

Мембранные технологии в России

Мировой мембранный рынок растет на 8–12 % ежегодно последние 50 лет. Россия способна присоединиться к этому процессу на любом этапе

Алексей Свитцов, к. т. н.

Природа выбрала полупроницаемую мембрану как единственный инструмент разделения жидких и газовых смесей в живых организмах. Неудивительно, что усилия химиков и технологов планеты направлены на применение этой модели в искусственных средах. Мембранные процессы разделения смесей принято считать подотраслью химической промышленности: мембраны используются для выделения и очистки различных продуктов, в том числе синтезированных на основной стадии технологической цепочки. При этом никогда не утрачивается связь между идеальным природным процессом и моделью, создаваемой человеком. Среди множества специальных дисциплин, изучаемых студентами РХТУ им. Д. И. Менделеева, есть курс «Биологические мембраны».

С помощью мембран можно получить питьевую воду, чистойший водород, очистить стоки, изготовить замечательные пищевые продукты. Нет числа возможным применениям мембран, и именно благодаря экспансии мембранных процессов разделения в новые сферы мировой мембранный рынок ежегодно прибавляет 8–12 % в течение последних 50 лет. Сегодня очистка крови в аппаратах искусственной почки, всем известный процесс ге-

модиализа, проводится исключительно на мембранах.

В нашей стране основным фактором, тормозящим развитие мембранного рынка, является неосведомленность специалистов, принимающих решения в научно-промышленной сфере.

Основные понятия

На 11 Всероссийской мембранной конференции, состоявшейся в 2010 году, присутствовало 300 делегатов и было представлено около 200 докладов. 20 % сообщений были посвящены изучению физико-химического механизма переноса вещества через мембраны, процессу «полупроницаемости».

Термин «полупроницаемая» означает, что одно вещество мембрана пропускает, а другое задерживает. Иногда мембранный процесс разделения называют молекулярным фильтрованием, и выяснение причин различного поведения веществ в мембране — это увлекательное и весьма полезное занятие, неисчерпаемое как атом. Проблема еще и в том, что заставить вещество пересекать мембрану можно несколькими способами. Например, можно создать градиент температур (процессы — мембранная дистилляция и первопорация). Можно использовать разность концентраций (диализ, разделение газов), наложить

поперечное электрическое поле (электродиализ, мембранный электролиз). Наконец, можно просто повысить давление с одной стороны мембраны (обратный осмос, нанофильтрация, ультрафильтрация). Чтобы описать это логически, законами и математически, приходится добираться до глубин строения вещества.

В последние годы стимул исследованиям придало то обстоятельство, что мембранная технология оказалась значительной частью нанотехнологии, поскольку эффект селективности мас-

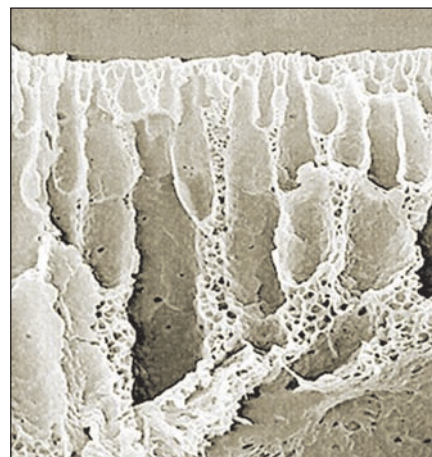


Рис. 1. Поперечный разрез анизотропной полупроницаемой мембраны

сопереноса во многом определяется наличием наноразмерных пор в мембранах. Получению мембран и изучению их свойств было посвящено более 35 % докладов конференции мембранщиков.

Путь от начала исследований в этой сфере довольно долог. Если технология находится на стадии НИОКР, до промышленного применения далеко. Однако на современном рынке присутствуют десятки серийно освоенных мембран, и мало кто из исследователей начинает свою работу с нуля.

Очевидно, что для очистки жидких радиоактивных отходов и для получения детского творога нужны разные мембраны, и направления экспансии мембранных технологий не исчерпаются очень долго.

Мембранными материалами являются многочисленные полимеры, как природные (целлюлоза), так и синтетические. Сюда же относятся разного рода керамика, графит и металлические сплавы. Полимерные мембраны занимают около 80 % рынка, керамические — около 15 %. Но выделить абсолютно чистый водород из любых его газовых смесей можно только на металлических мембранах.

Свойства мембран

Главное свойство мембраны — это селективность, разделяющая способность для компонентов смеси. Не менее важным свойством, определяющим возможность ее промышленного применения, является удельная производительность. Когда в начале 60-х годов прошлого века первые энтузиасты во главе с профессором Ю. И. Дытнерским из МХТИ им. Д. И. Менделеева продемонстрировали разделяющее свойство полимерных пленок, отношение научного сообщества было весьма скептическим, и прежде всего из-за «капельной» производительности. Чуть позже появился американский патент № 2122133,

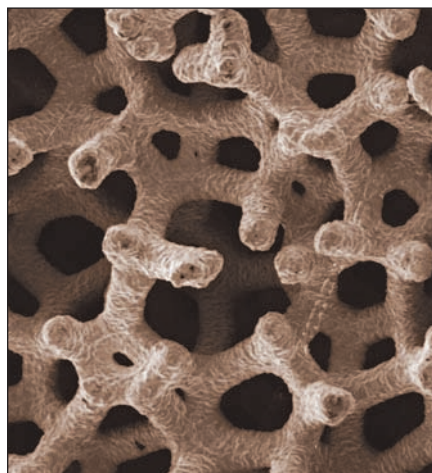


Рис. 3. Клетки кожи человека



Рис. 2а. Мембранный модуль рулонного типа

в котором авторы Леб и Сурираджан показали, что мембрана должна быть двухслойной с очень тонкой кожицей, которая и обеспечивает эффект разделения, а толстый нижний слой служит лишь суппортом и не имеет гидравлического сопротивления (рис. 1).

Авторы рассказали, как создать подобную структуру, и дату выдачи патента можно считать днем рождения промышленной мембранной технологии. Сегодня все мембраны именно так, и их по праву можно отнести к композиционным материалам. Один квадратный метр мем-

браны может обеспечить за час получение десятков и даже сотен литров продукта.

В России имеются свои производители мембран. ЗАО НТЦ «Владипор» выпускает широкий ассортимент полимерных мембран, ООО «Керамикфильтр» — высококачественные керамические мембраны, ОАО «Щекиноазот» — ионообменные мембраны для электролиза. При этом потребность России в мембранах покрывается отечественными компаниями на 2–3 %. Поэтому во Владимире запланировано строительство крупнейшего в Европе завода по выпуску полимерных мембран на основе отечественных технологий. Этот рыночный бизнес-проект финансируется ГК «Роснано» и называется «Русские мембраны».

Машины, аппараты

2 % докладов конференции было посвящено разработкам в области мембранной аппаратуры — признак того, что в этом сегменте достигнут своего рода предел. Важнейшим параметром, характеризующим мембранный аппарат, является плотность упаковки, измеряемая площадью



Рис. 2б. Мембранный модуль капиллярного типа

мембран, помещающихся в одном кубическом метре объема аппарата. В зависимости от формы мембраны, а она может быть листовая, трубчатая или капиллярная, плотность упаковки составляет от 300 до 3000 м²/м³. На рис.2 показаны две наиболее распространенные конструкции: а — плоская мембрана совместно с другими конструктивными элементами свернута в виде рулона; б — капиллярная мембрана сформирована в виде пучка.

Если учесть высокую удельную производительность мембран, можно утверждать, что мембранный аппарат по

компактности намного опережает любой другой массообменный аппарат, выполняющий сходную функцию: выпарной аппарат, ионообменную колонну, кристаллизатор-отстойник и т. д.

Компании-изготовители мембран выпускают их в виде готовых модулей. Замена мембран, а их, конечно, приходится заменять, упрощена сегодня до уровня замены картриджа в бытовом фильтре. Замена производится один раз в три года, а то и в пять лет.

Погода в доме

Почти 40 % докладов, и так бывает на любой мембранной конференции, были посвящены разработкам новых технологий с применением мембран. Как столяр выбирает стамеску под конкретную работу, так и наш инструмент — мембранный процесс — необходимо адаптировать, подогнать под конкретный продукт: выбрать мембрану, оценить ее ресурс, попробовать увеличить ресурс, оптимизировать энергозатраты, разработать методику регенерации, рассчитать аппарат и т. д. Мембранщики, как и все российские разработчики сегодня, переживают ▶

Таблица 1. Сегментирование мирового мембранного рынка

№ п/п	Наименование сегмента	Задачи мембранных технологий	Отрасли-потребители
1	Водоподготовка		
1.1	Получение сверхчистой воды	Удаление органических и микробных загрязнений, обессоливание воды	Атомная и тепловая энергетика, микроэлектроника, медицинская техника, фармацевтика
1.2	Получение обессоленной и умягченной воды	Удаление гетерогенных загрязнений, снижение солесодержания воды	Тепловые сети, малая энергетика, производство напитков, химическая промышленность
2	Получение питьевой воды		
2.1	Централизованное водоснабжение	Удаление токсичных минеральных и органических загрязнений, нормирование солесодержания	Водопроводные станции
2.2	Опреснение солоноватых и морских вод	Снижение солесодержания, нормирование соотношения компонентов	ЖКХ
2.3	Локальная доочистка воды (концепция «третий кран», бытовые водоочистители)	Удаление микробных и железистых загрязнений, снижение жесткости, нормирование солесодержания	ЖКХ, строительные организации, торговые организации
2.4	Выработка бутилированной воды	Удаление микробных и железистых загрязнений, снижение жесткости, нормирование солесодержания	Специализированные компании
2.5	Мониторинг качества питьевой воды	Анализ гетерогенных и микробных загрязнений	СЭС, аналитические лаборатории водоканалов
3	Водоотведение (очистка муниципальных стоков)		
3.1	Совмещение аэротенка с мембранным отделением активного ила	Выведение очищенной воды из аэротенков	ЖКХ
3.2	Доочистка воды после очистных сооружений	Удаление остаточной биомассы, снижение цветности сочетанием с активированным углем	Агропромышленный комплекс
3.3	Мониторинг качества очищенной воды	Анализ гетерогенных и микробных загрязнений	СЭС, аналитические лаборатории водоканалов
4	Очистка промышленных стоков. Российский рынок не сформирован		
4.1	Очистка стоков, содержащих красители	Выделение и утилизация красителей, возврат очищенной воды на повторное использование	Текстильная промышленность, кожевенная промышленность, производство искусственного волокна, целлюлозно-бумажная промышленность
4.2	Очистка стоков, содержащих цветные металлы	Концентрирование и утилизация металлов, возврат очищенной воды на повторное использование	Гальванические производства, металлообработка, шахтные воды горнодобывающей промышленности
4.3	Очистка стоков, содержащих нефтепродукты	Вывод и утилизация нефтепродуктов, возврат очищенной воды на повторное использование или сброс в канализацию	Ливневые стоки автобаз, нефтеперерабатывающая промышленность, автомойки, металлопереработка (СОЖ)
4.4	Очистка стоков, содержащих жиры и белки	Вывод жиров и белков, возврат очищенной воды на повторное использование	Молочная промышленность, сыроделие, производство растительных масел, мясоперерабатывающая промышленность, производство рыбных продуктов

№ п/п	Наименование сегмента	Задачи мембранных технологий	Отрасли-потребители
4.5	Очистка стоков, содержащих растворенные и эмульгированные органические загрязнения	Концентрирование и очистка органических компонентов, возврат очищенной воды на повторное использование	Химическая промышленность, нефтеоргсинтез, нефтепереработка, производство спирта, биотехнология, производство фармацевтических препаратов
4.6	Переработка жидких радиоактивных отходов	Отделение радионуклидов от прочих химических веществ, концентрирование радионуклидов, возврат очищенной воды на повторное использование и сброс в канализацию	Атомная энергетика, снятие с эксплуатации ядерных объектов, утилизация ядерного оружия
5	Применение МТ в технологии различных продуктов		
5.1	Биотехнология	Отделение биомассы от культуральных жидкостей, выделение продуктов биосинтеза, обессоливание и очистка белков, концентрирование целевых компонентов, клеточное культивирование в МБР, стерилизация жидкостей	Производство витаминов, ферментов, аминокислот, БАВ, органических кислот, углеводов, полисахаридов, антибиотиков и т. п.
5.2	Медицина	Проведение операций очистки и разделения крови, применение в аппаратах «искусственное легкое», «искусственная поджелудочная железа», использование в диагностических процедурах, управляемая регенерация тканей, пролонгированные лекарства	Медицинские учреждения, производство медицинской техники
5.3	Пищевая промышленность	Выделение компонентов молока, концентрирование белков, производство пива и водки, фильтрация вин и соков, получение растительных масел, очистка экстрактов и гидролизатов, получение творога, очистка рассолов и бульонов, фракционирование сахара	Перерабатывающая и консервная промышленность, молочная промышленность, производство ликеро-водочных изделий и напитков
5.4	Химическая промышленность	Разделение и очистка продуктов химического синтеза, разделение азеотропных смесей, регенерация гомогенных катализаторов, очистка гликолей, разделение мономеров и полимеров	Химические предприятия основного органического синтеза
5.5	Нефтеперерабатывающая промышленность	Очистка и осушка жидких топлив, сероудаление из продуктов перегонки, депарафинизация	Нефтеперерабатывающая промышленность, авиация
6	Разделения газовых смесей		
6.1	Разделение воздуха на азот и кислород	Получение чистого азота, получение обогащенного и обедненного кислородом воздуха	Нефтедобыча, транспортировка нефти и горючих жидкостей, хранение плодов и овощей, пожаротушение, рыбозарведение, биоочистка стоков
6.2	Выделение водорода из газовых смесей	Получение чистого водорода для его утилизации или для возврата в процесс	Синтез аммиака, процессы гидрирования в химических производствах, водородная энергетика
6.3	Выделение серосодержащих газов из газовых смесей	Очистка газовых смесей от SO ₂ и H ₂ S	Тепловая энергетика, очистка газовых выбросов
6.4	Обогащение метана из природных газов	Разделение метана и других углеводородов	Газодобывающая промышленность
6.5	Обогащение биогаза	Разделение метана и углекислого газа	Получение биотоплива



Рис. 4. Общий вид мембранного биореактора



Рис. 5. Типичная мембранная установка

кризис взаимоотношений с менеджерами предприятий, не желающих не только финансировать НИОКР, но даже внедрять готовые решения, позволяющие достичь экономии. Не последнюю роль играет то обстоятельство, что управляющие нового поколения в большинстве своем не имеют технического образования и психологически ощущают себя временщиками.

Структура сбыта

Как бы там ни было, человеческое любопытство не отменить, поэтому попытки применить мембранное разделение к новым направлениям человеческой жизнедеятельности будут продолжаться. Обобщение успешной реализации таких попыток в мире представлено таблицей 1.

Пионеры больших дорог

При продвижении на рынок передовым дозором становятся инженеринговые компании, которые заняты выпуском мембранных установок. Именно они

покупают и используют мембранные модули, новые технологии, именно для них вузы готовят молодых специалистов. В России существует около 150 таких компаний, что говорит о высокой привлекательности мембранного бизнеса.

В России сохранился и развивается самый главный ресурс любого научного направления — сообщество ученых и технологов.

Пятая часть из них участвовала во Всероссийской мембранной конференции, некоторые — даже в проведении НИОКР, как правило, совместно с вузами и академическими институтами.

Проблемы мембранного российского рынка — в однобокости его существования и развития: все умеют, и хорошо умеют, заниматься водоподготовкой, практически из любого источника получая воду необходимой степени очистки. В приведенной таблице это — первый и частично второй сегменты рынка. Для России задача развития рынка мембран — государственная, но сводится

пока к программе «Чистая вода». Большая часть мембранного рынка, сосредоточенная в иных сегментах, в России не получила своего развития.

Точки прорыва

В то же время, революционные технологические решения, связанные с применением мембран, развиваются стремительно. Это, прежде всего, мембранные реакторы — гибридные процессы, совмещающие синтез и селективный вывод продукта из зоны реакции. Основное применение реакторы нашли на станциях биологической очистки коммунальных стоков, что позволило в десятки раз сократить объемы аэротенков (рис. 3). В мире работают уже сотни МБР (мембранных биореакторов), в России — единицы.

Близкой к мембранным реакторам является концепция мембранного ката-

лиза, когда катализатор иммобилизуется на мембране, и образующийся продукт немедленно отводится через мембрану, не тормозя реакцию.

Кардинальное повышение эффективности мембранного разделения возможно при совмещении мембранного и какого-то иного метода сепарации. Например, совмещенный процесс дистилляции и диффузии через мембрану дает возможность легко разделять азеотропные смеси, очищать продукты нефтехимического синтеза без многостадийной ректификации. Сочетание реагентных методов с ультрафильтрацией (мицеллярно-усиленная ультрафильтрация) позволяет эффективно перерабатывать стоки с высокотоксичными, но низкоконцентрированными загрязнителями (отходы гальваники, радиоактивные стоки). Замечательные возможности открывает сочетание мембранного разделения с экстракцией, снижая в десятки раз расход экстрагента и резко повышая эффективность процесса. Буквально парой слов следует упомянуть мембранные топливные элементы, мембранные сенсоры для аналитических исследований, мембранные пролонгаторы лекарственных средств, мембранные искусственные органы.

Это все — недалекое будущее мембранной технологии. Но уже сегодня в России сохранился и развивается самый главный ресурс любого научного направления — сообщество ученых и технологов, преподавателей и молодых специалистов, посвятивших свою деятельность интереснейшему, одному из самых перспективных сегментов науки и техники. ■



Рис. 6. Мембранный биореактор на производстве Envirogen (США)

Создание систем лабораторного контроля и экологического мониторинга

ЗАО «Экрос-Инжиниринг» - специализированное предприятие по исполнению проектов стационарных и модульных лабораторных комплексов, реконструкции действующих лабораторий и оснащению их современными аналитическим оборудованием, созданию стационарных и передвижных постов экологического контроля и систем производственного экологического мониторинга.

Предприятие образовано в апреле 2007 года.

ЗАО «Экрос-Инжиниринг» - это современная, динамично развивающаяся компания, обладающая научными, техническими и производственным потенциалом, за время своей деятельности зарекомендовала себя надежным партнером многих компаний России, ближнего и дальнего зарубежья.

Общая численность персонала составляет 206 человек по состоянию на июнь 2010 года. Сорок семь процентов сотрудников имеют высшее профессиональное образование, из них 6 кандидатов наук. ЗАО «Экрос-Инжиниринг» обладает всеми необходимыми лицензиями и сертификатами.

Основные направления деятельности ЗАО «Экрос-Инжиниринг»

- ◆ Выполнение функций генподрядчика по строительству, капитальному ремонту и реконструкции зданий и сооружений специального назначения
- ◆ Разработка полного пакета проектной и конструкторской документации с учетом технологии и особенностей комплектации оборудования и материалов
- ◆ Разработка и внедрение автоматических систем экологического мониторинга
- ◆ Разработка экологических постов и передвижных лабораторий
- ◆ Производство модульных зданий и мобильных лабораторных комплексов
- ◆ Подготовка лабораторий к аккредитации
- ◆ Внедрение автоматизированных лабораторных информационных систем
- ◆ Техническое сервисное обслуживание приборов

ЗАО «Экрос-Инжиниринг» обладает большим потенциалом для выполнения всех обозначенных видов услуг и работ, опираясь на:

опыт и высокую квалификацию менеджеров и инженеров;

собственную производственную базу в Санкт-Петербурге и г. Омске;

долгосрочное партнерство с ведущими мировыми производителями приборов и оборудования.

Созданный в ЗАО «Экрос-Инжиниринг» потенциал позволили нам решить сложные ответственные задачи государственного значения:

создание систем экологического мониторинга в рамках Федеральной целевой программы «Уничтожение запасов химического оружия в Российской Федерации»;

реконструкция и техническое перевооружение главного лабораторного корпуса ФГУП «ГосНИИ-ОХТ»;

проектирование и капитальный ремонт лабораторного корпуса ФГУ «ЗЗ ЦНИИИ МО РФ».