

МЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ ОХРАНЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Тимашев С. Ф.

1. ВОЗМОЖНОСТИ МЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ. НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ

Мембранная технология может стать базовой при решении ряда экологических проблем в разнообразных отраслях промышленности и сельского хозяйства. В мировой практике существуют яркие примеры крупномасштабного применения мембранной технологии для решения экологических проблем.

Прежде всего отметим находящийся в стадии реализации проект США по снижению засоленности реки Колорадо от 1,5 г/л до $\approx 0,7$ г/л (питьевые воды по содержанию солей). Соответствующий водоперерабатывающий комплекс строится в г. Юма (шт. Аризона) вблизи границы с Мексикой. При этом часть стока реки должна пропускаться через станции обессоливания, где стоят блоки мембранных установок для обратного осмоса производительностью 400 тыс. м³ в сутки. В этих условиях через мембраны под действием давления, большего осмотического (рабочее давление составляет обычно $\approx (3-5)$ МПа), продавливается растворитель (вода), а ионы соли задерживаются. Обессоленные потоки воды должны смешиваться с необрабатываемой частью стока р. Колорадо так, чтобы на территории Мексики воды реки имели приемлемое солесодержание.

Следует подумать о возможности в будущем совмещения комплексной (на основе фосфорорганических соединений) стабилизации (предотвращения солеотложения) воды¹ с мембранной обработкой воды в системах оборотного водоснабжения посредством ультрафильтрации, электродиализа, обратного осмоса. Это тем более желательно, поскольку в случае стабилизации воды комплексонами часть оборотного стока все равно приходится обновлять, и фосфорорганические соединения оказываются вне водооборотной системы.

Установки для обратного осмоса используются и для получения питьевой воды в больших объемах, что реализовано в Саудовской Аравии на фабриках опреснения солоноватых вод, производящих в сутки $\approx 10^4$ м³ питьевой воды. Острота проблем с водоснабжением в нашей стране, особенно в южных регионах, хорошо известна. Установлены достаточно большие запасы солоноватых вод ($\approx (3-6)$ г/л), что позволяет думать о решении проблем по обеспечению водой населенных районов достаточно безопасными для экологии мембранными способами. Очевидно, что успех соответствующих разработок будет определяться не только наличием мембран с высокими техническими показателями (по производительности, избирательности, химической и термической стойкости, механическим свойствам), но и созданием высокопроизводительных мембранных аппаратов,

¹ См. статью М. И. Кабачника и Н. М. Дятловой «Химические аспекты оборотного водоснабжения» в настоящем номере.

наличием необходимого оборудования, в том числе насосов большой мощности.

Важно отметить, что определенные успехи в решении проблем водоснабжения уже имеются и у нас в стране. В Тамбове серийно с 1974 г. выпускаются электродиализаторы типа «Родник» с ионообменными мембранами МК-40 и МА-40 (разработка НИИПМ НПО «Пластмассы») с производительностью 1—4 м³/ч. Эти установки полностью обеспечивают питьевой и хозяйственной водой, получаемой из соленоватых вод артезианских скважин, более 1 млн. человек в населенных пунктах Казахстана, Поволжья, Украины, Калмыкии, Средней Азии.

В настоящее время функционируют головные электродиализные установки деминерализации воды для нужд Прикумского завода пластмасс. Такие установки (их мощность ≈ 50 м³/ч) обеспечивают снижение соледержания с 0,75—0,8 г/л до 0,1 г/л. При этом часть деминерализованной воды используется в паровых котлах низкого давления, а оставшаяся доля после ионообменной доочистки расходуется на технологические цели — при производстве этиленоксида. Значительное снижение количества сточных вод при такой технологии водоподготовки обеспечивает заметный экологический эффект.

Как уже указывалось в статье академика А. В. Фокина², потери ртути на наших предприятиях при производстве 1 т каустической соды (общее количество более 0,5 млн. т в год), достигают 600 г, тогда как потери ртути при производстве каустической соды в западных странах более чем на порядок меньше. По-видимому, единственным выходом является переход (как в Японии) на мембранный способ производства каустика чистых кондиций. На этом пути предстоит решить еще очень много проблем, несмотря на закупки у фирмы «Асахи Гласс» (Япония) технологии перфторированных карбоксилсодержащих мембран и электролизеров. Следует отметить, что в мире в 1988 г. производилось около 4,5 млн. т в год «мембранного» каустика [1].

В ряде крупных химических и нефтехимических производств начинают внедряться мембранные методы выделения целевых компонентов из технологических газовых смесей, что, помимо ресурсосбережения, позволяет уменьшить или предотвратить вредные газовые выбросы в воздушную среду. Применение фирмой «Монсанто» (США) мембранных установок с производительностью до $2,8 \cdot 10^4$ м³/ч позволяет возвращать в производство до 9% неиспользованного при химических превращениях водорода и концентрировать его до 99% с последующим использованием для синтеза аммиака, метанола, гидроочистки, гидрокрекинга. Высокий ресурсосберегающий эффект достигается в Саудовской Аравии, где фирма «Чиеда» построила завод воздушной сепарации для обеспечения кислородом (1200 т/сут) и азотом (10^4 м³/ч) высокой чистоты нефтехимического комплекса (заводы по производству этилена, этиленгликоля, полиэтилена низкой плотности). Отметим здесь и отечественные результаты — разработки газоразделительных мембран из поливинилтриметилсилана и мембранных газоразделительных аппаратов³. Промышленно выпускаемые НПО «Криогенмаш» установки используются для биологической очистки сточных вод, оксигенизации воды при искусственном разведении рыб и других живых организмов, в медицинских целях, для создания контролируемой газовой среды при хранении различных видов продукции сельского хозяйства и для других целей. Можно привести и другие примеры эффективного использования мембранной технологии.

² См. статью А. В. Фокина «Защита окружающей среды и химическая экология» в настоящем номере.

³ См. статью Н. А. Платэ, В. В. Теплякова, В. С. Хотимского, Ю. П. Ямпольского «Некоторые возможности газоразделительных мембран для создания экологически чистых производств» в настоящем номере.

2. РЕШЕНИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ МЕМБРАННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ — ОСНОВА СТАНОВЛЕНИЯ И ШИРОКОГО ВНЕДРЕНИЯ В ПРАКТИКУ МЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Успехи и практические достижения мембранной технологии возможны лишь на основе всестороннего исследования широкого круга научных проблем, о чем свидетельствует богатый опыт многих зарубежных фирм. Коротко перечислим основные из таких проблем.

1. Вопросы создания материалов (органических полимерных, неорганических, в частности, керамик) для мембран. При этом имеется в виду широкий комплекс проблем мембранного материаловедения, относящихся к выбору условий синтеза и переработки материалов, к формированию мембран, их модифицированию (объемному, поверхностному) [2, 3].

2. Вопросы физикохимии мембранного разделения. К этому кругу проблем относятся задачи выявления природы избирательности переноса через мембрану того или иного компонента, установления структуры мембран на различных пространственных масштабах (начиная с нанометров) и связи структуры с функциональными характеристиками мембран [4, 5]. Механизмы транспорта ионов и молекул в синтетических мембранах различного типа разнообразны. При процессах микрофильтрации (задерживаются частицы в диапазоне размеров от 0,02 мкм до 10 мкм) и ультрафильтрации (отделяются частицы, характеризующиеся массой от 500 дальтон вплоть до размеров 0,1 мкм [5]) определяющую роль играют «ситовые» эффекты. Однако уже при ультрафильтрации значительное влияние на эффективность процесса разделения, в том числе на его эффективность, оказывают поля поверхностных сил — эффекты взаимодействия (кулоновского, дисперсионного, «структурного» [6]) проходящих через поры мембраны частиц с поверхностью пор. Поэтому модификация поверхности пор (например, путем прививки заряженных или полярных функциональных групп) может существенно изменить эффект задержки.

Поля поверхностных сил проявляются определяющим образом в процессах обратного осмоса, когда при воздействии давлений, больших осмотического, через систему субмикропор или субмикроканалов происходит продавливание растворителя или отдельных компонентов сложного растворителя. В этом случае эффективность разделения (при выполнении необходимых требований к химической и механической стойкости селективного слоя мембран) зависит от топологии путей протекания растворителя и от полей поверхностных сил, создаваемых функциональными группами используемого материала.

В определяющем большинстве существующих в настоящее время процессов электродиализа и электролиза, газоразделения, переработки (испарения через непористые «диффузионные» слои) реализуется диффузионно-дрейфовый перенос компонентов через мембраны, так что эффект мембранного разделения определяется для разнообразных компонентов смесей различиями в константах проницаемости (P) материала, из которого состоит мембрана. Эти величины формируются как произведение двух факторов — термодинамического (константа растворимости компонента в данном материале — константа Генри) и кинетического (коэффициент диффузии, электрическая подвижность и т. д.). В ряде случаев существенными оказываются эффекты взаимного влияния проникающих компонентов, например, вследствие пластификации полимерной матрицы при растворении в ней одного из компонентов.

Уже при таком уровне феноменологического описания трансмембранного переноса возникает много проблем, связанных с адекватным представлением технологических параметров мембран и поиском путей повышения эффективности мембранного разделения — прежде всего за счет

выбора материалов для мембран. Проблемы неизмеримо возрастают при переходе к интенсивным режимам массопереноса через мембрану (высокие плотности проходящих токов, высокие действующие давления), когда указанные квазиравновесные представления оказываются неадекватными. Избирательность разделения в этих условиях может целиком определяться кинетическими факторами и зависеть в большей мере от структуры мембран на различных пространственных масштабах, от состояния поверхности мембран и межфазных границ в объеме мембран [4]. Понимание природы указанных особенностей переноса позволяет целенаправленным образом модифицировать мембранный материал и поверхность мембран с целью получения мембран с требуемыми целевыми характеристиками.

Качественно новые закономерности, а следовательно, новые возможности поиска при разработке мембран последующих поколений могут проявляться при использовании для разделения смесей барьерных мембранных структур — ультратонких слоев субмикроскопической (10 — 100 нм) толщины из органических или неорганических материалов, сформированных на ультра- и микрофильтрационных подложках. При этом проницаемость мембранного слоя для частиц определенного сорта зависит от соотношения двух пространственных масштабов: минимальной длины a_0 — среднего расстояния между центрами локализации перемещающейся в мембране частицы, а также длины корреляции ξ — характерного размера структурной неоднородности барьерного слоя, в пределах которого реализуется «связность» по частицам рассматриваемого типа. На масштабах, больших ξ , система является однородной, поэтому константа проницаемости Π мембран с толщиной $d \gg \xi$ имеет обычный смысл. Однако при $d < \xi$ параметр Π уже не является постоянной величиной, поскольку проходящий через мембрану в стационарных условиях поток частиц зависит от величины d нетрадиционным образом (фрактальный режим переноса). Из-за различия в значениях вероятностей элементарных перескоков для разных частиц локальные неоднородности структуры слоя по-разному «чувствуются» проходящими частицами разного типа. Поэтому барьерный слой может представлять, например, однородную систему для одних частиц i ($d \gg \xi_i$), но быть фрактальной системой для других частиц j ($d < \xi_j$). Тем самым приходим к выводу о возможной зависимости избирательной проницаемости частиц различного типа от толщины барьерных слоев. Это может служить основой для целенаправленного поиска высокопроницаемых и высокоселективных по целевым компонентам барьерных структур с различающимися химическими составами и пространственной структурой.

3. Вопросы оптимальной организации процессов разделения. Преимущества мембранных методов для решения конкретных проблем выделения или концентрирования целевых компонентов из газовой или жидкой смеси в полной мере могут проявиться лишь при оптимальной организации процесса в целом. При этом могут реализоваться комбинированные (интегрированные) схемы процесса, предусматривающие использование наряду с мембранными блоками (в общем случае — с мембранными каскадами, включающими рециклы [7]) других технологических узлов (дистилляции, ректификации и др.).

Такие комплексные подходы могут быть реализованы на основе математического моделирования технологических процессов и создания банка моделей мембранно-сорбционных процессов и трансмембранного переноса компонентов смесей. Только при выборе оптимальных схем процессов, оптимальных конструкций аппаратов, типов мембран, режимов процессов, определяемых на основе построенных математических моделей, могут полностью проявиться все преимущества мембранной технологии.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ

Академик И. В. Петрянов-Соколов отмечал требуемую стратегическую направленность научных исследований в условиях надвигающейся экологической беды: «Нет такого процесса, который нельзя было бы сделать безотходным...» Можно ожидать, что широкое использование мембранных методов разделения позволит приблизиться к утверждению этого принципа в жизни. Ниже будет указано несколько отечественных разработок, которые могли бы стать основой технологических решений, приемлемых с экологической точки зрения.

- а). Разработка базовых мембранных технологических процессов выделения и утилизации аммиака из газовых и жидких выбросов химических и металлургических производств;

В современном производстве аммиака (используются агрегаты синтеза мощностью ≈ 450 тыс. т аммиака в год) отсутствуют замкнутые материальные циклы по аммиаку. Из цикла синтеза с целью предотвращения накопления посторонних газов свыше определенного уровня ($\approx 10\%$) выводится часть циркуляционной газовой смеси — так называемые продувочные газы ($\approx (7-8)$ тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$), а из сборника жидкого аммиака — танковые газы ($\approx 2,5$ тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$). После конденсации аммиака (при охлаждении до 243—248 К) содержание аммиака в продувочных и танковых газах составляет соответственно 1,4 и 10,7 об.%. Аммиак либо дожигается в горелках трубчатых печей конверсии природного газа, что ведет к дополнительным потерям исходного сырья и к значительному загрязнению природной среды оксидами азота⁴, либо отмывается водой с образованием аммиачной воды ($\approx (3-6)$ об.% аммиака), которая во многих случаях рассматривается как жидкий сток.

В связи с этим крайне актуальным с экологической точки зрения (при несомненном ресурсосберегающем эффекте) является решение проблемы замыкания материальных циклов по аммиаку, что, в частности, может быть достигнуто при использовании высокоизбирательных мембран для извлечения аммиака из танковых и продувочных газов, а также из аммиачной воды — жидкого стока производства.

Экологически важные задачи связаны с реализацией пока еще используемых промышленностью процессов газового азотирования — химико-термической обработки стальных деталей с целью повышения их прочности, коррозионной стойкости и износостойкости за счет насыщения приповерхностного слоя азотом, образующимся при термической диссоциации аммиака, который входит в состав используемых рабочих газов. Существенным недостатком технологии азотирования является частичная ($\approx 50\%$) термическая диссоциация аммиака, вследствие чего оставшаяся часть аммиака дожигается с образованием оксидов азота. Очевидна необходимость замыкания цикла по аммиаку и в этом случае, поскольку только на предприятиях Министерства автомобильного и сельскохозяйственного машиностроения годовая потребность в аммиаке составляет $(3-4) \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Задачи выделения аммиака из газовых смесей возникают и в ряде биотехнологических производств.

Для решения указанного комплекса проблем может быть использована мембранная технология разделения содержащих аммиак смесей. В качестве базовой для этих целей может быть использована мембрана в виде

⁴ По-видимому, именно выбросы оксидов азота вместе с аварийными выбросами аммиака на Щекинском ПО «Азот» нанесли непоправимый вред усадьбе Л. Н. Толстого в Ясной Поляне.

полого волокна с аномально высокими параметрами проницаемости и избирательности по аммиаку ($P_{NH_3} \approx 5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{атм})$, $\alpha = P_{NH_3}/P_{H_2} \approx 10^3$), разрабатываемая в настоящее время в Научно-исследовательском физико-химическом институте им. П. Я. Карпова совместно с рядом других организаций (Киевский филиал ВНИИВПроект НПО «Химволокно», Охтинское НПО «Пластполимер», Государственный научно-исследовательский и проектный институт азотной промышленности и продуктов органического синтеза, Московский инженерно-физический институт, Институт химической физики АН СССР) [8, 9]. Основа мембраны — перфторированный сульфосодержащий сополимер с высокой термической и химической стойкостью. Были найдены эффективные способы модифицирования сополимера, разработаны клеевые компаунды для газоразделительных мембранных элементов, проведены расчеты процессов разделения газов в полуволоконных мембранных модулях при различных технологических схемах организации процессов. В отличие от известных мембран на основе фторопластов [10] данная мембрана не подвержена заметным эффектам пластификации и не изменяет своих характеристик при изменении состава содержащей аммиак смеси. Проведенные испытания мембран и газоразделительных элементов на их основе показали принципиальную возможность решения на промышленном уровне указанных выше задач ресурсосбережения и предотвращения вредных выбросов в окружающую среду.

б). Разработка мембранных технологий выделения и концентрирования «кислых» компонентов из газовых смесей

В последние годы серьезные экологические проблемы возникли в связи с разработкой некоторых газовых месторождений, прежде всего в районе Оренбурга и Астрахани. Основная причина экологической опасности — низкое качество технологии переработки газа, используемого обогатительного, что приводит к выбросам в атмосферу сероводорода, диоксида серы, диоксида углерода. Диоксид серы выбрасывается также в атмосферу во многих промышленных производствах: его выбросы теплоэлектростанциями составляют в нашей стране более 8 млн. т [11], несколько миллионов тонн выбрасывают горно-металлургические комбинаты (Норильск и др.)⁵. Проблемы выделения и концентрирования кислых газов остро стоят на предприятиях черной металлургии: оксидов серы — на коксохимических предприятиях, диоксида углерода — в доменных производствах и т. д. Известна и серьезная опасность для природной среды газовых выбросов автотранспорта.

Выбросы в атмосферу экологически опасных компонентов, в том числе кислых газов, приводят к серьезным последствиям. Это прежде всего кислотные дожди, представляющие угрозу для почвенных бактерий и приводящие к деградации почвенного покрова, а также парниковый эффект вследствие выбросов диоксида углерода.

На основе мембранной технологии, по-видимому, можно будет решить в будущем часть указанных вопросов [12—14] (основные надежды здесь связываются с каталитическими методами переработки кислых газов). Хотя в настоящее время практически нет действующих крупномасштабных промышленных установок по улавливанию и концентрированию компонентов агрессивных кислых газов (диоксид серы, сероводород, оксиды азота), во многих лабораториях мира ведется интенсивный поиск высокоэффективных мембран для кислых газов, разрабатываются принципиаль-

⁵ См. статью К. И. Замараева «Разработка и внедрение каталитических методов обезвреживания выбросов промышленности и автотранспорта» в настоящем номере.

ные схемы соответствующих мембранных процессов, мембранно-сорбционных и других комбинированных установок.

Среди отечественных разработок мембран для выделения агрессивных кислых газов, газовых смесей различных производств отметим мембраны типа «Серагель» [15], характеризующиеся высокой селективностью по диоксиду серы и сероводороду, а также мембраны для сероводорода и диоксида углерода на основе ароматических полиамидоимидов, получаемые из растворов полимеров в N-метилпирролидоне [16].

Фирмой «Бенд Резерч» (США) была создана высокоселективная мембрана для сероводорода ($P_{H_2S}/P_{CO_2} \approx 30$) [17], представляющая собой гелеобразный слой, содержащий алкилпирролидон или алкилфосфат, нанесенный на асимметричную подложку из целлюлозы. В работах [18—19] показано, что эффективные мембраны для выделения кислых газов могут быть разработаны на основе термостойких и химически стойких перфторированных сополимеров «Нафийон»: сульфокислотных с аминокислотными переносчиками и анионообменных с четвертичными аммониевыми основаниями. Проблемы здесь состоят [18] в поиске специфических путей модификации таких материалов и разработке технологии тонких (< 50 мкм) мембранных слоев. Поэтому весьма перспективным представляется использование для целей выделения кислых газов, так же как и для выделения аммиака, полволоконных модулей с мембранами на основе перфторированных иономеров. В таких материалах транспорт молекул газа реализуется через систему субмикроскопических каналов [4] при обратимом связывании диффундирующих молекул функциональными группами или переносчиками. При этом открывается возможность управления селективностью по отдельным компонентам путем изменения влагосодержания мембран [20]. Можно полагать, что мембраны на основе перфторированных иономеров, составляющие класс наиболее термостойких и химически стойких полимерных мембран, помимо указанных агрессивных компонентов (сероводород, диоксид серы, аммиак) и диоксида углерода, могут (при соответствующем модифицировании) быть использованы и для выделения из газовых смесей оксидов азота, оксида углерода (на фоне азота), для разделения и концентрирования некоторых углеводородов, для осушки газов. Все это подчеркивает интерес к перфторированным материалам с функциональными группами как основе для мембран, позволяющих выделять наиболее агрессивные и экологически опасные компоненты из газовых сред. По-видимому, в дальнейшем, помимо полволоконных мембран, из таких материалов будут изготавливаться и плоские композитные (для рулонных модулей) с селективным слоем, сформированным из растворов перфторированных иономеров.

в). Разработка процесса мембранного электролиза в глиноземном производстве

Разработка процесса мембранного электролиза с рекуперацией щелочи как основной части технологии переработки промышленных продуктов глиноземного производства реализуется Государственным научно-исследовательским и проектным институтом редкометаллической промышленности, Институтом металлургии и обогащения АН КазССР, глиноземными заводами Министерства металлургии СССР.

Проблемы обработки содосульфатных смесей, образующихся при переработке сульфидсодержащих бокситов на ряде алюминиевых заводов, с полной регенерацией щелочи (10—12 тыс. т в пересчете на 100%-ный каустик — в среднем на одном заводе) и извлечением других полезных составляющих (в том числе металлического галлия и других рассеянных и редких элементов) помимо ресурсосберегающего значения имеют важ-

нейший экологический эффект. Опытные испытания процесса электролиза с перфторированными ионообменными мембранами на установке глиноземного цеха Уральского алюминиевого завода показали принципиальную возможность почти полной регенерации щелочи с одновременным получением гипса. Ставятся и более общие задачи использования мембранного электролиза для переработки карбонатно-сульфатных, хлоридно-карбонатных и хлоридно-сульфатных смесей, а также щелочных алюминатных растворов.

г). Замена ионообменных циклов на непрерывные мембранные процессы в производстве рибоксина

Предварительный анализ существующих технологий рибоксина на заводах медицинских препаратов показал, что использование электродиализа может значительно снизить потери (достигающие $\approx 50\%$) целевого продукта и существенно уменьшить экологическую опасность производства за счет исключения сбросов вод регенерации ионообменных колонн. Технология электродиализной деминерализации может стать базовой для этого и ряда других биотехнологических производств.

д). Процессы обработки промышленных сточных вод с извлечением ценных компонентов

Среди многих существующих в мире производств такого типа, в том числе с использованием электродиализной обработки (см., напр. [21]), отметим разработки процессов с использованием импрегнированных жидких мембран, содержащих раствор комплексообразователя — ионофора в органическом растворителе, который внедрен в поры мембраны суппорта. Реализуя в таких системах встречный (антипорт) поток ионов одного знака (M^{n+} и nH^+ , например) или однонаправленный (симпорт) поток ионов разного знака (M^{n+} и nOH^-), можно достичь высокой степени извлечения целевого компонента (Cu^{2+} , Cr^{3+} , VO_2^{2+} и др.) из исходного раствора. Таким образом осуществлялось извлечение меди из промывочных вод гальванических производств [22]. В качестве гидробонной матрицы использовались пористые полые волокна из полипропилена, импрегнируемой фазой являлся раствор ди(2-этилгексил)фосфорной кислоты в *n*-додекане. В питающем растворе поддерживался уровень pH 3—5. При использовании в принимающем растворе серной кислоты достигалась степень извлечения меди, представляющей собой токсичный компонент сточных вод, до 99%, что соответствовало остаточной концентрации его на уровне норм ПДК. В принимающем растворе при этом получался насыщенный раствор сульфата меди. Очищенная от меди и деминерализованная вода возвращалась на промывку, а насыщенный раствор сульфата меди использовался для периодической коррекции состава гальванических ванн. Ресурсосберегающая и экологическая необходимость широкого использования такого типа технологий в нашей промышленности очевидна.

Следует отметить еще два общих момента.

1. Решение экологических задач невозможно без создания новых методов и устройств для непрерывного контроля (химико-аналитического) состава окружающей среды (атмосферы, водоемов, земель), отличающихся быстроедействием, надежностью, простотой в эксплуатации. Речь идет о разработке и производстве нового поколения аналитической техники — химических мембранных сенсоров — миниатюрных, высокочувствительных приборов, предназначенных для прямого, селективного, полностью автоматизированного определения химических веществ в промышленных

системах и природных объектах. В этих устройствах в качестве перегородок, отделяющих анализируемую среду от регистрируемой системы (полупроводниковые оксидные пленки, полевые транзисторы и др.), используются пленочные (мембранные) покрытия из органических и неорганических материалов с повышенными константами проницаемости для определенных компонентов (молекул, ионов) среды. Такие системы позволяют осуществлять экспрессный и непрерывный контроль химического состава жидких и газообразных природных сред и промышленных выбросов вплоть до следовых концентраций. К сожалению, в институтах Отделения общей и технической химии АН СССР соответствующие исследования и разработки практически не ведутся.

2. При решении экологических проблем мы не имеем права ждать завтрашнего дня. Наш долг перед соотечественниками, перед всем мировым сообществом максимально использовать имеющиеся потенциальные возможности для создания малоотходных и безотходных производств, для уменьшения концентрации вредных и токсичных компонентов в природной среде. Проблема очень сложная, тем более, что у наших ведомств пока еще нет эффективных механизмов, позволяющих заинтересовать предприятия и заводы использованием достижений науки, даже если эти достижения направлены на решение острых экологических проблем. Мне кажется, что если таких механизмов нет, то их надо создавать или, по крайней мере, способствовать их созданию.

Оценивая сегодня экономическую эффективность технологических процессов, мы не учитываем реальный ущерб, наносимый ими природной среде (при разработке полезных ископаемых, при размещении отходов производств, при водозаборах и т. д.), не считаем затраты, которых потребует полное восстановление природной среды. Если мы добьемся (путем проведения соответствующих законов в Верховном Совете СССР) того, чтобы этот ущерб адекватным образом⁶ учитывался при обосновании различных технологических проектов, при расчете экономических эффектов от их реализации, то экономическая целесообразность многих технологических схем предстанет в совершенно ином свете. Необходимость внедрения в жизнь ресурсо-, материало-, энергосберегающих и экологически чистых технологий (в частности, мембранной) станет несомненной, жизненно важной для заводов и предприятий. Именно такая переоценка технического уровня разнообразных производств в наших условиях может открыть дорогу новым технологиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазанко А. Ф., Камарьян Г. М., Ромашин О. П. Промышленный мембранный электролиз. М.: Химия, 1989, 237 с.
2. Hoehn H. H. // Materials Science of Synthetic Membranes / Ed. D. R. Lloyd. ACS Symposium Series. Washington: 1985. № 269. P. 81.
3. Кирш Ю. Э., Попков Ю. М. // Успехи химии. 1988. Т. 57. № 6. С. 1001—1009.
4. Тимашев С. Ф. Физико-химия мембранных процессов. М.: Химия, 1988. 237 с.
5. The European Society of Membrane Science and Technology: Terminology for pressure-driven membrane operations. University Lund, 1986.
6. Дерягин Б. В., Чураев Н. В., Муллер В. М. Поверхностные силы. М.: Наука, 1985. 400 с.
7. Laguntsov N. T., Gruzdev E. B., Kozhevnikov V. Y., Kosykh E. V. // Int. Symp. on Membranes for Gas and Vapour Separation. Suzdal, USSR. 1989. P. 50.
8. Timashev S. F., Kirichenko V. I., Bobrova L. P., Bondarenko A. G. // Ibid. P. 75.
9. Vorobyev A. V., Osokina V. K., Popkov Yu. M., Samsonova I. S., // Ibid. P. 119.
10. Shi Jun, Chen Mingde // The 1987 Int. Congress on Membrane and Membrane Processes. Tokyo. 1987. P. 502—503.

⁶ Согласно действующим методикам оценок экономического ущерба, наносимого природной среде, за сброс в открытый водоем 1 т солей предприятие-завод штрафуются примерно на 1 рубль.

11. Гайдар Е., Ярошенко В. // Коммунист. 1988. № 8. С. 74—86.
12. Rusanov V. D., Parovichnikov A. I., Krotov M. F., Sokolov A. V. // Int. Symp. on Membranes for Gas and Vapour Separation. Suzdal. USSR. 1989. P. 521.
13. Alexeev S. Y., Parovichnikov A. I., Rusanov V. D., Tul'skiy M. N. // Ibid. P. 126.
14. Rusanov V. D., Pinchuk V. V., Tul'skiy M. N. // Ibid. P. 133.
15. Dythersky Y. I., Kagramanov G. G., Storozhuk I. P. // The 1987. Int. Congress on Membrane and Membrane Processes. Tokyo. 1987. P. 526—527.
16. Kuznetsov Y. P., Kruchinina E. V., Kostin A. I., Ezhov V. K. // Int. Symp. on Membranes for Gas and Vapour Separation. Suzdal, USSR. 1989. P. 146.
17. Edlund D. J., Friesen D. T., Kelly D. J. et al. // Second Annual Nat. Meet. of the North American Membrane Society. Siracuse, N. Y. 1988. P. 97.
18. Way Y. D., Noble R. D., Reed D. L., Ginley G. M. // Americ. Inst. Chem. Eng. J. 1987. V. 33, № 3, P. 480—487.
19. Pellegrino J. J., Nassimbene R., Noble R. D. // Second Annual Nat. Meet. of the North American Membrane Society. Siracuse, N. Y. 1988. P. 245.
20. Timashev S. F. // Int. Symp. on Membranes for Gas and Vapour Separation. Suzdal, USSR. 1989. P. 18.
21. Ion Exchange Membranes / Ed. D. S. Flett. L.: Ellis Horwood Limited, 1983. 210 p.
22. Чибизов В. П. // 14 Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: Тез. докл. Ташкент. 1989.

Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, Москва