточно эффективные запатентованные методы рекуперации концентрата в странах СНГ (в частности в России). Ниже приведена схема и описание работы данной установки разработанной в России (Десятовым А.В. и Извольским И.М.) [5].

Устройство рекуперации энергии концентрата, включает не менее двух цилиндрических питающих камер, снабжены разделителями и датчиками положения, трехходовыми электромагнитными и обратными клапанами. Камеры расположены вертикально по ходу движения разделителей. Плотность разделителей, имеющих цилиндрическую форму,

выше плотности исходной морской воды, но ниже плотности концентрата. Внешний диаметр разделителей меньше внутреннего диаметра питающих камер. На боковой поверхности каждого разделителя прикреплена манжета, содержащая магнитный порошок.

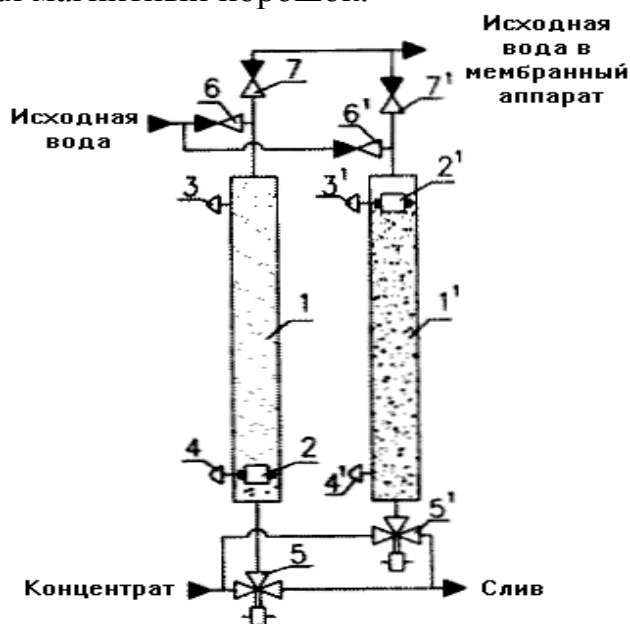


Рисунок 3 – Схема устройства рекуперации концентрата

Для питающих камер и разделителей позволяет использовать стандартные трубы при изготовлении устройства. Применение труб позволяет избежать при изготовлении сложных технологических операций, существенно понизить цену устройства. Как уже отмечалось, внешний диаметр разделителя меньше внутреннего диаметра питающей камеры, поэтому при движении разделителя не происходит трения о стенки камеры. Отсутствие трения о стенки позволяет избежать непроизводительные затраты энергии. Питающие камеры расположены вертикально по ходу движения разделителей [5]. Плотность разделителей выше плотности исходной воды, но ниже плотности концентрата, поэтому разделитель находится на границе раздела жидкостей. Манжета с магнитным порошком надежно обеспечивает индикацию положения разделителя и препятствует перемешиванию исходной морской воды и концентрата при движении.

Наибольшее распространение получили технологии рекуперации энергии с турбобустерами. Бустерный насос обеспечивает давление воды на входе 20-40% от требуемого. Дальнейшее повышение давления достигается за счет потока рассола. Оба потока существуют отдельно и обеспечивают разные расходы воды и давление [4].

Применение рекуперации энергии позволяет повысить эффективность установок как большой так и малой производительности. Потребление энергии (для установок малой и сверхмалой производительности)

сокращаются до 4 – 6 кВт·ч/м³, в то время как на традиционных установках оно составляет около 9 – 12 кВт·ч/м³.

Подкачивающий насос имеет мощность 60% производительности установки, при этом степень рекуперации энергии составляет 40% [5]. На степень рекуперации не влияет температура и солесодержание. Вода используется как смазочная среда вместо масла, что устраняет многие проблемы эксплуатации.

Таким образом, в рекуператорах любой конструкции потенциальная энергия концентрата используется для увеличения давления исходной воды, что ведет к снижению затрат электрической энергии при опреснении морской воды (концентрата после установок обратного осмоса).

Выводы:

1. Рассмотрены основные пути уменьшения затрат при обессоливании воды в обратноосмотических аппаратах.
2. Изменение схемы подключения обратноосмотических аппаратов (изменение количества ступеней, а также переключение с последовательной схемы на параллельную по концентрату) позволяют регулировать производительность установки, без увеличения давления исходной воды и, тем самым, предотвращать «крип» мембран.
3. Сравнительный анализ параметров работы 2-х ступенчатой установки показал, что применение элементов "Hydranautics" при неизменном давлении поступающей воды повышает выход пермиата до 14 %.
4. При необходимости получения глубоко обессоленной воды с финишной очисткой пермиата в фильтрах смешанного действия предпочтительно использовать элементы фирмы "Hydranautics". При обессоливании вод повышенной минерализации 1,5–3 г/кг оптимальное количество элементов составляет 6.

Литература

1. Высоцкий С.П., Фаткулина А.В., Коновальчик М.В. Совершенствование технологий очистки воды. // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.– Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2006.–№ 67(90).– С. 81 – 94.
2. Высоцкий С.П. Мембранная и ионитная технологии водоподготовки в энергетике. – К: Техника, 1989. – 176с.
3. Nikolay Voutchkov. Desalination cost reduction: the facts // Desalination. – 2006. - №8. – P.. 26-30.
4. Bryan Orchard. Better efficiency in RO plants // Desalination. – 2006. - №9. – P. 24-27.
5. http://ntpo.com/patents_water/water_2/water_7.shtml