

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПА ISD ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ОБРАТНООСМОТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

П. В. Стендер¹, В. Р. Поляков¹, П. В. Козлов¹, Т. П. Одиноких²

1 – ООО НПО “Экософт”, 2 – ОАО “концерн Стирол”

e-mail: pstender@voda.com.ua

В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты применения принципа ISD, основанного на использовании комбинации мембранных элементов с различной селективностью и проницаемостью при проектировании двухступенчатых обратноосмотических установок. Описан опыт применения принципа ISD, впервые на Украине использованного при замене 144 мембранных элементов в обратноосмотической установке, эксплуатируемой на одном из предприятий химической отрасли. Выполнены расчеты различных вариантов комбинации обратноосмотических элементов для реконструкции действующей установки. Сравнение расчетных данных и данных, полученных после замены мембран, показало полную адекватность расчетной модели.

Опыт применения принципа ISD при замене элементов в действующей промышленной установке подтвердил его высокую эффективность, а также показал возможность существенного повышения производительности двухступенчатых обратноосмотических установок при одновременном соблюдении высокого качества пермеата и снижении эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: обратный осмос, мембранные элементы, принцип ISD, пермеат, селективность.

Введение

В настоящее время в промышленных обратноосмотических установках в подавляющем большинстве случаев используются традиционные двухступенчатые схемы соединения мембранодержателей (рис.1), причем в обеих ступенях, как правило, используются мембранодержатели с пятью-шестью однотипными мембранными элементами. Практика проектирования таких систем показывает, что при корректно рассчитанной схеме удельная производительность элементов, расположенных в одном мембранодержателе, неодинакова и вне зависимости от типа мембран снижается на 20-40% при переходе от первого к последнему элементу вследствие одновременного роста концентрации растворенных в обрабатываемой воде солей и снижения рабочего давления. Как результат, производительность таких систем в среднем на 30-40% ниже, чем суммарная номинальная производительность используемых мембранных элементов.

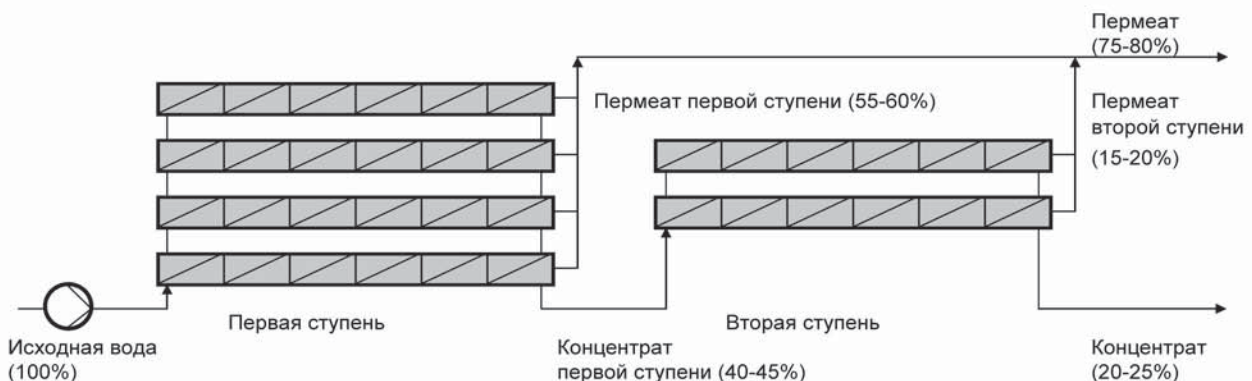


Рис.1. Пример технологической схемы типовой двухступенчатой обратноосмотической установки (в процентах указаны обычные соотношения потоков по отношению к исходной воде).

Очевидно, что увеличение производительности установки возможно за счет повышения рабочего давления в мембранодержателе, в результате чего повышается производительность последних элементов. Однако, с другой стороны, это приводит к перегрузке первых элементов и появлению такого негативного эффекта как концентрационная поляризация, являющаяся причиной образования отложений на поверхности мембран.

Цель данной работы заключалась в рассмотрении теоретических и практических аспектов применения принципа ISD (internally staged design), предложенного компанией DOW Chemical для повышения производительности обратноосмотических установок при сохранении регламентных условий эксплуатации мембранных элементов.

Теоретические предпосылки применения принципа ISD

Концепция ISD впервые была предложена в 2005 году компанией DOW Chemical для расчета обратноосмотических установок [1-3] как экономически эффективный путь снижения капитальных и эксплуатационных затрат при опреснении морской воды. Принцип ISD заключается в комбинации обратноосмотических элементов с различной проницаемостью внутри одного мембранодержателя, пример такого расположения приведен на рис.3, схема С.

Элементы с меньшей удельной проницаемостью (или с большей селективностью) устанавливаются первыми по ходу обрабатываемой воды, т.е. в той части мембранодержателя, где рабочее давление максимально. При этом высокое рабочее давление компенсируется высоким сопротивлением мембраны, вследствие чего удельный поток пермеата через мембрану не превышает рекомендованные значения. Благодаря этому снижается концентрационная поляризация в примембранном слое и уменьшается риск образования отложений на поверхности мембран.

Вслед за высокоселективными элементами в мембранодержателе устанавливаются элементы с большей удельной проницаемостью (или с низкой селективностью), которые работают на своей номинальной производительности при более низком рабочем давлении.

Эффект от применения ISD аналогичен использованию двухступенчатых схем обратноосмотических установок с бустерным насосом перед второй ступенью, либо с противодавлением пермеата (рис.2). За счет этого достигается равномерная нагрузка на элементы внутри одного мембранодержателя и, как результат, первые по ходу воды высокоселективные элементы становятся менее подверженными загрязнению, в то время как последующие низконапорные элементы обеспечивают больший выход по пермеату.

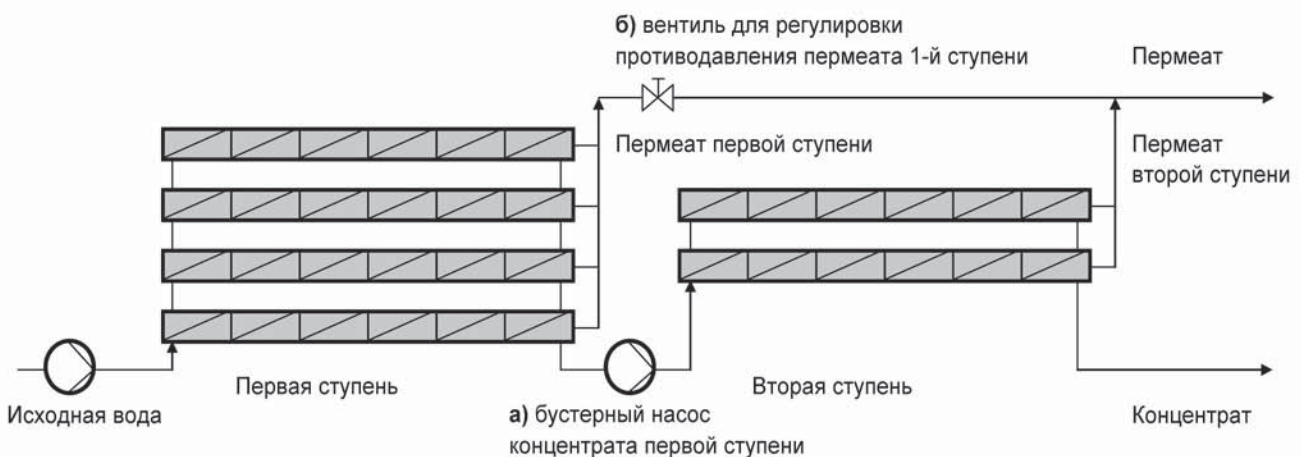


Рис.2. Технологические схемы двухступенчатых обратноосмотических установок с бустерным насосом перед второй ступенью (а) и противодавлением пермеата (б).

Создание технологических схем с применением принципа ISD стало возможным только в последнее время благодаря совершенствованию производства и разработке новых типов

мембранных элементов с различными селективностью и проницаемостью. Так, например, производственная линейка компании DOW Chemical включает более 30 типов 8-дюймовых обратноосмотических элементов Filmtec. Принцип ISD позволяет за счет максимально полного использования особенностей мембран добиться повышения производительности установок и улучшения качества пермеата при одновременном снижении капитальных и эксплуатационных затрат.

Очевидно, что уменьшение производительности первых элементов в мембранодержателе с одновременным обеспечением постоянства его общей производительности предполагает несколько вариантов оптимизации работы установки. Уменьшение эксплуатационных затрат возможно, прежде всего, за счет снижения рабочего давления или, учитывая оптимальное распределение потоков концентрата и пермеата в пределах мембранодержателя, увеличение его производительности за счет увеличения удельной производительности мембран и/или повышения конверсии при том же рабочем давлении. Разумеется, в обоих случаях при расчете установки по технологии ISD должны быть соблюдены все регламентируемые параметры эксплуатации элементов.

Результаты и обсуждение

Технология ISD впервые на Украине применена при замене 144 мембранных элементов в обратноосмотической установке, эксплуатируемой на одном из предприятий химической отрасли. Принципиальная схема установки приведена на рис.3. Низкое качество воды, подаваемой на установку, - высокие минерализация (3 – 3,2 г/л), жесткость (18 - 20 мг-экв/л) и коллоидный индекс (SDI > 6) – требовали максимально полного соблюдения регламентируемых параметров работы мембранных элементов.

На первой этапе была произведена замена изношенных мембранных элементов TORAY на новые элементы Filmtec SW30HRLE400 производства компании DOW Chemical с номинальной производительностью 1.14 м³/час. Предварительный расчет показал, что после замены мембран производительность установки при существующих условиях эксплуатации составит 108 м³/час, при этом производительность отдельных элементов в мембранодержателях первой и второй ступени будет соответствовать данным табл.1.

Таблица 1. Расчетные нагрузки на элементы Filmtec SW30HRLE400.

Ступень	№ элемента	Производительность по пермеату,		Давление в элементе, бар
		м ³ /час	% от номинальной производительности	
1	1	0.86	75,4	22.66
	2	0.84	73,7	22.35
	3	0.82	71,9	22.08
	4	0.79	69,3	21.85
	5	0.77	67,5	21.66
	6	0.74	64,9	21.50
2	1	0.71	62,3	21.02
	2	0.68	59,6	20.72
	3	0.65	57,0	20.46
	4	0.62	54,4	20.22
	5	0.60	52,6	20.01
	6	0.56	49,1	19.83

Из данных таблицы видно, что по ходу движения воды производительность отдельных элементов в мембранодержателе снижается по сравнению с номинальной с 75% до 65% на первой ступени и с 62% до 49% на второй. Общая расчетная производительность установки при этом составляет 66% от суммарной номинальной производительности всех элементов.

Сравнение реальных данных, полученных после ввода установки в эксплуатацию, с расчетными (табл.2) показывает практически полное их соответствие, что свидетельствует об адекватности расчетной модели.

Таблица 2. Сравнение расчетных и реальных параметров работы установки с мембранными элементами Filmtec SW30HRLE400.

Параметр	Расчетное значение	Реальное значение
Производительность по пермеату, м ³ /час	107	106
Солесодержание пермеата, мг/дм ³	22	20
Сброс концентрата, м ³ /час	43	44

В ходе эксплуатации установки возникла необходимость в увеличении ее производительности, при этом допускалась возможность увеличения солесодержания пермеата до 50 мг/дм³. Решить поставленную задачу путем повышения рабочего давления не представлялось возможным, это обусловило необходимость частичной или полной замены мембранных элементов на менее селективные.

Для оптимизации затрат, связанных с реконструкцией установки были проведены технологические расчеты установки при использовании различных комбинаций мембранных элементов (рис.3). Результаты расчетов приведены в табл.3.

Таблица 3. Сравнение расчетных технологических параметров работы установки с различными комбинациями мембранных элементов и реальные данные, полученные после замены мембран по принципу ISD.

Параметр	Варианты схем (рис.5)			Реальные значения для схемы С
	Схема А	Схема В	Схема С	
Производительность по пермеату, м ³ /час	113	118	123	123
Производительность по пермеату, % от суммарной номинальной производительности элементов	69%	72%	75%	75%
Солесодержание пермеата, мг/дм ³	82	45	40	42
Сброс концентрата, м ³ /час	37	42	42	38

Как следует из приведенных данных, технологическая схема установки, основанная на применении принципа ISD, позволяет достичь максимальной производительности при минимальном солесодержании пермеата. Это достигается за счет существенного увеличения производительности последних элементов мембранодержателей 2-й ступени, работающих в наиболее неблагоприятных условиях – при максимальной концентрации солей в обрабатываемой воде, и минимальных скорости потока и рабочем давлении. При этом производительность установки, выраженная в % от суммарной номинальной производительности элементов возрастает с 66% для элементов типа SW до 75% для комбинированной схемы.

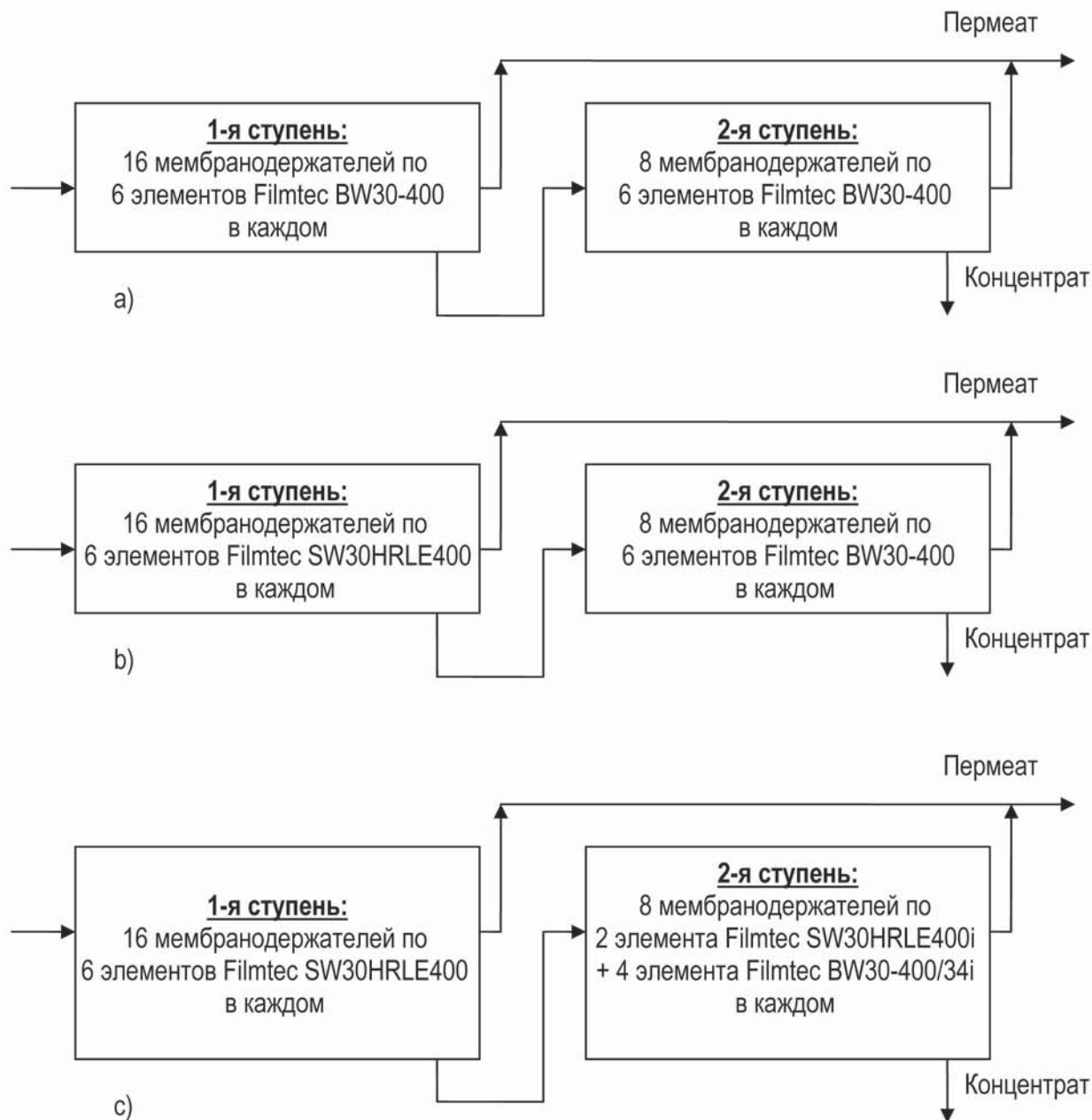


Рис.3. Варианты комбинаций мембранных элементов, выбранных для расчета.

а) полная замена высоконапорных элементов типа Filmtec SW30HRLE400 на низконапорные элементы Filmtec BW30-400 на обеих ступенях;

б) частичная замена высоконапорных элементов типа Filmtec SW30HRLE400 на низконапорные элементы Filmtec BW30-400 на второй ступени;

в) частичная замена высоконапорных элементов типа Filmtec SW30HRLE400 по принципу ISD.

В таблице 4 приведены расчетные нагрузки на отдельных элементах в мембранодержателях первой и второй ступени в случае применения принципа ISD.

Сравнение данных таблиц 1 и 4 показывает, что производительность высоконапорных элементов типа SW на первой ступени и вначале второй ступени при использовании принципа ISD практически не изменяется. Использование низконапорных элементов типа BW в мембранодержателях второй ступени позволило на 80% повысить их

производительность, по сравнению с элементами типа SW, и за счет этого увеличить общую производительность установки на 16 м³/час.

Табл.4. Расчетные нагрузки на элементы при применении принципа ISD.

Ступень	№ элемента	Тип элемента	Производительность по пермеату		Давление в элементе, бар
			м ³ /час	% от номинальной производительности	
1	1	SW30HRLE400	0.86	75,4	22.66
	2	SW30HRLE400	0.84	73,7	22.30
	3	SW30HRLE400	0.82	71,9	21.99
	4	SW30HRLE400	0.79	69,3	21.72
	5	SW30HRLE400	0.77	67,5	21.48
	6	SW30HRLE400	0.74	64,9	21.28
2	1	SW30HRLE400i	0.71	62,3	20.77
	2	SW30HRLE400i	0.68	59,6	20.38
	3	BW30-400/34i	1.16	101,7	19.67
	4	BW30-400/34i	1.14	100,0	19.50
	5	BW30-400/34i	1.09	95,6	19.35
	6	BW30-400/34i	1.01	88,6	19.24

Выводы

Таким образом, опыт применения принципа ISD при замене элементов в действующей промышленной установке подтвердил его высокую эффективность, а также показал возможность существенного повышения производительности двуступенчатых обратноосмотических установок при одновременном соблюдении высокого качества пермеата и снижении эксплуатационных затрат.

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ ISD ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ДВОСТУПЕНЕВОЇ ЗВОРотноОСМОТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

П. В. Стендер¹, В. Р. Поляков¹, П. В. Козлов¹, Т. П. Одиноких²

1 – ТОВ НВО “Екософт”, 2 – ВАТ “ концерн Стирол”

e-mail: pstender@voda.com.ua

В статті розглянуті теоретичні та практичні аспекти впровадження принципу ISD, що базується на застосуванні комбінації мембранних елементів з різною селективністю та проникністю при проектуванні двоступеневих зворотноосмотичних установок. Описано досвід застосування принципу ISD, який було вперше впроваджено на Україні під час заміни 144 мембранних елементів в зворотноосмотичній установці, що експлуатується на одному з підприємств хімічної галузі. Виконані розрахунки декількох варіантів комбінацій зворотноосмотичних елементів для реконструкції діючої установки.

Досвід впровадження принципу ISD засвідчив його високу ефективність, а також показав можливість суттєвого підвищення продуктивності двоступеневих зворотноосмотичних установок за умов збереження високої якості перміату та зниження експлуатаційних витрат.

Ключові слова: зворотний осмос, мембранні елементи, принцип ISD, перміат, селективність.

EXPERIENCE OF THE APPLICATION OF ISD IN ORDER TO INCREASE CAPACITY OF THE TWO-STAGE REVERSE OSMOSIS PLANT

P. Stender¹, V. Polyakov¹, P. Kozlov¹, T. Odinokich²

1 - Co Ltd SPA "Ecosoft", 2- PC "concern Stirol"

e-mail: pstender@voda.com.ua

Theoretical and practical aspects application of internally staged design (ISD) application are considered. ISD is based on the usage of the different types of membrane elements in one pressure vessel when designing of the multi-stage reverse osmosis plants. The experience of such an approach when replacing of 144 elements in the actual RO plant is described. Several designs based on use of various combinations of the RO elements where carried out.

Described experience acknowledges an efficiency of the ISD approach. Significant increase of double-stage RO plant's capacity and operational costs savings are proven in practice on the stipulation of acceptable permeate quality.

Key words: reverse osmosis, membrane elements, internally staged design (ISD), permeate, selectivity.

Список литературы:

1. Busch M. Boron removal at the lowest cost / [M. Busch, W. E. Mickols, S. Prabhakaran, et al.]. // In: Proceedings of the IDA world congress on desalination and water reuse, Singapore, September 11–16, 2005.
2. Mickols W. E. A Novel Design Approach for Seawater Plants / [W. E. Mickols, M. Busch, Y. Maeda, J. Tonner]., In: Proceedings of the IDA world congress on desalination and water reuse, Singapore, September 11–16, 2005.
3. Stover R. Environmentally sound desalination at the Perth seawater desalination plant / R. Stover, G. Crisp // Enviro '08, Australia's Environmental and Sustainability Conference and Exhibition. – Melbourne, Australia, May 5-7, 2008.