

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ

С.Л. Захаров, А.Х. Володин

Представлены проблемы становления отечественного обратного осмоса. Заслуживают внимания методологии и методы, которые были задействованы в отечественных исследованиях. Авторы работы отмечают особое влияние на процесс обратного осмоса количественных величин размера пор, явления температурного эффекта, снятия вредного влияния концентрационной поляризации различного типа полимерных мембран. По результатам проведенного исследования приведены рекомендации для заводов-изготовителей мембран.

**Ключевые слова:** обратный осмос; нанофильтрация; нанопористые мембранны; пористая структура, капиллярно-пористые мембранны.

В настоящее время для очистки водных растворов различных солей и небольших концентраций органических примесей применяется один из методов мембранныго разделения – обратный осмос, активное развитие которого началось в 70-х годах прошлого столетия. Проблемы становления отечественных технологий обратного осмоса, перекликаясь с проблемами современности, заключались в следующем:

- а) отсутствовали мембранны;
- б) отсутствовали аппараты;
- в) отсутствовали насосы-дозаторы, которые бы обеспечивали надлежащие гидродинамические режимы над мембранными при давлении исходного раствора над поверхностью активным слоем мембран в 5,0 МПа;
- г) отсутствовали способы крепления тонкослойных мембран (в несколько микрон), при которых тонкие плёнки не рвались бы при давлении исходного раствора до 10,0 МПа и более;
- д) отсутствовали схемы разделения;
- е) отсутствовала запорно-регулирующая арматура, которой надлежало работать при высоких давлениях исходных растворов;
- ж) отсутствовали количественные величины распределение пор по радиусам, которые были необходимы заводам-изготовителям мембран;
- з) отсутствовали стабильные характеристики разделения мембран, без которых ГОСКОМИТЕТ ПО НАУКЕ И ТЕХНИКЕ ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР не открывал новое научное направление «МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»/

Несмотря на имеющиеся проблемы было понимание необходимости разработки на-

нотехнологических процессов, что позволило провести серию экспериментов с использованием ацетатцеллюлозных мембран (АЦМ) в проблемной лаборатории РХТУ им.Д.И. Менделеева. Эксперименты показали нестабильность характеристик разделения АЦМ, размеры пор которых, к сожалению, не удалось определить из-за отсутствия инструментальных методов определения пор молекуллярного уровня.

Возникла задача поиска мембран, с помощью которых можно было бы снять выявленные на первом этапе становления часть технических проблем.

Капиллярно пористые мембранны (КПМ) в виде цилиндрической формы боросиликатных стёкол послужили тем благодатным материалом, с помощью которого удалось частично снять обозначенные проблемы. Разработаны установки и аппараты для работы с КПМ при высоких давлениях и подобраны контрольно-измерительные приборы и средства автоматического регулирования, включая автоматическое поддержание рабочего давления в 5,0 МПа в аппарате. С помощью КПМ устраниён фактор нестабильности рабочих характеристик. Впервые определены размеры рабочих пор и их распределение по радиусам, которые невозможно определить с помощью ни каких из отечественных высоконапорных обратноосмотических мембран. Древовидная структура пор КПМ, напоминающая структуру корней дерева (рис.1) позволила снять вредное влияние концентрационной поляризации без применения перемешивающих устройств или дорогостоящих и энергопотребляющих насосов-дозаторов. В аппарате КПМ удалось выявить «температу-

турный эффект», который заключался в том, что при повышении температуры исходного раствора возрастала проницаемость КПМ. Это было предсказуемо.

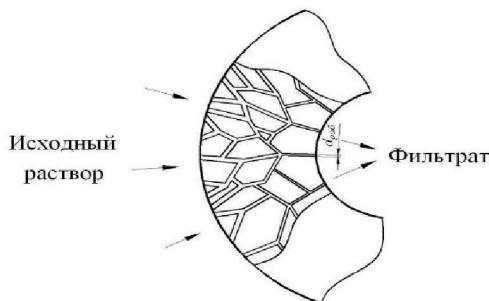


Рисунок 1 – Схема движения потоков исходного раствора и фильтрата в КПМ

И совершенно непредсказуемо количественные величины параметра селективности возрастали. Селективность в долях единицы или в процентах определяли отношением разности количественных величин концентраций исходного раствора и пермеата (фильтрата) к количественным величинам концентраций исходного раствора. По всем ожиданиям с ростом температуры увеличивались размеры пор вследствие расширения материала. Следовательно, через пору увеличенного диаметра вероятность проникновения молекул загрязнителя увеличивалась. Потому ожидалось ухудшение параметров селективности. В действительности оказалось наоборот. С ростом температуры увеличивалась и проницаемость селективность КПМ. Это открывало широкие перспективы очистки сточных вод горячих цехов. К тому же при этом не требовалась дополнительные ёмкости для охлаждения стоков.

В результате первые обнадеживающие и наперёд прогнозируемые стабильные характеристики КПМ способствовали открытию нового научного направления «МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ».

Проецируя выявленный эффект в аппаратах КПМ на аппараты АЦМ был сделан вывод о необходимости сделать по возможности более жесткой пористую структуру полимерных мембранных, которая бы выдерживала повышенные температуры и имела более стабильные характеристики разделения. Появились полиамидные и другие полимерные мембранные, которые частично приближались по температурно-стабилизационным характеристикам к КПМ. Большая работа проведена в научно-исследовательском коллективе «ПОЛИМЕРСИНТЕЗ», г. Владимир.

Налажен выпуск высокопроизводительных полимерных мембранных в больших количествах. Однако в полной мере стабилизационные и температурные особенности КПМ остаются непревзойдёнными. К сожалению отечественные разработки КПМ были свернуты из-за недостатка финансирования. Отдел НИИ по разработке новых нанопористых материалов на основе боросиликатного стекла ликвидирован. Специалисты оказались в США, где в космическом агентстве «НАСА» работы не прекращаются не на один день.

Характеристики мембранных КПМ являются основополагающими, поскольку позволяют предсказать производительность мембранных аппаратов на космической орбите по прошествии того или иного промежутка времени. Другими словами сколько мембранных аппаратов надо взять с собой на орбиту, для очистки жидкостей образующиеся в результате жизнедеятельности человека. Для более качественного решения этого вопроса в проблемной лаборатории РХТУ им Д.И. Менделеева использована схема параллельного сбора экспериментальных данных. Схема включала в себя аппараты с полимерными (АЦМ) мембранными и ячейку с КПМ мембранными. Ячейка с КПМ подсоединялась параллельно, но могла быть подсоединенна и автономно. Характеристики разделения аппаратов КПМ являлись «как бы» критериальными в количественной оценке нестабильно работающих аппаратов с полимерными мембранными. При этом характеристики работы АЦМ сопоставлялись с характеристиками работы КПМ. При этом осуществлялось разделение влияния внешних факторов (температуры, давления, pH, концентрации растворённых веществ и их природы) на характеристики разделения мембранных от влияния внутренних факторов, обусловленных поведением самой мембранный, в частности изменением её структуры пор. Каждый раз осуществлялось соотношение количественных величин рабочих параметров, поскольку всегда неизменным вставал вопрос о производительности аппарата с полимерными мембранными через неделю, месяц, год.

Частично обозначенные проблемы остаются проблемными до настоящего времени. Не решен вопрос производства отечественных мембранных, в которых доля крупных пор на кривой распределения пор по радиусам была бы наименьшей. Отсутствуют мембранные, которые бы в условиях, отличающихся от комнатных, имели как высокие селективности, так и максимальные производительности.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОБРАТНЫМ ОСМОСОМ

сти. Естественно трудным остается вопрос получения мембран со стабильными характеристиками разделения. Не восстановлено производство мембран КПМ или им подобных с критериально - стабильными характеристиками разделения для расчетного сопоставления при разработке нового типа аппаратов.

В целом отечественные разработки мембранный технологии развивается на частном энтузиазме несмотря на недофинансирование и его полное отсутствие на обозначенных выше прорывных основополагающих направлениях. Образцы новых мембранных аппаратов с принципиально новыми способами крепления мембран при высоких рабочих давлениях и температурах исходных растворов демонстрировались в разные годы на выставках ВДНХ и ЭКПОЦЕНТРЕ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Изд. 2-е. Часть 2. Массо-обменные процессы и аппараты. М.: Химия, 1995.- 368 с.
2. А.А. Свитцов, Введение в мембранныю технологию, М., ДeЛи принт, 2007, 208 с.
3. Захаров С.Л., Ефремов А.В. Исследование селективной пористости мембран с жесткой структурой. Известия высших учебных заведений. Серия «Химия и химическая технология». – 2011. – № 9 (54) – С. 112-113.

**Захаров С.Л.** – д.т.н., профессор, Российской государственный химико-технологический университет,

**Володин А.Х.** – Управление социальной защиты населения района Бирюлево Западное