
ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАСЧЕТА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕМБРАННЫХ СИСТЕМ ВОДОПОДГОТОВКИ

В.И. Федоренко

ВНИИ Пищевой Биотехнологии, РАСХН

Одним из важных факторов, определяющих эффективность мембранных систем водоподготовки, является качество исходной воды. Этот фактор используется для расчета блоков предподготовки, мембранного контура и эксплуатационных параметров системы водоподготовки. Низкое качество исходной воды является основной причиной загрязнения мембран в процессе эксплуатации. Загрязнение мембран - явление сложное и неоднозначное. Формирование гелевого слоя или накопление растворенного вещества в мембранном контуре приводят к нарастанию осмотического давления в примембранной зоне и снижению потока пермеата. Поэтому важным фактором проектирования мембранных установок является разработка достоверных корреляций, определяющих снижение производительности мембран во время эксплуатации. Эти корреляции были получены экспериментально, т.к. математическое моделирование образования осадков, загрязняющих мембрану, практически невозможно, из-за многофакторности причин. В практике проектирования мембранных систем водоподготовки наибольшее распространение получили два способа тестирования исходной воды, с целью определения ее склонности к осадкообразованию: Silt Density Index (SDI) - индекс плотности взвешенных частиц в единице объема воды - определяет снижение производительности мембран за счет образования на их поверхности загрязнений, состоящих из взвешенных и коллоидных микрочастиц; Permanganate Demand (PD) - индекс перманганатной окисляемости, определяющий влияние органических веществ в исходной воде на загрязнение мембран. Еще одной причиной загрязнения мембран в процессе эксплуатации является формирование на их поверхности карбонатных осадков, которые можно контролировать с помощью методики LSI и $S\acute{a}DSI$ - индекса.

Концентрационная поляризация также является причиной осадкообразования и загрязнения мембран. Экспериментально установлено, что величина концентрационной поляризации для последнего элемента в любом мембранном контуре не должна превышать 1,13.

Единственным надежным способом минимизации или исключения загрязнения мембран является тщательная предварительная подготовка исходной воды.

Ключевые слова: вода, обратный осмос, загрязнение мембран, концентрационная поляризация, SDI, PD, LSI, $S\acute{a}DSI$ - индексы.

One of main factors of the efficiency of membrane water purification systems is a feedwater quality. This factor is used for calculation of pretreatment and membrane units, and operational parameters of water purification systems. Poor feedwater quality is a main cause of membrane fouling. Membrane fouling is a complex phenomenon. Gel layer formation or dissolved substances accumulation increase osmotic pressure and decrease permeate stream. Therefore the important factor of designing membrane installations is development of the authentic correlations, determining decrease of membranes capacity during operation. These correlations have been determined experimentally, since mathematical modelling of fouling formation is impossible because multifactor of the reasons. In practice of membrane water purification systems designing the greatest application was received two ways of feedwater testing with purpose of determines prerequisite for scale formation. Silt Density Index (SDI) the index of density weighed particles in unit of volume of water - determines decrease of membranes capacity due to formation on their surface weighed and colloid particles; Permanganate Demand (PD) - an index permanganate oxidability, determining influence of organics in feedwater on membranes fouling. One more reason of membranes fouling is calcium carbonate scale formation on membrane surface, which can be supervised by means of LSI and $S\acute{a}DSI$ - indexis

Concentration polarization also is the reason of scaling and membrane fouling. It is experimentally determined, that concentration polarization value for last membranes module should not exceed 1,13.

Unique reliable way of minimization or exception of membranes fouling is careful pretreatment of feedwater.

Key words: water, reverse osmosis, membranes fouling, concentration polarization, SDI, PD, LSI, $S\acute{a}DSI$ - indexis.

Введение

Современные мембранные системы водоподготовки позволяют получать очищенную воду практически из любых природных источников, как артезианских, так и поверхностных. Рулонные мембранные элементы, а также материалы и блоки предподготовки стандартизованы и их типоразмеры позволяют проектировать системы водоподготовки производительностью от нескольких десятков литров до сотен кубических метров в час. Однако лишь немногие ведущие фирмы, самостоятельно изготавливающие основные элементы систем водоподготовки, могут использовать их в полной мере, т.к. расчетные корреляции и проектные нормативы, полученные эмпирически, являются их «ноу-хау». Многие из этих нормативов являются определяющими не только для проектирования, но и для эффективной эксплуатации мембранных систем водоподготовки.

Факторы, определяющие эффективность мембранных систем водоподготовки

Одним из главных факторов, влияющих на эксплуатационную эффективность мембранных систем водоподготовки, является качество исходной воды. Поскольку этот фактор является объективным и мало изменяется в процессе эксплуатации, целесообразно указать критерии, определяющие его влияние на эффективность мембранного процесса.

Главные характеристики процесса обратного осмоса: производительность и селективность - являются сложной функцией следующих параметров:

- ◆ удельной производительности, селективности, гидравлического сопротивления, смоченного периметра и химической стойкости мембранных элементов (качество мембранных элементов);
- ◆ температуры, рН, общего солесодержания и соотношения компонентов в исходной воде (качество исходной воды);
- ◆ требования к очищенной воде (качество пермеата);
- ◆ рабочего давления, критериев гидродинамики и массообмена в мембранном контуре, конверсии, регламентного техобслуживания (качество инжиниринга).

Наиболее важный параметр - качество исходной воды, т.к. именно он является основой для расчета блоков предподготовки, мембранного контура и эксплуатационных параметров системы водоподготовки, а также является основной причиной загрязнения мембран в процессе эксплуатации. Загрязнение мембран - явление сложное и неоднозначное. Формирование гелевого слоя или накопление растворенного вещества в мембранном контуре приводят к нарастанию осмотического давления в приемлемой зоне и снижению потока пермеата. Даже микрочастицы с эквивалентным диаметром менее 10 микрон (рейтинг многослойного фильтрования) могут привести к сильному загрязнению мембран. Методика их мониторинга по параметру мутности, который определяется по дифракции света взвешенными частицами, оказалась недостаточно точной, т.к. микрочастицы слабо рассеивающие свет, зачастую имеют высокую загрязняющую способность. Поэтому важным фактором проектирования мембранных установок является разработка достоверных корреляций, определяющих снижение производительности мембран во время эксплуатации. Эти корреляции были получены экспериментально, т.к. математическое моделирование образования осадков, загрязняющих мембрану, сильно затруднено из-за многофакторности причин.

В практике проектирования мембранных систем водоподготовки наибольшее распространение получили два способа тестирования исходной воды, с целью определения ее склонности к образованию осадков:

- ◆ Silt Density Index (SDI) - индекс плотности взвешенных частиц в единице объема воды - определяет снижение производительности мембран за счет образования на их поверх-

ности загрязнений, состоящих из взвешенных и коллоидных микрочастиц;

- ◆ Permanganate Demand (PD) - индекс перманганатной окисляемости.

SDI – индекс является обязательным первичным тестом качества исходной воды, показывающим в самом общем виде вероятность образования осадков коллоидных и взвешенных веществ, загрязняющих поверхность мембранных элементов. В соответствии с ASTM D-4189-82 /1/, методика его определения основана на замере времени фильтрования заданного объема исходной воды через калиброванную мембрану с диаметром поровых каналов 0,45 мкм при давлении 2 атм (30 psi). Выбор диаметра поровых каналов 0,45 мкм обоснован тем, что величина эквивалентного диаметра микрочастиц 0,45 мкм является переходной от растворенного состояния к взвешенному. При определении SDI-индекса производятся два замера:

– время (сек.) фильтрования первых 500 мл исходной воды (t_1);

– время (сек) фильтрования следующих 500 мл исходной воды (t_2), которое замеряется через 5 - 15 мин после окончания первого замера, в зависимости от качества исходной воды.

$$SDI = \frac{-100 \times \left(1 - \frac{t_1}{t_2}\right)}{T}$$

Где T - суммарное время фильтрования.

Для вод с высоким содержанием взвешенных частиц контрольный фильтр 0,45 мкм может быть полностью экранирован слоем загрязнений еще до завершения фильтрования 500 мл второго образца. В этом случае устанавливают более короткий (но не менее 5 минут) интервал между двумя замерами. Если выражение $(1 - t_1/t_2)$ больше 0,75, это означает, что величина T недостаточна и ее следует скорректировать в сторону увеличения. При выполнении замеров необходимо учитывать факторы, снижающие их точность:

- ◆ наличие в воде воздушных пузырьков, масел или других гидрофобных веществ, экранирующих поверхность мембранного фильтра;

- ◆ наличие в воде агрессивных компонентов, разрушающих мембрану;
- ◆ пульсации давления;
- ◆ применение давления выше или ниже 30 psi.

Значения SDI - индекса для типичных природных источников вод:

Тип исходной воды	Максимум SDI	Минимум SDI
Артезианская	5	2
Поверхностная	175	5

Для некоторых открытых водоемов величина SDI – индекса составляет до 500.

Преимущество метода SDI в простоте и быстроте его определения.

Недостатком метода SDI является возможность оценки потенциала осадкообразования только коллоидной и взвешенной фазы. С изменением концентрации загрязняющей фазы SDI может изменяться как линейно, так и нелинейно, в зависимости от природы загрязняющей фазы. Так, с увеличением содержания соединений гуминовых и фульвокислот, SDI изменяется нелинейно и неоднородно. Экспериментально установлено, что содержание этих соединений в исходной воде не должны превышать 1 ppm. По величине допустимого критического значения SDI можно судить о классе мембранной системы водоподготовки. Системы ведущих фирм - производителей успешно эксплуатируются при SDI исходной воды: для артезианских вод – до 5; для поверхностных вод – до 18. Методика SDI не может быть использована для оценки ресурса мембранных элементов, т.к. нет четких корреляций между составом исходной воды и величиной SDI. Для снижения величины SDI применяется предварительная подготовка исходной воды.

PD – индекс определяет влияние органических веществ в исходной воде на загрязнение мембран. Величина PD - индекса определяется потреблением перманганата единицей объема исходной воды. Преимущество PD - индекса - его универсальность. Методика тестирования основана на измерении светопоглощения в исходной воде и пермеате. Концентрация перман-

ганат-иона определяется спектрофотометрически при длине волны $\lambda = 522 \text{ nm}$, а манганат-ионов - при $\lambda = 426 \text{ nm}$, в пределах концентраций до 100 мг/л. В контрольный образец исходной воды добавляют расчетное количество раствора MnO_4^- , выдерживают на кипящей водяной бане в течение двух часов, далее охлаждают, фильтруют и измеряют величину светопоглощения. Та же процедура повторяется для пермеата. Экспериментально установлено, что снижение потока пермеата линейно зависит от величины PD-индекса и практически не зависит от величины pH. Для мембранных элементов рулонного типа ресурс наработки можно определить по следующей корреляции:

$$Y = mx + b$$

Где m - угол наклона в линейном уравнении

$$m = -0,01191 - 2,6 \times 10^{-4} P$$

P - расход перманганата при определении PD-индекса исходной воды (мг/л);

Y - максимально допустимое солесодержание в пермеате (мг/м² час);

x - время, наработки мембранного элемента до достижения величины Y (час);

b - производительность по пермеату на деминерализованной воде и чистой мембране (мл/м² час).

Недостатком методики является необходимость тщательного приготовления образцов, чтобы снизить погрешность определения.

Дополнительными характеристиками качества исходной воды являются: анализ солевого состава; перманганатная или бихроматная окисляемость, которые могут заменять PD – индекс; ультрафиолетовое светопоглощение с длинной волны до $\lambda = 275 \text{ nm}$ - хороший индикатор содержания органических веществ и мутности.

LSI – индекс (Langelier Saturation Index; индекс насыщения Ланжелье)

Еще одной причиной загрязнения мембран в процессе эксплуатации является формирование на их поверхности карбонатных осадков /1,2/. Карбонаты кальция, бария, магния и

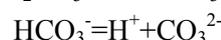
стронция образуют осадки, когда их концентрация в потоке над мембраной превышает константу растворимости K_R .



В поверхностных водах карбонаты находятся в равновесии с бикарбонатами, которые представлены в виде уголекислоты, попадающей в воду из атмосферы, где ее концентрация составляет ~ 0,05%.



В водном растворе угольная кислота диссоциирует в два этапа:



Соответственно и выражения для констант

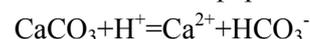
$$k_{D_1} = \frac{(\text{H}^+)(\text{HCO}_3^-)}{\text{H}_2\text{CO}_3}$$

$$k_{D_2} = \frac{(\text{H}^+)(\text{CO}_3^{2-})}{\text{HCO}_3^-}$$

диссоциации:

Равновесное состояние раствора системы $\text{CO}_2/\text{CaCO}_3$ может быть выражено следующей реакцией: $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;

Или упрощенно в ионной форме:



Константа равновесия определяется как:

$$K_p = \frac{(\text{Ca}^{2+})(\text{HCO}_3^-)}{\text{H}^+}$$

Также ее можно определить как отношение константы растворимости CaCO_3 к константе вторичной диссоциации уголекислоты:

$$K_p = K_R / k_{D_2}$$

Сгруппировав, получаем:

$$(\text{H}^+) = (\text{Ca}^{2+})(\text{HCO}_3^-) \times k_{D_2} / K_R$$

Логарифмируя это уравнение, получим:

$$\log(\text{H}^+) = -\log(\text{Ca}^{2+}) - \log(\text{HCO}_3^-) - \log(k_{D_2}/K_R)$$

Подставим значения pH; pCa; pAlk:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+); \quad \text{pCa} = -\log(\text{Ca}^{2+});$$

В результате получаем следующие выражения:

$$pH_s = pCa + pAlk + \log(K_R/k_{D_2});$$

$$pAlk = -\log(\text{HCO}_3^-);$$

LSI – индекс можно определить как разность pH концентрата и pH насыщенного раствора:

$$LSI = pH_{\text{конц.}} - pH_{\text{насыщ.}}$$

LSI - индекс является функцией температуры и ионной силы раствора, т.к. от них зависят константы равновесия K_R и диссоциации k_{D_2} .

При положительном LSI - индексе в концентрате образуются кристаллы карбонатов, которые в сочетании с ионами железа, магния, алюминия, меди, кремния, сульфатами, фосфатами образуют труднорастворимые плотные осадки на поверхности мембран, начиная с последних элементов мембранного контура. Поэтому LSI - индекс должен всегда иметь отрицательное значение - это необходимое условие предотвращения карбонатных осадков на поверхности мембран. Методика определения LSI - индекса учитывает зависимость концентрата от состава питающей воды и эксплуатационных параметров установки обратного осмоса. Для контроля LSI концентрата, установки обратного осмоса комплектуются проточным pH – метром, содержащим блок аналогового управления системой водоподготовки. Для мембранных элементов рулонного типа экспериментально установлено, что LSI – индекс должен быть меньше 0,5. LSI - логарифмическая функция, поэтому тенденция к осадкообразованию в диапазоне LSI от 0,5 до 2,0 может быть в 10 - 20 раз больше расчетной величины.

Одним из способов предотвращения осадкообразования на мембранах является инжектирование в поток исходной воды серной кислоты, в результате чего карбонаты превращаются в бикарбонаты и двуокись углерода, снижая карбонатную щелочность и возможность образования карбонатных осадков /2/:



Однако применение серной кислоты создает следующие проблемы:

- ◆ двуокись углерода не задерживается мембраной, но проходит в зону пермеата, снижая его pH и увеличивая карбонатную щелочность. Поэтому в некоторых случаях требуется дополнительная декарбонизация очищенной воды;
- ◆ эксплуатационный опыт показывает, что при инжектировании кислоты сложно поддерживать необходимое значение pH (как правило – минимально щелочное) в потоке исходной воды. Местные флуктуации в сторону низких значений pH приводят к коррозии оборудования, а в сторону высоких значений pH - могут инициировать образование осадков;
- ◆ добавление серной кислоты к исходной воде увеличивает в ней концентрацию сульфатов, поэтому в некоторых случаях требуется дополнительное применение антискейлантов, предотвращающих образование сульфатных осадков;
- ◆ транспортировка, хранение и разбавление сильной кислоты.
- ◆ опасность случайностей.

Методика LSI - индекса применима до величины TDS (общее содержание растворенных веществ) концентрата 10 г/л. На практике LSI - индекс в потоке концентрата определяется как функция TDS, концентрации ионов кальция, общей щелочности, pH, температуры и параметра конверсии. Снижению LSI - индекса способствует уменьшение конверсии, снижение концентрации ионов кальция или общей щелочности в исходной воде.

Условия образования кристаллических частиц карбоната кальция в потоке концентрата могут сильно отличаться от таковых в исходной воде из-за увеличения общей концентрации растворенных веществ, нарушения баланса ионов кальция, бикарбоната и свободного CO_2 . Поэтому при проектировании и эксплуатации установок обратного осмоса, важно предотвратить условия, при которых возможна кристаллизация карбоната кальция в потоке концентрата.

Если значение LSI концентрата не соответствует рекомендациям изготовителя по безопасной эксплуатации установки обратного осмоса, его регулирование может быть осуществлено одним из следующих способов:

- ◆ снизить величину конверсии;
- ◆ снизить концентрацию кальция в исходной воде посредством ее умягчения. Умягчение не изменяет щелочности или pH исходной воды, а небольшое увеличение TDS можно рассматривать как несущественное;
- ◆ дозирование кислоты (HCl, H₂SO₄). Небольшим изменением TDS обычно можно пренебречь.

Разработаны программы компьютерного анализа LSI – индекса, которые широко используются при технологических расчетах мембранных систем водоподготовки.

Методика LSI – индекса показывает достаточную точность до TDS концентрата 4000 мг/л, при более высоких концентрациях целесообразно использовать методику S_uDSI индекса.

S_uDSI (Stiff and Davis) – индекс стабильности является довольно точным методом расчета насыщенности потока концентрата, в котором вместо констант равновесия используется величина ионной силы /1/.

$$S_{u}DSI = pH_{конц.} - pH_{насыщ.}$$

Где pH_{конц.} – pH в потоке концентрата (текущая величина); pH_{насыщ.} – pH насыщенного раствора;

$$pH_{насыщ.} = pCa + pAlk + k$$

$$pCa = -\log(Ca^{2+}),$$

Где Ca²⁺ – ppm CaCO₃

$$pAlk = -\log(HCO_3^-),$$

Где HCO₃⁻ – ppm HCO₃⁻; k – константа ионной силы, при максимальной температуре потока концентрата.

Величину pH_{конц.} можно определить графически, рис. 1, если известно pH исходной воды и величина конверсии.

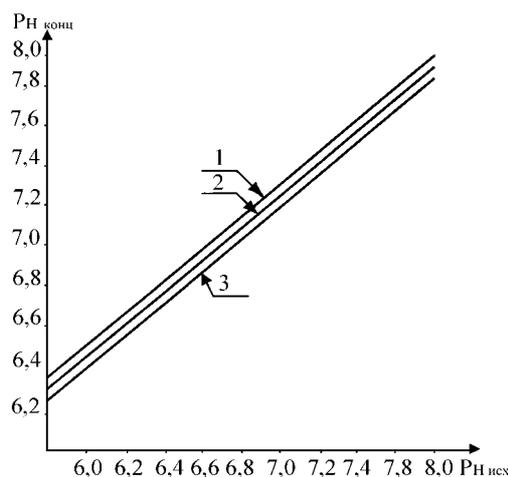


Рис. 1. Зависимость pH концентрата от pH исходной воды

Принимая допущение, что щелочность исходной воды определяется концентрацией бикарбонат-ионов, величину P_{Ca} и PAlk можно определить по номограмме, рис. 2.

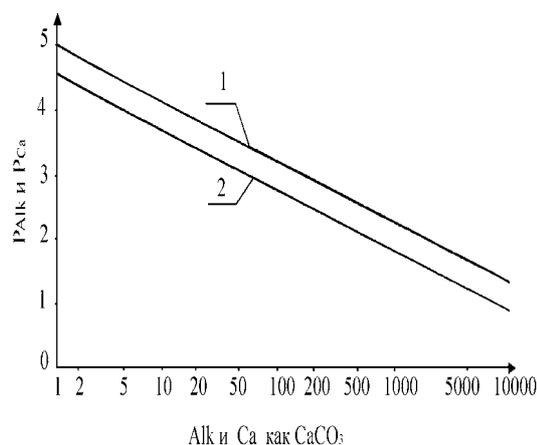


Рис. 2. Номограмма для определения P_{Ca} и PAlk

Примечание: концентрации Ca²⁺ и HCO₃⁻ могут быть выражены в ppm или ppm как CaCO₃.

Например:

$$(Ca^{2+})=470 \text{ ppm: } CaCO_3 = \frac{MM_{CaCO_3}}{MM_{Ca}} \times (Ca^{2+})$$

Где MM – молекулярная масса.

$$(Ca^{2+}) \text{ в ppm CaCO}_3: CaCO_3 = 2,5 \times 470 = 1,175$$

$$(HCO_3^-)=126 \text{ ppm: } CaCO_3 = \frac{MM_{CaCO_3}}{2MM_{HCO_3^-}} \times (HCO_3^-)$$

$$(HCO_3^-) \text{ в ppm CaCO}_3: CaCO_3 = 100/122 \times 126 = 103.$$

Ионную силу водного раствора можно рассчитать по следующему уравнению:

$$I = 1/2 \sum m_i z_i^2$$

Где I – ионная сила; m_i – моляльная концентрация ионов (1г-моль/1000г воды); z_i – ионная сила i -го иона.

Моляльная концентрация может быть вычислена с помощью следующего уравнения:

$$m_i = \frac{C_i}{1000 M_{w_i} \times \left(\frac{10^6 - TDS}{10^6} \right)}$$

Где C_i – концентрация i -го иона в растворе, как ppm иона (ppm и мг/л применяются, как взаимозаменяемые); M_{w_i} – молекулярная масса i -го иона; TDS_f – солесодержание в исходной воде, ppm.

Методика расчета ионной силы

- ◆ растворенные вещества в исходной воде должны быть выражены в ppm – концентрациях по каждому иону;
- ◆ пересчитать концентрации ионов в моляльной форме в размерности моль/кг, используя вышеприведенное уравнение и таблицу атомных масс элементов;
- ◆ рассчитать, исходя из полученной моляльности, ионную силу исходной воды;
- ◆ рассчитать ионную силу в концентрате:

$$I_{\text{конц}} = I_{\text{исх}} / (1 - Y),$$

Где $I_{\text{конц}}$ и $I_{\text{исх}}$ – ионная сила концентрата и исходной воды, соответственно; Y – конверсия.

- ◆ на основании полученного значения $I_{\text{конц}}$ определить $S\acute{a}DSI$ - индекс при максимальной температуре концентрата, используя график на рис. 3.
- ◆ подставить полученные значения в уравнение: $S\acute{a}DSI = pCa + pAlk + k$.

R- коэффициент концентрационной поляризации

Поток воды в любом канале может быть характеризован как ламинарный или турбулент-

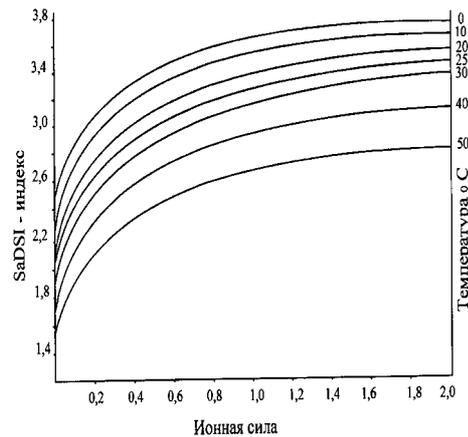


Рис. 3. Номограмма для определения $S\acute{a}DSI$ – индекса

ный. Ламинарный поток образуется, когда влияние вязкости потока превышает влияние сил инерции. Это состояние обычно определяется низкой скоростью потока. Поток может быть смоделирован как слои жидкости, текущие параллельно оси канала. При этом существует некоторый молекулярный обмен между слоями, но нет никакого принудительного перемешивания слоев потока.

В турбулентном потоке доминирует влияние сил инерции, обычно при высоких скоростях потока. Турбулентный поток по существу нерегулярное движение в элементарном объеме потока. Траектории движения элементарных объемов потока - не упорядоченные прямые линии (как при ламинарном потоке), а хаотические завихрения, наложенные на основной вектор движения жидкости по каналу. При этом происходит полное перемешивание потока. Основная часть потока протекает в канале в турбулентном режиме. Однако, в пограничном, со стенкой канала слое, движение жидкости отсутствует. Поэтому должна существовать некоторая область (пограничный слой), где скорость жидкости в радиальном направлении повышается от нуля до максимального значения в ядре потока. Эта область может быть очень тонкой, но в ее пределах скорость увеличивается непрерывно, нет никаких скачков скорости - дискретности. В пределах пограничного слоя, медленно перемещающийся поток рядом со стенкой канала должен быть ламинарным.

В секциях мембранного элемента, состоящих из двух мембран и канала для протока воды, также образуется ламинарный слой у мембранной поверхности. Различие в том, что теперь появляется трансмембранный поток пермеата, а также растворенные и нерастворенные компоненты, отраженные мембраной. Таким образом, концентрация растворенных ионов в примембранном слое становится выше, чем в турбулентном ядре потока. Т.к. в пределах ламинарного потока перемешивание отсутствует, единственный путь транспорта растворенных ионов от мембранной поверхности в ядро потока – диффузия, величина которой определяется разностью концентраций в примембранном слое и ядре основного потока.

Концентрация растворенных веществ, которые селективно отражены мембраной, всегда выше в примембранном слое, по сравнению с ядром потока. Этот эффект известен как концентрационная поляризация (КП).

Коэффициент КП определяется как:

$$R = e \times \left(k \times \frac{2Q_p}{Q_f + Q_b} \right)$$

Где k - экспериментальная константа, определяемая геометрией напорного канала мембранного фильтрэлемента и его длиной (смотченный периметр); Q_p - поток пермеата с фильтрэлемента; Q_f - поток исходной воды на фильтрэлемент; Q_b - поток концентрата, уходящий с фильтрэлемента.

Если поток исходной воды и/или концентрата увеличивается относительно потока пермеата (уменьшая конверсию), величина R уменьшается, т.к. пограничный слой становится более тонким и диффузия растворенных солей в ядро потока становится более легкой, снижая концентрацию солей в примембранном слое. В процессе эксплуатации величина R должна контролироваться по следующим причинам:

- ◆ если R увеличивается, осмотическое давление в примембранном слое также возрастает. Это означает, что необходимо приклады-

вать более высокое давления, что увеличивает удельные энергозатраты;

- ◆ если R увеличивается, то растет и концентрация солей в примембранном слое. Поскольку трансмембранный поток растворенных ионов пропорционален разности их концентраций по обе стороны мембраны, то увеличится их проход через мембрану, снижая качество пермеата.
- ◆ высокое значение R увеличивает риск осадкообразования и загрязнения мембранной поверхности;
- ◆ величина R для последнего элемента в любом мембранном контуре не должна превышать 1,13.

Профилактика загрязнения мембран

Конструкционные материалы должны исключать выделение частиц, засоряющих мембраны. Желательно максимально использовать пластмассы. Применение стали оправдано только в линиях высокого давления. Мембранные элементы должны быть подобраны в соответствии с SDI и PD - индексами исходной воды и условиями эксплуатации мембранной установки. Эксплуатационные параметры должны минимизировать засорение мембран. Необходим мониторинг pH концентрата для учета LSI – индекса и предотвращения гидролиза мембран. Величина конверсии должна исключать возможность осадкообразования.

Предварительная очистка исходной воды от коллоидных и взвешенных загрязнений - достаточно трудоемкий и дорогой процесс. И тем не менее, обоснованная технологическим расчетом, предварительная подготовка исходной воды является единственным надежным способом минимизации или исключения загрязнения мембран.

Литература

1. ASTM.D-3739-94; D-4189-94. The American Society for Tasting and Materials, USA, (1994) p. 116 - 134.
2. Кирьян Б.В., Федоренко В.И., Сушинская Т.В. Стабилизация воды для последующей деминерализации методом обратного осмоса. // Химия и технология воды, т.14, №9, (1992), с. 700 – 706.