
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ
ИНФОРМАЦИИ (ВИНИТИ)

Серия. КРИТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

МЕМБРАНЫ



информационно - аналитический журнал

№2 (30)

Москва 2006

РОССИЙСКАЯ
АКАДЕМИЯ НАУК

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ВИНИТИ)

Серия. Критические технологии

МЕМБРАНЫ

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК

информационно-аналитический журнал

Издается с 1998 г.

№ 2 (30)

Выходит 4 раза в год



Москва, 2006

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Г.Ф. Терещенко

Научный консультант Н.А. Платэ

Главный редактор информационных изданий ВИНТИ Ю.М. Арский

Зам. главного редактора Ю.П. Ямпольский

Ответственный секретарь Л.А. Паренаго

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

А.Б. Базили, И.Б. Бесфамильный, О.В. Бобре-
шова, В.В. Волков, С.И. Гдалин, В.П. Дубяга,
В.М. Зацепин, Г.Г. Каграманов, Л.М. Королева,
Н.Н. Кочанова (выпускающий редактор),

А.Е. Кравчик, Б.В. Мчедлишвили,

А.М. Олферьев, А.Г. Первов,

А.В. Путилов, В.В. Тепляков

Программно-технологическое обеспечение

В.А. Иванченко, Е.В. Колтунова,

А.К. Мартиросов, Р.В. Остапчук

Справочные данные:

125190, Москва, ул. Усиевича, 20, ВИНТИ,
ОНИ по проблемам химии и наук о материалах

Тел.: (495) 155-42-42, 152-57-01

Факс: (495) 943-00-60

E-mail: ioshi@viniti.ru, market@viniti.ru

Межотраслевой информационно-аналитический журнал предоставляет новейшую информацию по основным направлениям современного состояния и развития отечественных и зарубежных мембранных технологий.

Содержание журнала: статьи, рефераты публикаций ведущих российских и зарубежных периодических изданий, обзоры, патенты, аннотации на книги.

Издание снабжено предметным, авторским указателями, указателем источников.

Серия рекомендуется для специалистов, занимающихся проблемой высоких технологий, руководителей министерств и ведомств, научных работников.

Журнал предоставляется в полиграфической и электронной формах.

Периодичность – 4 номера в год.

The interbranch information and analytical journal represents the newest information on the main directions of the current state and development of home and foreign membrane technologies.

Contents of the journal: articles, abstracts of the leading Russian and foreign periodical publications, reviews, patents, book annotations.

The publication is supplied with author, subject and formula indexes.

The publication is recommended for specialists in the field of high technologies, heads of departments and offices, scientists.

The journal is given in printed and electronic forms.

Periodicity is 4 numbers a year.

РЕЛАКСАЦИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ ПОЛИМЕРНЫХ УЛЬТРА- И МИКРОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕМБРАН В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Бильдюкевич Александр Викторович

Государственное научное учреждение «Институт физико-органической химии»
Национальной академии наук Беларуси

Исследована проницаемость ультра- и микрофильтрационных мембран из регенерированной целлюлозы в среде различных органических растворителей. Предложена схема изменения пористой структуры мембран при замещении воды на органический растворитель и найдена корреляция между коэффициентами гидравлической проницаемости мембран для различных органических растворителей со степенью набухания в них мембранообразующего полимера. Показано, что полимерные мембраны, прошедшие при изготовлении стадию сушки, представляют собой криптогетерогенные системы, способные к восстановлению исходной пористой структуры первичного студня. При контакте такой системы со средой, являющейся пластификатором полимера, происходит частичное восстановление исходной пористости материала, степень которого прямо пропорциональна пластифицирующей способности растворителя и находится в обратной зависимости от размеров пор мембраны. Показано, что процесс изменения структуры и транспортных свойств ультрафильтрационных мембран в активных средах (растворы кислот, щелочей и т.д.) растянут во времени и может занимать 100-200 часов.

Ключевые слова: ультрафильтрация, микрофильтрация, мембрана, пористая структура, степень набухания мембранообразующего полимера, релаксация, органический растворитель.

The permeability of ultra and microfiltration membranes on the basis of regenerated cellulose in the environment of various organic solvents has been studied. The scheme of pore structure change when water is substituted for organic solvent has been suggested. Also, the correlation between hydraulic membrane permeability ratios for different organic solvents and membrane swelling rate of membrane generating polymer has been discovered. It has been shown that polymeric membranes that underwent drying stage during manufacturing process are cryptoheterogenic systems able to regenerate initial pore structure of primary gel. When this system contacts the environment which is being a plasticizer of the polymer, partial regeneration of initial material porosity occurs. The regeneration degree is directly proportional to plasticizing ability of the solvent and inversely proportional to the size of membrane pores. It has been revealed that the process of structure and transportation ability change of ultra filtration membranes in active environments (e.g., acid and alkali solvents) is long-term and may take from 100 to 200 hours.

Key words: ultrafiltration, microfiltration, membrane, swelling rate of membrane generating polymer, organic solvent

В процессе эксплуатации структура и, соответственно, транспортные характеристики мембран подвергаются изменениям. В первую очередь на свойства мембран оказывает влияние комплекс явлений, получивший название засорение (отравление) мембран (membrane fouling). Этой проблеме посвящено большое количество публикаций [1,2]. Однако структурные изменения мембран могут происходить при контакте с растворителем, без присутствия растворенных (разделяемых) соединений. В частности, мембрана подвергается механическим нагрузкам и, прежде всего, действию рабочего давления, что приводит к уплотнению пористой структуры. Ранее нами при исследовании ультрафильтра-

ционных мембран (УФ-мембран), различающихся структурой и мембранообразующим полимером, показано, что однозначная связь между типом структуры (губчатая, пальцеобразная) и устойчивостью УФ-мембран к уплотнению отсутствует [3], что обусловлено различным пластифицирующим действием воды на полимерную матрицу, т.е. определяются гидрофильностью мембранообразующего полимера. Иными словами, прочность конструкции определяется не только ее архитектурой, но и механическими характеристиками «строительного материала» в рабочей среде. Кроме того, поскольку ультра- и микрофильтрационные (МФ-мембраны) мембраны выпускаются, как прави-

ло, в сухом виде, при контакте с растворителем возможно протекание процессов набухания и релаксации пористой структуры.

Целью настоящей работы явилось исследование структурных изменений мембран в различных средах.

В качестве объектов исследования использованы УФ- и МФ-мембраны из регенерированной целлюлозы, обладающие высокой устойчивостью к действию органических растворителей [4]. Эксперименты проводили на двух типах

мембран – «мокрых» (М-40), т.е. не подвергнутых сушке в процессе изготовления (для предотвращения влияния капиллярной контракции и внутренних напряжений в полимерной матрице на результаты эксперимента) и сухих микрофильтрационных серий МФЦ (ЗАО НТЦ «Владипор», ранее АО «Полимерсинтез», г. Владимир) и SM116 («Sartorius», ФРГ) с размером пор 0,1-0,8 мкм. Характеристики мембран приведены в табл. 1.

Мембрана	Изготовитель	$J_0 \cdot 10^6$, м/с*	Предел отсечения, кД	Точка пузырька**, МПа
М-40	Лаборатория автора	5,05	40	-
МФЦ-1	ЗАО НТЦ «Владипор»	840	-	0,42
МФЦ-3	ЗАО НТЦ «Владипор»	5830	-	0,32
SM11604	«Sartorius Gmbh»	14600	-	0,13
SM11605	«Sartorius Gmbh»	11450	-	0,20
SM11606	«Sartorius Gmbh»	4650	-	0,31
SM11607	«Sartorius Gmbh»	1630	-	0,42
ПА-20	ООО «Мифил»	4,9	20	-
ПС-100	ООО «Мифил»	37,6	100	-
УПМ-П	ЗАО НТЦ «Владипор»	22,5	70	-

*Измерено при 20⁰С и Р=0,05 МПа.
**Вода.
Табл. 1. Характеристики ультра- и микрофильтрационных мембран

Получение мембраны М-40 осуществляли в лабораторных условиях из растворов целлюлозы в смеси ДМФА – оксид азота (IV) методом сухо-мокрого формования. Раствор заданной концентрации с помощью шелевой фильеры с фиксированным зазором наносили на подложку из полированного стекла, пленку раствора выдерживали на воздухе с заданной влажностью в течение 0,5-1 мин. и погружали в воду. После отделения мембраны от подложки ее промывали в воде до постоянного значения рН и хранили во влажном состоянии. Подробно экспериментальная процедура описана в [5].

Для определения проницаемости мембран по отношению к органическим растворителям, смешивающимся с водой, предварительно оценивали производительность мембран по воде в стандартных условиях. После чего в ячейку за-

ливали органический растворитель и перемешивали 15-20 мин при 0,01 МПа. Затем растворитель выливали и заливали новую порцию. Эту операцию повторяли 8-10 раз, после чего определяли проницаемости мембран при различных давлениях и температурах. Параллельно ставился холостой опыт. Для этого образцы мембран с известной водопроницаемостью выдерживали в среде органического растворителя от суток до месяца, после чего исследовали проницаемость мембран по этому реагенту.

При определении проницаемости мембран по растворителям, не смешивающимся с водой, проводили предварительное замещение воды на промежуточный растворитель, например, ацетон, после чего его вытесняли исследуемым.

Для описания транспорта органических растворителей использовали уравнение Дарси:

$$L_{p,\eta} = J \eta / \Delta P \quad (1)$$

и коэффициент относительной проницаемости [6]:

$$\alpha = L_{p,\eta} / L_{p,\eta}^0 \quad (2)$$

где J – объемный поток через мембрану, ΔP – перепад давления, $L_{p,\eta}$ и $L_{p,\eta}^0$ – коэффициенты гидравлической проницаемости для органического растворителя и воды соответственно, η – вязкость проникающей жидкости.

Степень набухания целлюлозы (Q) в воде и органических растворителях определяли весовым методом [7]. В качестве стандартного образца целлюлозы использовали хроматографическую бумагу FN-15. В случае высококипящих ($>100^\circ\text{C}$) органических растворителей образцы после центрифугирования и взвешивания помещали в воду или промежуточный растворитель, а затем высушивали до постоянной массы при 105°C .

Общую пористость мембран определяли по методике [8].

Как видно из рис. 1, производительность мембраны по отношению к спиртам, кетонам и сложным эфирам линейно увеличивается с ростом рабочего давления. Для воды, ДМСО, фор-

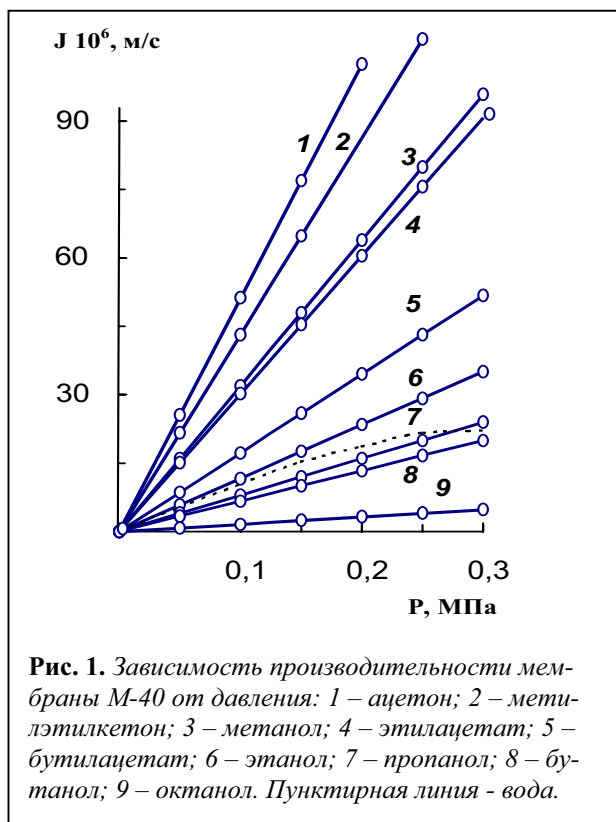


Рис. 1. Зависимость производительности мембраны M-40 от давления: 1 – ацетон; 2 – метилэтилкетон; 3 – метанол; 4 – этилацетат; 5 – бутилацетат; 6 – этанол; 7 – пропанол; 8 – бутанол; 9 – октанол. Пунктирная линия – вода.

мамида и ДМФА линейное возрастание потока наблюдается до определенного значения ΔP (рис. 2), после чего наблюдается отклонение от

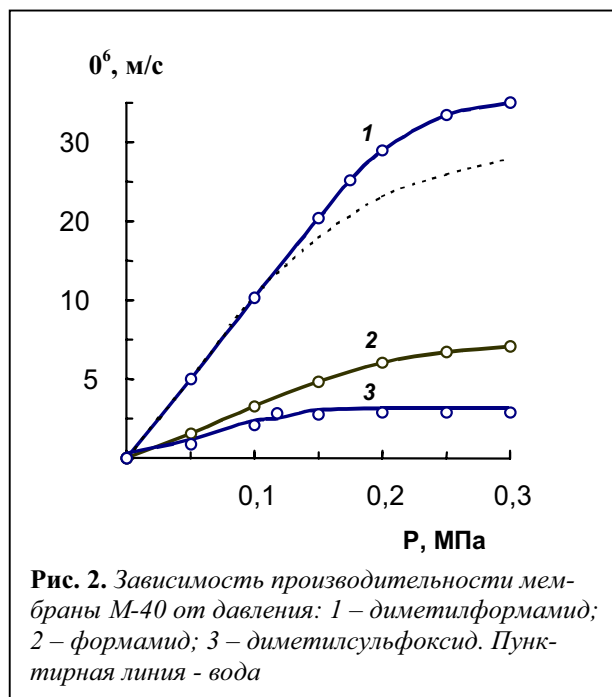


Рис. 2. Зависимость производительности мембраны M-40 от давления: 1 – диметилформамид; 2 – формамид; 3 – диметилсульфоксид. Пунктирная линия – вода

линейной зависимости с выходом значений производительности на плато. Это связано с уплотнением пористой структуры мембраны под действием рабочего давления. Таким образом, одна и та же мембрана в зависимости от разделяемой среды может демонстрировать как практически идеально жесткую структуру, так и относиться к классу уплотняющихся. Уплотнение мембран под действием давления связано, по-видимому, с различным пластифицирующим действием растворителей, которое можно охарактеризовать набуханием целлюлозы в растворителе. Другим критерием пластифицирующего действия может служить изменение температуры стеклования аморфной фазы полимера в условиях адсорбционного равновесия со средой по сравнению с непластифицированным образцом [9]. Из табл. 2 следует, что величина давления (P^*), при котором происходит отклонение от закона Дарси для воды ДМСО, ДМФА и формамида, коррелирует со степенью набухания и величиной $\Delta T_{ст}$ целлюлозы в этих средах. В случае других исследованных растворителей связи между макромолекулами целлюлозы ослабляются в меньшей степени и мембрана сохраняет устойчивость к уплотнению во всем диапазоне давлений.

Растворитель	Давление P*, МПа	Q, г/г	$\Delta T_{ст}^{**}$, К
Вода	0,12	0,73	245
ДМСО	0,08	1,06	160
ДМФА	0,16	0,68	120
Формаид	0,14	0,70	-

**Температура стеклования, снижение которой косвенно характеризует пластифицирующее действие низкомолекулярного вещества на целлюлозу (данные [9]).

Табл. 2. Давление P*, степень набухания и снижение температуры стеклования целлюлозы в различных растворителях

Значения коэффициентов проницаемости мембраны в среде органических растворителей приведены в табл. 3.

Растворитель	$L_{p,l} \cdot 10^{10} M$	α	Q, г/г
Вода	10,1	1,00	0,73
Метиловый спирт	15,6	1,54	0,52
Этиловый спирт	16,1	1,59	0,51
Пропиловый спирт	16,2	1,60	0,47
Изопропиловый спирт	14,2	1,41	0,49
Бутиловый спирт	16,4	1,62	0,40
Изобутиловый спирт	15,3	1,51	0,42
Трет бутиловый спирт	13,3	1,32	0,45
Циклогексильовый спирт	13,3	1,32	0,46
Октиловый спирт	22,8	2,26	0,36
Ацетон	15,2	1,50	0,46
Метилэтилкетон	15,1	1,49	0,43
Циклогексанон	14,1	1,40	0,52
Метилацетат	14,1	1,40	0,45
Этилацетат	13,6	1,35	0,44
Бутилацетат	12,9	1,28	0,49
1,4-диоксан	12,7	1,26	0,47
Формаид	10,7	1,06	0,70
ДМФА	9,1	0,90	0,68
ДМСО	5,8	0,57	1,06

При расчете коэффициентов $L_{p,l}$ для воды, формаида, ДМФА и ДМСО использован линейный участок зависимости $J = f(P)$ (см. рис.2).

Табл. 3. Коэффициенты проницаемости мембраны M-40 и набухание целлюлозы в различных средах

Как видно, проницаемость мембраны по формамиду и ДМФА практически не отличается от ее водопроницаемости ($\alpha=1$), что указывает на стабильность пористой структуры в этих средах. В случае ДМСО объемный поток через мембрану практически вдвое меньше, чем для воды, а для остальных растворителей существенно превышает ее водопроницаемость.

Как будет показано ниже, при переходе от ультра- к микрофильтрационным мембранам из регенерированной целлюлозы, при существенном увеличении размеров пор величина коэффициента α не изменяется и составляет, например, в случае метилового спирта 1,5-1,55. Таким образом, в среде большинства органических растворителей структура целлюлозных мембран отличается от структуры мембраны в воде. Возрастание проницаемости мембран при замещении воды на органические растворители отмечалось Нгуеном с соавт. [6] при исследовании мембран из полиэлектролитных комплексов и полисульфона. Авторами [3] для целлюлозной мембраны PLTK с НММП 30 кД зафиксировано увеличение проницаемости при замещении воды на этанол, но для мембраны PLGC с пределом отсечения 10 кД проницаемость уменьшалась, что связывалось с различным набуханием селективного слоя этих мембран.

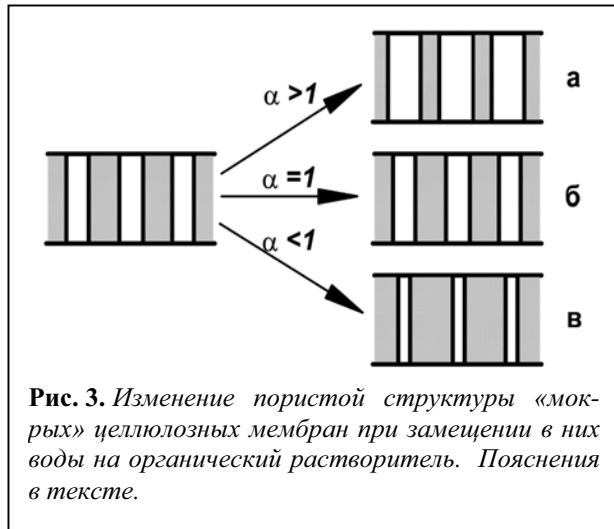
На наш взгляд, причины изменений пористой структуры мембран при замещении воды на органический растворитель заключаются в следующем. Общая пористость ($P_{общ}$) УФ мембран может рассматриваться как сумма двух слагаемых:

$$P_{общ} = P_m + P_c \quad (3)$$

где P_m - пористость, обусловленная наличием пустот между элементами полимерного каркаса, P_c - пористость полимера, составляющего стенки каркаса.

В случае гидрофильных полимерных мембран вторым слагаемым, по-видимому, пренебречь нельзя. В то же время при замещении воды в мембране на органический растворитель общая пористость не изменяется и составляет 82-84%. На этом, в частности, основан метод удаления влаги из биологических объектов без потери их структурной целостности. Но так как степень набухания целлюлозы в исследуемых растворителях существенно отличается от соот-

ветствующих значений в воде, следует ожидать изменения структуры мембраны в результате перераспределения вкладов Π_M и Π_C в общую пористость мембраны. Схематически этот процесс показан на рис. 3.



Так, при замещении воды в мембране на органический растворитель, степень набухания целлюлозы в котором меньше, чем в воде (как это имеет место в случае спиртов, кетонов, простых и сложных эфиров) происходит утоньшение стенок пор и, соответственно, увеличение объема пустот в мембране. Проницаемость мембран при этом возрастает. Для таких растворителей, как формамид и ДМФА, существенных изменений структуры мембран не происходит, поскольку величины набухания полимера в этих жидкостях близки к соответствующим значениям для воды. В случае ДМСО, набухание целлюлозы в котором выше, чем в воде, происходит утолщение стенок пор и сужение порового пространства. Сопоставление значений коэффициентов проницаемости для различных растворителей, а также их смесей с водой со степенью набухания в них целлюлозы показало, что имеется достаточно четкая корреляция между этими величинами. В ряду нормальных одноатомных спиртов при переходе от метанола к октанолу степень набухания целлюлозы закономерно уменьшается, а коэффициент α увеличивается. Аналогичное явление наблюдается в случае изомеров бутанола. Менее четко эта тенденция проявляется при сопоставлении растворителей, принадлежащих к различным классам органических соединений, например, спиртов и

кетонов. По видимому, определяющим фактором является изменение объема стенок пор, а не количество поглощенной жидкости, хотя это количество и пропорционально этому изменению. Несмотря на это, на основании данных по набуханию целлюлозы в различных растворителях можно с достаточной степенью точности прогнозировать проницаемость мембран в органических средах:

$$L_{p,n} Q = K L_{p,n}^0 Q^0 \text{ или } \alpha = K Q^0 / Q \quad (4)$$

где Q^0 и Q - степень набухания целлюлозы в воде и органическом растворителе соответственно; K - коэффициент, равный для исследуемых мембран $0,88 \pm 0,05$.

Таким образом, проницаемость «мокрых» мембран тем выше, чем ниже степень набухания полимера в растворителе. В случае сухих целлюлозных МФ-мембран (серии МФЦ «Владипор», SM116... «Sartorius») при фильтрации органических растворителей наблюдается обратная зависимость - проницаемость мембран в среде сильных агентов набухания для целлюлозы (вода) в 6-10 раз выше (см. значения J_0 в табл. 4), чем для других растворителей.

Значения коэффициентов $L_{p,n}$ свидетельствуют о значительных структурных различиях мембран в воде и органических средах. Так, общая пористость мембраны в воде на 12-32% выше, чем в органических растворителях. Причины этого явления, на наш взгляд, заключаются в следующем.

При получении мембран на стадии сушки целлюлозного геля, импрегнированного водой, в результате капиллярной контракции происходит частичное схлопывание пор, приводящее к уменьшению пористости материала [10]. При этом, поскольку полимер в процессе высушивания переходит в застеклованное состояние, структура получаемой мембраны характеризуется наличием неотрелаксированных внутренних напряжений. При контакте такой системы со средой, являющейся в той или иной степени пластификатором для полимера, происходит частичное восстановление исходной пористости материала, степень которого прямо пропорциональна пластифицирующей способности растворителя и находится в обратной зависимости от размеров пор мембраны. Схематически про-

цесс изменения структуры МФ-мембран показан на рис. 4.

Растворитель	$J_0 \cdot 10^5$ м/с	$L_{p,l} \cdot 10^8$,м	$P_{общ}$, %	$J^* \cdot 10^5$ м/с
Вода	83,6	16,6	88	83,6
Метиловый спирт	25,1	2,8	65	152,0
Этиловый спирт	6,0	1,4	62	47,2
Пропиловый спирт	4,4	1,9	-	44,4
Бутиловый спирт	3,8	2,2	-	-
Ацетон	25,0	1,6	58	320,0
Метилэтилкетон	17,8	1,8	59	-
Диэтиловый эфир	40,2	1,9	-	358,2
1,4-диоксан	9,4	2,1	62	80,8
Этилацетат	18,0	1,6	-	198,5
Гексан	30,5	2,0	55	290,7
Четыреххлористый углерод	10,4	2,0	-	96,8
ДМФА	16,0	2,5	76	-

J_0 – исходная производительность мембраны; J^* – производительность мембраны после ее обработки агентом набухания (водой); $P_{общ}$ – общая пористость исходной мембраны в различных средах.

Табл. 4. Проницаемость мембраны МФЦ-1 по отношению к воде и органическим растворителям до и после обработки агентом набухания

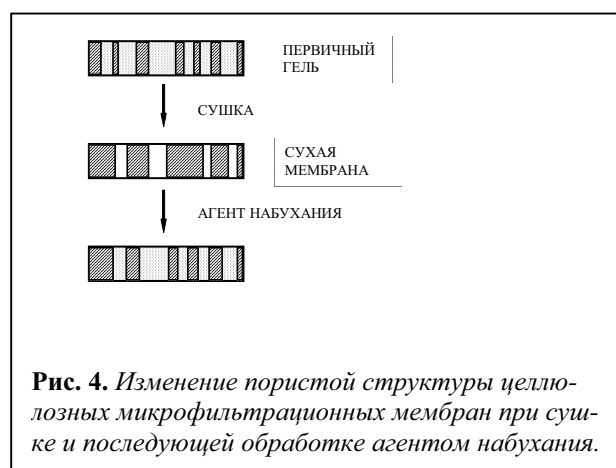


Рис. 4. Изменение пористой структуры целлюлозных микрофльтрационных мембран при сушке и последующей обработке агентом набухания.

Иными словами, сухие полимерные мембраны можно рассматривать как криптогетерогенные системы, способные к восстановлению исходной пористой структуры первичного геля. С этих позиций находит объяснение более высокая проницаемость исследуемых мембран по воде по сравнению с транспортом органических

растворителей, поскольку вода является одним из наиболее эффективных агентов набухания и пластификатором целлюлозы. Указанный подход, основанный на рассмотрении целлюлозных МФ-мембран как криптогетерогенных систем, убедительно подтверждается следующим экспериментом. При кратковременной (1-30 с) обработке сухих мембран водой, ДМСО или другими активными агентами набухания для целлюлозы, общая пористость мембран возрастает с 50-60 до 75-90% и сохраняется при последующем замещении на органический растворитель (табл. 5).

Агент набухания	Общая пористость мембраны после обработки, %	α
Без обработки	58	1,0
Вода	88	12,8
ДМСО	88	12,6
ДМФА	80	1,9
Формаид	75	1,6

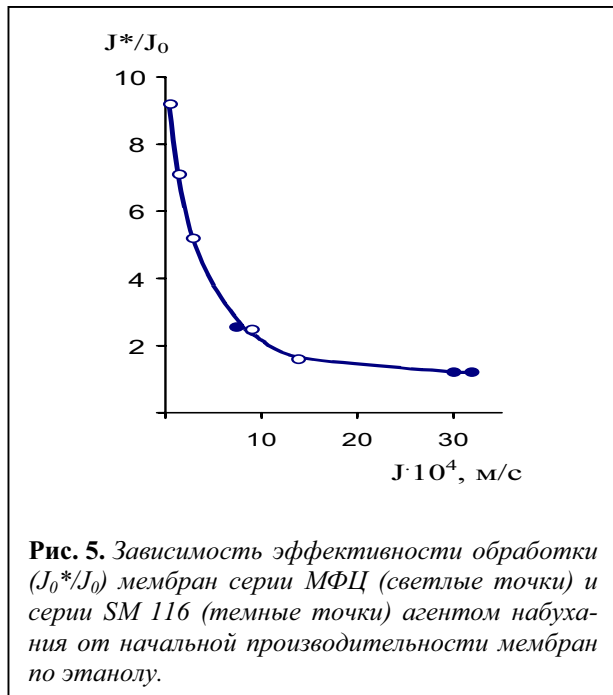
Табл. 5. Эффективность обработки целлюлозных мембран МФЦ-1 агентами набухания на примере фильтрации ацетона

Мембраны, подвергнутые такой обработке, характеризуются в 1,3-13 раз более высоким коэффициентом проницаемости при фильтрации органических жидкостей (табл. 3 и 4).

Следует отметить, что поскольку давление, приводящее к капиллярной контракции, обратно пропорционально радиусам капилляров, уменьшение пористости материала в процессе высушивания будет выражено в меньшей степени для крупнопористых фильтров. Поэтому эффективность обработки находится в обратной зависимости от размеров пор мембран (исходной проницаемости). Так, проницаемость по этанолу мембран с размером пор 0,1-0,2 мкм после обработки водой возрастает в 4-10 раз, для более крупнопористых микрофильтров с размером пор 0,45-0,6 мкм - в 1,3-1,6 раза (рис. 5).

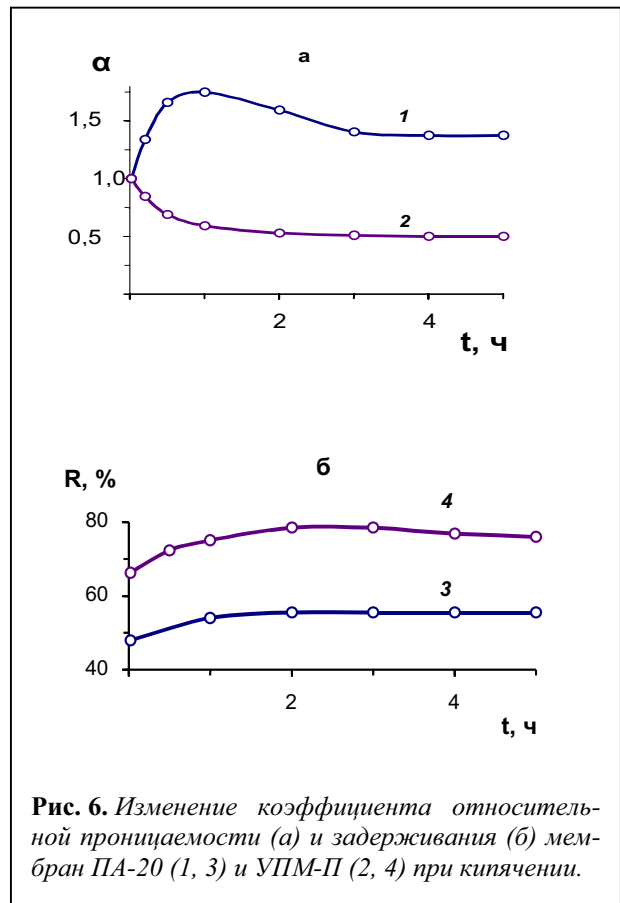
Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что среди причин изменения структуры и свойств полимерных мембран в процессе эксплуатации наряду с деформацией полимерной матрицы под действием

механических нагрузок важную роль играют процессы набухания и релаксации пористой структуры. Отмеченный выше для МФ-мембран «эффект памяти» структуры первичного геля в той или иной степени характерен и для мембран других типов, хотя проявляется по-разному.



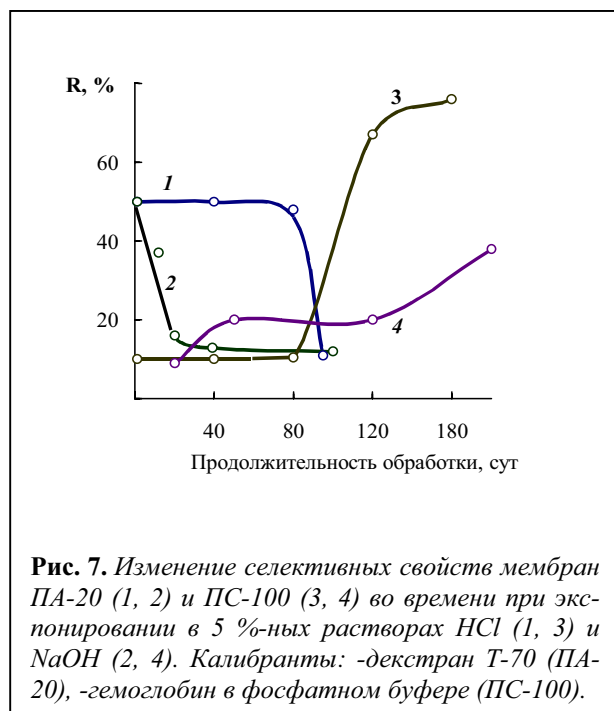
Так, после обработки УФМ на основе ароматического полиамида ПА-20 и полисульфонамида УПМ-П, которые относятся к химически и термически стойким, в кипящей воде для первой наблюдается одновременное возрастание и проницаемости и задерживания. В случае мембраны УПМ-П проницаемость постепенно падает при некотором увеличении задерживания (рис. 6.). Изменение фильтрационных характеристик мембран серии ПА происходит свыше 65°C , для полисульфонамида падение проницаемости наблюдается уже свыше $45-50^{\circ}\text{C}$. В последнем случае, по-видимому, наряду с тенденцией к восстановлению исходной пористой структуры первичного геля на транспортные свойства мембран дополнительно оказывает влияние термоусадка (отжиг) пленок. В то же время длительное кипячение «мокрых» мембран из регенерированной целлюлозы не сказывалось на их проницаемости.

Следует отметить, что процессы изменения структуры и транспортных свойств мембран в активных средах могут иметь выраженный индукционный период и поэтому не фиксируются



в ограниченных по продолжительности ультрафильтрационных экспериментах. В качестве иллюстрации приведем данные, полученные нами ранее [11] при исследовании химической стабильности полиамидных и полисульфоновых мембран (рис. 7.).

Для полиамидных мембран, экспонируемых в кислых и щелочных средах, характерно наличие продолжительного периода, в течение которого происходит медленное возрастание производительности и уменьшение селективности без потери механической целостности образца. Для мембран из полисульфона наблюдается иная закономерность: при экспонировании в щелочных средах спустя 20 суток происходит выраженное возрастание задерживающей способности по белкам без существенного изменения производительности. В кислых средах индукционный период достигает 80 суток. Возможной причиной наблюдаемых закономерностей являются химические превращения, приводящие к изменению адсорбционного потенциала полимерной матрицы. Селективные свойства ультрафильтрационных мембран во многом определяются адсорбцией белков на поверхности мем-



браны даже при кратковременном контакте мембраны с разделяемым раствором [12]. При этом адсорбированный слой, как правило, увеличивает задерживание. Поэтому наряду с релаксационными процессами пористой структуры, блокировка или «отравление» активных центров, обладающих высокой адсорбционной емкостью, в случае полиамидных мембран, либо наоборот, увеличение адсорбции или создание оптимальной структуры модифицирующего слоя белка на поверхности полисульфона могут быть ответственными за наблюдаемые изменения задерживающей способности мембран.

Таким образом, на проницаемость полимерных мембран в среде органических растворителей оказывает влияние ряд факторов. Для мембран, не подвергнутых сушке в процессе изготовления, определяющую роль оказывает набухание мембранообразующего полимера в растворителе. При этом, проницаемость «мокрых» мембран тем выше, чем ниже степень набухания полимера в растворителе. Для сухих мембран, представляющих собой криптогетерогенные системы, при контакте со средой, являющейся пластификатором или агентом набухания полимера, дополнительно накладывается процесс частичного или полного восстановления исходной пористости первичного геля, степень которого пропорциональна пластифицирующей способности растворителя и находится

в обратной зависимости от размеров пор мембраны. Изменения структуры и транспортных свойств мембран в активных средах (растворы кислот, щелочей и т.д.) могут иметь выраженный индукционный период (до 100-200 часов), при этом, наряду с тенденциями, приводящими к «раскрытию» пор, экспонирование мембран в активных средах может приводить к изменению адсорбционного потенциала поверхности мембраны, что изменяет ее задерживающую способность.

Литература

1. Nilson J.L. Protein fouling of uf membranes: Causes and consequences // J. Membrane Sci. 1990. V.52. P. 121-142.
2. Meireles M., Aimar P., Sanches V. Effects of protein fouling on the apparent pore size distribution of sieving membranes // J. Membrane Sci. 1991. V.56. P. 13-28.
3. Бильдюкевич А.В., Якуова Т.Ф. Уплотнение ультрафильтрационных мембран под действием рабочего давления // Химия и технология воды. 1991. Т.13, №6. С.544-547.
4. Lenski R.W., Williams S. Effect of nonaqueous solvents on the flux behavior of ultrafiltration membranes// J. Membrane Sci. 1995. V.101. P. 43-51.
5. Бильдюкевич А.В., Торгаилов В.И., Герт Е.В. и др. Формирование пористой структуры мембран из регенерированной целлюлозы // Высокомолекул. соединения. 1989. Т.31(А), №12. С.2580-2584.
6. Nguyen Q.T., Aptel P., Neel J. Characterization of ultrafiltration membranes : Part I. Water and organic-solvent permeabilities // J. Membrane Sci. 1979. V.5. P. 235-251.
7. Гриншпан Д.Д., Цыганкова Н.Г., Луцкий Л.Г. Исследование процесса набухания целлюлозы в ее растворяющих смесях. 2. Влияние органического растворителя на кинетику и степень набухания целлюлозы в N,N-триэтиламинооксиде// Химия древесины. 1994. № 2. С. 19-23.
8. Дубяга В.П., Перепечкин Л.П., Катаевский Е.Е. Полимерные мембраны. М. Химия. 1981. С.62.
9. Аким Э.Л., Наймарк Н.И., Васильев Б.В. и др. Воздействие пластифицирующих сред на температуру стеклования целлюлозных материалов // Высокомолекул. соединения. 1971. Т. А13(А), №10. С. 2244 - 2256.
10. Синицына Г.М. Криптогенное состояние высокомолекулярных твердых тел./ Успехи коллоидной химии. Москва: Наука, 1973. С. 331 - 338.
11. Праценко С.А., Ларченко Л.В., Бильдюкевич А.В. Химическая и термическая стабильность ультрафильтрационных мембран второго поколения // Химия и технология воды. 1992. Т.14, №10. С.764 - 768.
12. Островский Э.Г., Бильдюкевич А.В., Катуцкий Ф.Н. Ультрафильтрация модельных растворов высокомолекулярных соединений. Модификация мембран в результате адсорбции белков// Коллоидн. журнал. 1990. Т.52, №6. С.1197-1201.

АДСОРБЦИОННЫЕ И ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ТРАДИЦИОННЫХ И АСИММЕТРИЧНЫХ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИИМИНОМ И ПОЛИВИНИЛПИРРОЛИДОМ

*Т.Д. Хохлова, П.Ю. Апель, * Г.С. Жданов, ** В.В. Березкин, *** А.Б. Васильев, *** Б.В. Мчедlishvili****

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
химический факультет, 119992, Москва, Воробьевы Горы.

*Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института
ядерных исследований, 141980 Дубна Моск. обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

** ФГУП Государственный научный центр РФ "Физико-энергетический институт
им. А.И. Лейпунского", 249033, г. Обнинск Калужской обл., пл. Бондаренко, 1.

***Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН,
119333, Москва, Ленинский пр., 59.

Исследованы адсорбционные и электроповерхностные свойства полиэтилентерефталатных трековых мембран (ПЭТФ ТМ) с диаметрами пор от 15 нм до 400 нм. Показано, что с увеличением диаметра пор величина отрицательного заряда их поверхности увеличивалась от $-2 \cdot 10^{-3}$ до $-9 \cdot 10^{-3}$ Кл/м². Для снижения адсорбционной активности в отношении биополимеров симметричные и асимметричные ПЭТФ ТМ модифицировали последовательно полиэтиленимином и поливинилпирролидоном. Модифицирование приводило к резкому снижению величины поверхностного заряда мембран и адсорбции основных и нейтральных белков, а также красителя (родамин 6G).

Ключевые слова: трековая мембрана, поверхностный заряд, адсорбция, модифицирование.

Adsorptive and electrosurface properties of poly(ethylene terephthalate) track-etched membranes (PET TM) with pore diameter in range from 15 nm up to 400 nm have been investigated. Pore surface charge was shown to increase from $-2 \cdot 10^{-3}$ Q/m² to $-9 \cdot 10^{-3}$ Q/m² under pore diameter increase. Symmetrical and asymmetrical PET TM were modified with polyethyleneimine and polyvinylpyrrolidone in series to decrease the ones adsorption activity to biopolymers. The modification resulted in abrupt decrease of PET TM pore surface charge and adsorption losses of basic and neutral proteins and dye rhodamine 6 G. Adsorption of the acidic proteins didn't change at the same time.

Key words: track-etched membrane, surface charge, adsorption, modification.

Введение

Ранее было показано, что полиэтилентерефталатные трековые мембраны (ПЭТФ-ТМ) обладают довольно высокой адсорбционной активностью по отношению к белкам [1–3]. Была выявлена взаимосвязь между адсорбцией и кислотно-основными свойствами белков. В работе [4] адсорбционную активность мембран снижали совместным модифицированием полиимином и полиэтиленгликолем. В данной работе проведено дальнейшее исследование причин повышенной адсорбционной активности ПЭТФ-ТМ и возможностей ее снижения посредством последовательного модифицирования поверх-

ности трековых мембран полиэтиленимином и поливинилпирролидоном.

Экспериментальная часть

Для исследования были взяты серии образцов ускорительных и реакторных ПЭТФ-ТМ, полученных в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова Объединенного института ядерных исследований, Дубна, (симметричные и асимметричные) и во ФГУП ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского», Обнинск, (симметричные) соответственно. Методом электронной микроскопии определены форма, диаметры D и поверхностная плотность N пор. На основе измеренных данных рассчита-

на внутренняя поверхность пор ($S_{пор}$), отнесенная к внешней площади мембраны. Для традиционных мембран с симметричной формой пор расчет сделан по формуле:

$S_{пор} = \pi N D h$, $см^2/см^2$, где h – толщина мембраны.

Удельная поверхность мембраны ($S_{уд}$) рассчитана с учетом внешней площади мембраны (с двух ее сторон):

$$S_{уд} = (S_{пор} + 2), см^2/см^2.$$

Адсорбцию A , $мкг/см^2$ относили к внешней площади мембраны. Коэффициент распределения $K=A/C$, $мл/см^2$ рассчитывали как отношение адсорбции A к равновесной концентрации C . Адсорбционные потери (%) определяли как отношение количества адсорбированного вещества к исходному количеству.

Электрокинетические потенциалы (ζ -потенциалы, мВ) и значения плотности заряда поверхности пор мембран (σ , $Кл/см^2$) определяли методом потенциала течения при фильтрации 0,01 М водных растворов хлористого калия при рН 7.0 [5]. При расчете плотности заряда поверхности удельную проводимость раствора в порах полагали равной объемному значению.

Модифицирование проводили путем последовательной обработки предварительно отмытых в изопропиловом спирте ПЭТФ-ТМ сначала водным раствором, содержащим 0,01% полиэтиленimina (ПЭИ), а затем (после просушивания мембраны) водным раствором, содержащим 0,01% поливинилпирролидона (ПВП). Модифицирование осуществляли в динамическом режиме путем фильтрации через мембраны каждого из указанных растворов. Для равномерности модифицирования фильтрацию проводили сначала с одной, а потом с другой стороны мембраны. Использовали раствор низкомолекулярного ((0.6 ÷ 10) · 10³) ПЭИ. В качестве ПВП использовался «гемодез» - его раствор медицинского назначения. «Гемодез» – 6% раствор поливинилпирролидона с молекулярной массой (12600±2700).

Для изучения адсорбции были использованы белки фирмы Sigma – лизоцим, цитохром С, гемоглобин и овальбумин, а также красители - родамин 6G и кислотный оранжевый. Для определения адсорбции во флаконы помещали мелко

нарезанные кусочки мембран общей площадью 10 $см^2$ и добавляли по 5 мл соответствующих растворов белков или красителей. Концентрацию белков определяли спектрофотометрически по оптической плотности при длине волны: для лизоцима и овальбумина - 230, гемоглобина - 400, цитохрома С – 410, родамина 6G – 530, кислотного оранжевого 460 нм, соответственно. В качестве растворителей использовали физиологические растворы (0,02 М фосфатные буферные растворы с рН 7.0, содержащие 0,15 М хлористого натрия), а также дистиллированную воду.

Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены структурные и электроповерхностные свойства трековых мембран. Видно, что удельная поверхность мембран во много раз превышает их внешнюю площадь. В зависимости от размера и концентрации пор удельная поверхность мембран составляет от 10 до 50 $см^2$ на 1 $см^2$ площади мембранного фильтра.

Следует заметить, что в нейтральных растворах (рН≈7) мембраны заряжены отрицательно. С ростом диаметра пор от 0.015 до 0.2 $мкм$ величины ζ -потенциала и, соответственно, заряда поверхности (отнесенного к единичной внут-

D, $мкм$	N, $см^{-2}$	$S_{уд}$, $см^2/см^2$	ζ - потенциал мВ	$\sigma \times 10^7$ Кл/ $см^2$
0.015	$4.0 \cdot 10^9$	21	-9,2	-2,1
0.03	$4.3 \cdot 10^9$	43	-13	-3,0
0.05	$3.0 \cdot 10^9$	49	-20,5	-4,8
0.1	$1.3 \cdot 10^9$	43	-25,7	-6,2
0.15	$3.0 \cdot 10^8$	16	-34,5	-8,6
0.2	$2.0 \cdot 10^8$	15	-34,5	-8,6
0.4	$6.0 \cdot 10^7$	10	-	-

Табл. 1. Характеристики ускорительных симметричных ПЭТФ-ТМ: диаметр пор D ; число пор на единице поверхности мембраны N ; удельная поверхность $S_{уд}$; ζ -потенциал; поверхностная плотность заряда σ .

ренней поверхности пор) увеличиваются примерно в 4 раза. Обнаруженный рост заряда поверхности пор при увеличении их диаметра, возможно, обусловлен условиями изготовления мембран. Для формирования пор с большим

диаметром требуется более жесткая и/или более длительная химическая обработка треков, приводящая, возможно, к накоплению большего количества кислотных центров на границе раздела: полимер – раствор.

Это, в свою очередь, и обуславливает зависимость структуры и физико-химических свойств поверхности пор трековых мембран от диаметра. Результаты электрокинетических исследований свидетельствуют об увеличении плотности кислотных центров (в качестве последних выступают карбоксильные группы) на поверхности пор трековых мембран с увеличением их диаметра.

Данные по адсорбции основного, нейтрального и кислого белков (цитохрома С, гемоглобина и овальбумина), а также основного и кислотного красителей (родамина 6G и кислотного оранжевого) на тех же мембранах приведены в таблице 2. Для адсорбции были взяты растворы белков с концентрацией 25 мг/л и красителей с концентрацией 2 мг/л в физиологическом рас-

творе. В таблице приведены следующие адсорбционные характеристики: адсорбция - А, мкг/см²; адсорбционные потери; коэффициент распределения К, мл/см². Видно, что вещества, обладающие кислотными свойствами, – белок овальбумин и краситель кислотный оранжевый – не адсорбируются на мембранах. Причиной этого является электростатическое отталкивание между одноименно (отрицательно) заряженными молекулами и поверхностью мембран. Основной белок цитохром С и основной краситель родамин 6G адсорбируются значительно. На мембранах с наибольшей удельной поверхностью (с диаметрами пор 0.03 и 0.05 мкм) адсорбционные потери составляют более 80–90%. На мембране с наибольшим диаметром пор 0.4 мкм и наименьшей удельной поверхностью эти потери заметно меньше – около 20–50%. Причина столь значительной адсорбции заключается в электростатическом притяжении между положительно заряженными молекулами и отрицательно заряженной поверхностью мембран.

D, мкм	0.015	0.03	0.05	0.1	0.15	0.2	0.4
Цитохром С							
А, мкг/см ²	13	22	19	12	6	12	5
Потери, %	55	96	81	51	23	51	21
К, мл/см ²	0.62	11	2.1	0.52	0.17	0.52	0.14
Гемоглобин							
А, мкг/см ²	6	13	10	4	5	10	3
Потери, %	28	60	45	20	24	45	13
К, мл/см ²	0.18	0.71	0.40	0.11	0.14	0.40	0.08
Овальбумин							
А, мкг/см ²	0	0	0	0	0	0	0
Родамин 6G							
А, мкг/см ²	2.3	2.3	2.3	1.7	1.4	2.1	1.2
Потери, %	87	88	90	67	53	77	47
К, мл/см ²	3.4	3.4	3.5	1.0	0.57	1.7	0.43
Кислотный оранжевый							
А, мкг/см ²	0	0	0	0	0	0	0

Табл. 2. Адсорбционные характеристики белков и красителей на серии ускорительных симметричных ПЭТФ-ТМ с диаметрами пор D от 0.015 до 0.4 мкм: А, мкг/см² – адсорбция; адсорбционные потери, %; К, мл/см² – коэффициент распределения

Нейтральный белок гемоглобин адсорбируется значительно, хотя и несколько меньше, чем основные молекулы. Максимальные потери для него составляют 60%, а минимальные – около 10%.

Показателем адсорбционной активности мембран является коэффициент распределения K , который при малых концентрациях вещества в растворе близок к константе распределения (константе Генри), определяемой из изотермы адсорбции. Из таблицы видно, что, как правило, наибольшие коэффициенты распределения наблюдаются на мембранах с наибольшими удельными поверхностями.

Чтобы сделать поверхность ПЭТФ-ТМ менее активной в отношении адсорбции белков, ее модифицировали полимерами, обладающими основными свойствами - полиэтиленмином и поливинилпирролидоном.

Для определения влияния модифицирования были сопоставлены электроповерхностные и адсорбционные свойства реакторных исходной и модифицированной микрофильтрационной ПЭТФ-ТМ со средним диаметром пор 0.2 мкм.

В таблице 3 приведены электроповерхностные свойства исходной и модифицированной мембран.

Видно, что в результате модифицирования значение плотности заряда поверхности пор упало до нуля. Гидродинамические исследования показали лишь незначительное (на уровне погрешности эксперимента) уменьшение диаметра пор. При этом производительность мембраны снизилась только на 4 %. Это свидетельствует о возможности практического применения ПЭТФ-ТМ, модифицированных данным ме-

Мембрана	ζ -потенциал мВ	σ Кл·см ⁻²
Исходная	1.8×10^{-1}	4.25×10^{-9}
Модифицированная	$0 \pm 0,01$	$0 \pm 2 \times 10^{-10}$

Табл. 3. Электроповерхностные свойства исходной и модифицированной ПЭИ и ПВП реакторных симметричных ПЭТФ ТМ ($D = 0.2$ мкм).

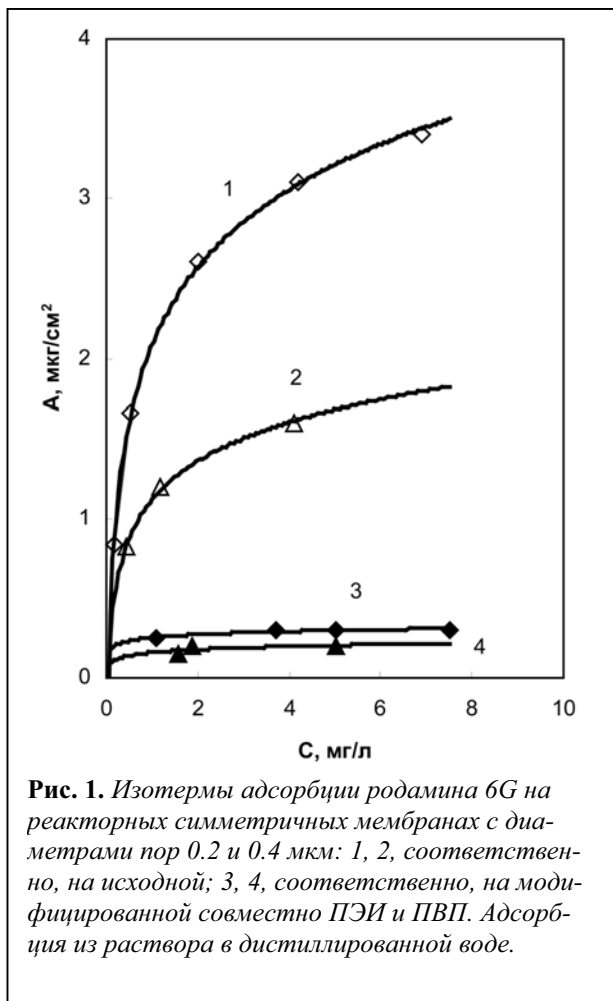
тодом.

В качестве адсорбатов использовали белки: основные - цитохром С и лизоцим, нейтральный - гемоглобин и кислый – овальбумин. В данных экспериментах использовали водные растворы с концентрацией белка 25 мг/л.

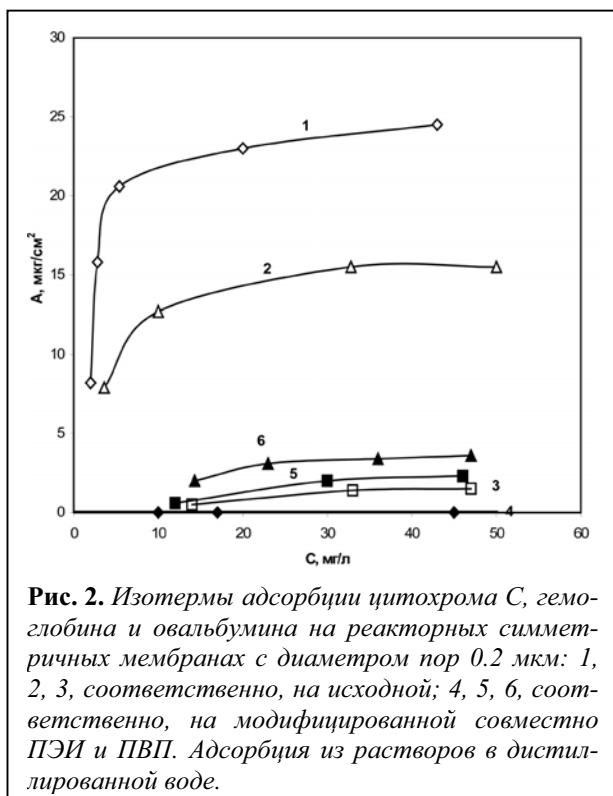
В таблице 4 приведены адсорбционные характеристики белков на исходной и модифицированной ПЭИ и ПВП мембранах. Из таблицы видно, что на немодифицированной мембране очень значительно адсорбируются основные белки - цитохром С, лизоцим - и нейтральный белок - гемоглобин. Из раствора на мембрану переходит 88, 84 и 80% этих белков, соответственно. Кислый белок овальбумин адсорбируется мало. Его адсорбционные потери составляют лишь 6%. На модифицированной полимерами мембране цитохром С не адсорбируется совсем, а потери лизоцима и гемоглобина составляют всего 14%. Потери овальбумина на модифицированной мембране остаются незначительными – 8%. Адсорбционная активность (выражаемая коэффициентом распределения K) модифицированной мембраны по цитохрому С снижается до нуля, а по лизоциму и гемоглобину уменьшается в 30 и 15 раз, соответственно. При этом адсорбционная активность в отношении овальбумина у модифицированной мембраны, хоть и

Белок	Исходная мембрана			Модифицированная мембрана		
	K мл/см ²	A мкг/см ²	Потери %	K мл/см ²	A мкг/см ²	Потери %
Цитохром С	3.9	8.2	88	< 0.01	< 0.1	< 1
Лизоцим	3.1	10.4	84	0.09	1.8	14
Гемоглобин	2.2	7.9	80	0.14	1.8	14
Овальбумин	0.02	1.5	6	0.05	2.3	8

Табл. 4. Адсорбционные характеристики белков на реакторных симметричных ПЭТФ ТМ ($D_{пор} = 0.2$ мкм) - исходной и модифицированной ПЭИ и ПВП



увеличивается в 2 раза в сравнении с исходной



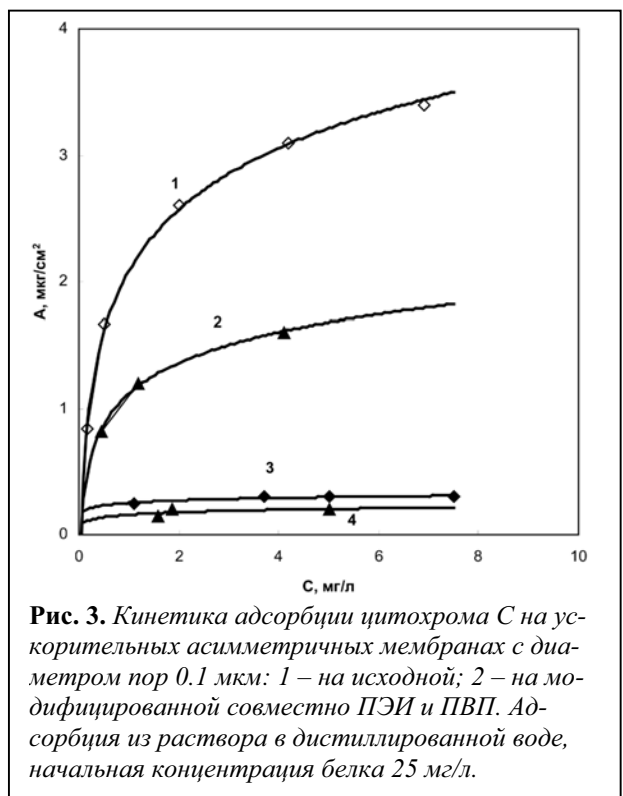
мембраной, но остается примерно в 2–3 раза ниже, чем у гемоглобина и лизоцима.

Изотермы адсорбции трех белков – цитохрома С, гемоглобина и овальбумина на исходной и модифицированной мембранах с диаметром пор 0.2 мкм приведены на рис. 1.

По этим изотермам также можно проследить за снижением адсорбции цитохрома С и гемоглобина, а также за незначительным увеличением адсорбции овальбумина в результате модифицирования мембраны.

Эффект модифицирования поверхности двух мембран с диаметрами пор 0.2 и 0.4 мкм можно оценить по адсорбции основного красителя родамина 6G из растворов в воде.

На рис. 2 приведены изотермы адсорбции родамина 6G на двух микрофильтрационных мембранах - с диаметрами пор 0.2 и 0.4 мкм и удельными поверхностями ($S_{уд}$) равными 18 и 10 $см^2/см^2$, соответственно. Из изотерм видно, что адсорбция увеличивается с ростом удельной поверхности мембран. При этом адсорбция красителя на исходных мембранах значительно ниже, чем на модифицированных. Влияние модифицирования мембран полиэтиленимином и поливинилпирролидоном на адсорбцию было исследовано также на асимметричных ПЭТФ-ТМ с диаметрами пор 0.1 мкм.



На рис. 3 приведена кинетика адсорбции цитохрома С из водного раствора на исходной и модифицированной асимметричной ПЭТФ-ТМ. Видно, что адсорбционное равновесие устанавливается менее, чем за 2 часа. При этом адсорбция на модифицированной мембране примерно в 10 раз меньше, чем на исходной.

Заключение

Причина наблюдаемой зависимости адсорбции белков и красителей от модифицирования поверхности трековой мембраны полиэтиленгликолем и поливинилпирролидоном заключается в том, что при этом устраняются кислотные свойства поверхности мембраны и проявляются основные свойства модификаторов. Кроме того, вероятно, после модифицирования поверхность становится более гидрофильной. В результате полностью устраняется или значительно уменьшается адсорбция основных белков, значительно снижается также адсорбция нейтрального белка, несколько увеличивается, но при этом остается низкой адсорбция кислого белка.

Эффект модифицирования полимерами поверхности асимметричных и симметричных трековых мембран в адсорбции исследованных веществ качественно одинаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хохлова Т.Д., Мchedlishvili Б.В. // Коллоид. журн. 1996. Т. 58. №6. С.846.
2. Хохлова Т.Д., Виленский А.И., Мchedlishvili Б.В. // Коллоид. журн. 1998. Т.60. №4. С.574 – 575.
3. Хатайбе Е.В., Хохлова Т.Д., Трусов Л.И., Мchedlishvili Б.В. // Коллоид. журн. 2005, Т. 67. №1. С. 124 – 127.
4. Митрофанова Н.В., Нечаев А.Н., Хохлова Т.Д., Мchedlishvili Б.В. // Коллоид. журн. 2003, Т. 65. №2. С. 248 - 251.
5. Berezkin V.V., Volkov V.I., Kiseleva O.A., Mitrofanova N.V., Sobolev V.D. // Adv. Colloid Interf. Sci. 2003. V. 104. p. 311.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (Госконтракт № 02.434.11.2002 от 12 апреля 2005 г.) и РФФИ (грант № 05-08-18030-а).

ЭЛЕКТРОМЕМБРАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ЦЕРИЯ

Т.А. Седнева

Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья

им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты Мурманской обл.

В работе приводятся результаты изучения окисления церия(III) до церия(IV) с одновременной экстракцией в органическую фазу и восстановления церия(IV) до церия(III) в экстракте с одновременной реэкстракцией в водную фазу в электромебранном процессе с целью эффективного отделения церия от других редкоземельных элементов без использования реагентов. Определены основные параметры процесса, состав получаемых растворов нитрата церия(III), и предложена схема реализации изучаемых процессов в одном аппарате.

Ключевые слова: церий, азотнокислые растворы РЗЭ, электромебранный процесс, анионообменная мембрана.

In present investigation oxidation of cerium to cerium(IV) with simultaneous extraction to an organic phase and reduction of cerium(IV) to cerium(III) in an extract with simultaneous re-extraction to an aqueous phase in electromembranous process have been studied. The goal of this process is an efficient separation of cerium from other rare earths without utilization reagents. The key parameters of the process, the composition of cerium nitrate solutions were determined and realization scheme in one apparatus was suggested.

Key words: cerium, the nitrate solutions of rare earths, electro membranous process, a membrane.

В технологии извлечения церия из смеси РЗЭ наиболее перспективным является способ его предварительного электрохимического окисления [1] с последующим отделением церия(IV) осадительными или экстракционными методами. Кроме сравнительной простоты разделения, основанной на значительном отличии химических свойств церия(IV) от трехвалентных РЗЭ, преимущества электрохимического способа заключаются в отсутствии реагентов, непрерывности процесса и пр.

Разделение электродных зон электролизера ионоселективными мембранами [2] открывает принципиальную возможность осуществления в разделенных электролитах окисления и восстановления церия с одновременным экстракционным отделением его от других редкоземельных элементов в одном аппарате.

Идея заключается в следующем (рисунок 1): в анодную зону, отделенную от катодной анионообменной мембраной подаются церийсодержащий раствор РЗЭ(III) и трибутилфосфат (ТБФ). Окисленный на аноде церий(IV) одновременно экстрагируется в органическую фазу и, таким образом, объемный катион Ce(IV) отводится от электродной поверхности. Известно, что коэффициент разделения церия(IV) и трехвалентных РЗЭ достигает 10000 [3, 4], что озна-

чает высокую селективность и избирательность процесса экстракции. Трехвалентные редкоземельные элементы при этом практически полностью остаются в водной фазе.

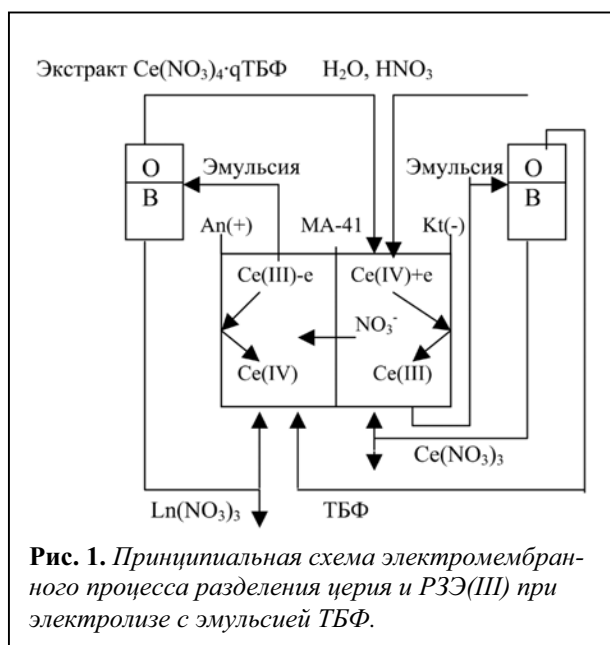


Рис. 1. Принципиальная схема электромебранного процесса разделения церия и РЗЭ(III) при электролизе с эмульсией ТБФ.

Далее, вынесенная из анодной зоны эмульсия расслаивается в отстойной камере, через которую циркулирует анолит. Отделившийся экстракт должен быть направлен в катодную камеру вместе с потоком разбавленной кислоты

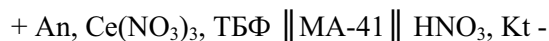
в качестве реэкстрагента. Восстановленный при катодном разряде церий (III) реэкстрагируется из органической фазы в водную. Из отстойной камеры анодного контура также вытекает раствор РЗЭ(III), а из катодного - в анодную камеру возвращается регенерированный ТБФ и выходит азотнокислый раствор церия(III) высокой чистоты.

В предлагаемом процессе окисление и восстановление церия обеспечивают его эффективное экстракционное отделение от других РЗЭ в одном аппарате. Способ является практически безреагентным. Используемые кислота и ТБФ находятся в обороте.

Задача настоящих исследований заключалась в определении параметров электролиза и эффективности способа.

В работе представлены результаты поэтапного, в целях ограничения факторов влияния, подхода к решению поставленной задачи: реализация процесса одновременного окисления-экстракции в анолите и восстановления-реэкстракции церия в катодите в электромембранных процессах с использованием в качестве противоположных электролитов разбавленных растворов азотной кислоты.

Процесс окисления - экстракции проводили по схеме:



Электролизу подвергали азотнокислые растворы редкоземельных элементов, содержащих нитрат церия(III) 94 г/л в пересчете на CeO_2 (при соотношении 54% CeO_2 от Σ РЗО) и 30 г/л HNO_3 . В качестве экстрагента использовали 100% ТБФ. Соотношение фаз О:В в анолите должно было обеспечивать непрерывное поглощение катионов $\text{Ce}(\text{IV})$ органической фазой с максимально быстрым ее насыщением. Процесс осуществляли в проточном электролизере фильтр-прессного типа с электродной и мембранной поверхностью 0,2 дм² с интенсивностью протекания потока электролита $\text{Re}=500$ при силе тока 1 А. Анодом служила платиновая, а катодом – стальная пластина. Для разделения электродных пространств использовали анионообменную мембрану МА-41.

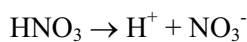
В процессе электролиза на аноде протекает окисление церия



или



На катоде выделение водорода из раствора кислоты



Анионообменная мембрана предотвращает попадание катионов церия в катодит, но обеспечивает миграцию нитрат-ионов в анодное пространство для компенсации дополнительной валентности церия.

Визуально протекание электрохимического окисления церия и его экстракция ТБФ подтверждаются интенсивным окрашиванием органической фазы в характерный для церия(IV) оранжевый цвет, в то время как водная фаза остается бесцветной, как и раствор трехвалентных солей РЗЭ. Окисленный церий мгновенно экстрагируется трибутилфосфатом. Анализ наличия церия(IV) в водной фазе анолита на протяжении всего процесса оставался отрицательным, в то время как содержание церия(III) в нем неуклонно понижалось.

Концентрацию $\text{Ce}(\text{IV})$ (г/л) в растворах (в пересчете на CeO_2) определяли титрованием раствором Соли Мора в присутствии индикатора ДАС Na. По результатам анализа вычисляли степень окисления $\text{Ce}(\text{III})$ в $\text{Ce}(\text{IV})$ $C_{\text{ок}}(\%)$, выход по току $\eta(\%)$ и удельный расход электроэнергии W (кВт·ч/кг) в пересчете на оксид по общепринятым методикам.

Результаты представлены в таблице 1.

С падением концентрации $\text{Ce}(\text{III})$ в анолите усиление диффузионного контроля процесса окисления приводит к смещению анодного потенциала, что выражается в возрастании напряжения на электролизере от 6 до 35 В (предел, обусловленный используемым источником питания Б5-47), что приводит к развитию побочного процесса выделения кислорода. Поляризация сопровождается снижением силы тока до 0,01 А при напряжении 35 В. Практически полное окисление церия осуществляется с выходом по току ~70%, и расходом электроэнергии около 7,3 кВт·ч/кг CeO_2 .

τ, мин	U, В	Содержание в водной фазе, г/л		C _{ок} , %	η, %	W, кВт·ч /кг
		Ce(IV)	Ce(III)			
10	6,0	н/о	81,2	13,6	99,5	0,92
20	8,5	н/о	69,3	26,3	95,9	1,34
40	12,5	н/о	47,1	49,4	90,2	2,10
60	19,5	н/о	30,0	68,1	82,8	3,58
80	26,5	н/о	14,6	84,4	77,0	5,13
100	34,0	н/о	1,88	98,0	71,5	7,24
105	35,0	н/о	0,17	99,8	69,4	7,34

Табл. 1. Кинетика окисления церия в присутствии ТБФ; $i = 0,5 \text{ кА/м}^2$; $O:B=1:4$; $Ce(IV)_0 = 94 \text{ г/л } CeO_2$

Показатели периодического электролиза указывают на возможность осуществления процесса электрохимического окисления церия в непрерывном режиме с высокими показателями: с выходом по току не менее 95% и расходом электроэнергии около 2,1 кВт·ч/кг CeO_2 . При этом скорости циркуляции водной и органической фаз необходимо рассчитывать таким образом, чтобы концентрация Ce(III) в анолите не опускалась ниже 70 г/л CeO_2 с тем, чтобы реакция окисления селективно протекала в области электрохимической кинетики с низкими энергетическими затратами, а экстракт был близок к насыщению Ce(IV).

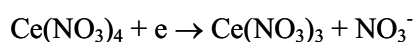
Максимально достигаемая емкость ТБФ по церию(IV) составила 540 г/л CeO_2 . Насыщенные экстракты подвергали электромембранному восстановлению с одновременной реэкстракцией в водный раствор по схеме:



В процессе электролиза на катоде протекает восстановление церия из экстракта



или



На аноде в растворе азотной кислоты - выделение кислорода при разложении воды в кислой среде



Анионообменная мембрана предотвращает попадание катионов церия в анолит, но обеспечивает миграцию свободных нитрат-ионов в анодное пространство для нейтрализации катионов водорода с образованием азотной кислоты.

Результаты, представленные в таблице 2, указывают на возможность практически полной,

τ, мин	U, В	Ce(III) г/л	C _в , %	η, %	W, кВт·ч/кг
10	6,0	13,6	10,1	99,8	0,92
20	8,5	26,1	19,4	95,4	1,36
40	13	48,8	36,1	89,1	2,22
60	20	67,1	49,7	81,8	3,72
80	23	79,3	58,7	72,4	4,84
100	30	85,1	63,1	62,2	7,34
120	34	129,5	95,9	51,8	6,56
130	35	134,7	99,8	45,0	6,33

Табл. 2. Кинетика восстановления и реэкстракции церия из экстракта $Ce(\text{NO}_3)_4 \cdot q \text{ТБФ}$ в электромембранном процессе; $i = 0,5 \text{ кА/м}^2$; $O:B=1:4$; $Ce(IV)_0 = 540 \text{ г/л } CeO_2$

не менее чем на 99,8%, реэкстракции церия в раствор.

Визуально органическая фаза в процессе катодной обработки теряет интенсивность оранжевой окраски и к ее завершению становится бесцветной, как и водная фаза, что указывает на отсутствие катионов Ce(IV). Контрольная реэкстракция церия раствором 60% H_2O_2 в присутствии 10 моль/л HNO_3 в таком образом регенерированном ТБФ показывает отсутствие в нем Ce(IV), что подтверждает протекание электрохимического восстановления церия в исследуемых условиях до конца, с одновременным 100% извлечением в водную фазу.

Концентрация Ce(III) в водной фазе католи-та в течение электролиза нарастает до 134,7 г/л CeO_2 . В конце электролиза сила тока падает до 0,3 А, а напряжение на электролизере повышается от 6 до 35В. Наблюдаемая поляризация связана с понижением концентрации Ce(IV) и падением скорости реакции (3). Выход по току восстановленного церия составляет в конце процесса 45%. Остальное количество электричества приходится на реакцию (4). Наблюдае-

мую поляризацию можно также связать и с высоким перенапряжением разряда катионов водорода на стальном катоде в среде, близкой к нейтральной.

Следует отметить практическую сбалансированность электродных процессов на начальном этапе, когда исходные концентрации церия достаточно высоки. Так, при прохождении через электролит одного и того же количества электричества 1 А ч (60 мин.) выход по току восстановленного церия составляет 82,8% (табл. 1), а восстановления – 81,8% (табл. 2). По мере развития побочных процессов выход по току процесса окисления церия опережает выход по току его восстановления. Это может быть связано с

более низким перенапряжением разряда катионов водорода на стальном катоде по сравнению с перенапряжением реакции образования кислорода на платиновом аноде.

В таблице 3 представлены характеристики церийсодержащих растворов до и после электрохимической обработки.

Реэкстракт 1 представляет собой раствор азотнокислого церия, полученный в опыте, представленном в таблице 2. По содержанию основного вещества ($\geq 99,8\% \text{CeO}_2$) и примесных элементов он соответствует реактиву $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ квалификации «ч». Реэкстракт 2 был получен в аналогичных условиях, но с предварительной промывкой экстракта водой,

Содержание компонентов	Ед. изм.	Растворы			
		Исходный	Реэкстракт 1	Реэкстракт 2	$\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ «чда»
P2O	г/л	175			
	%	100			
CeO ₂	г/л	94	133,4	150,2	
	%	53,7	99,86	99,90	99,9
P2O (La, Pr, Nd)	г/л	80,8	0,03	0,013	
	%	46,4	0,02	0,009	(0,1)
La ₂ O ₃	г/л	-	0,04	0,024	
	%		0,03	0,013	0,2
TiO ₂	г/л	-	0,003	0,002	
	%		0,002	0,001	0,2
CaO	г/л	0,88	0,09	0,07	
	%	0,50	0,07	0,05	0,1
Fe ₂ O ₃	г/л	1,14	0,013	0,015	
	%	0,65	0,010	0,010	0,1
Na ₂ O	г/л	0,259	0,007	0,006	
	%	0,148	0,005	0,004	0,1
Ni	г/л	0,002	0,0008	0,0009	
	%	0,001	0,0006	0,0006	0,1
Co	г/л	0,0006	0,0004	0,0005	
	%	0,0003	0,0003	0,0003	-
Cu	г/л	0,044	0,0005	0,0006	
	%	0,025	0,0004	0,0004	-
MnO	г/л	0,006	0,0008	0,0009	
	%	0,003	0,0006	0,0006	-

Табл. 3. Характеристика церийсодержащих растворов до и после электрохимической обработки в сравнении с чистой реактива азотнокислого церия (III)

подкисленной HNO_3 , при соотношении $\text{O}:\text{B}=1:1$. По содержанию основного вещества ($\geq 99,9\%$ CeO_2) он соответствует более высокой квалификации «чда».

Полученные в процессе разрабатываемого способа, азотнокислые растворы церия(III) в общем содержат, г/л: не менее 150 CeO_2 ; не более 0,03 $\text{Ln}(\text{NO}_3)_3$; 0,09 CaO ; 0,015 Fe_2O_3 ; 0,007 Na_2O ; 0,0009 Ni и MnO , 0,0006 Cu ; 0,0005 Co ; 0,003 TiO_2 .

Процесс электромембранного разделения церия от других РЗЭ был опробован в лабораторных условиях по предлагаемой схеме. Запуск электролиза осуществляли при силе тока 1 А по схеме:

+ An, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$, ТБФ || МА-41 || HNO_3 , Kt - в условиях непрерывной циркуляции электролитов, при объеме анолита 1 л и соотношении $\text{O}:\text{B} = 1:10$ в соответствии со схемой (см. также рисунок):

+ An, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3$, ТБФ || МА-41 || $\text{Ce}(\text{NO}_3)_4 \cdot \text{qТБФ}$, HNO_3 , Kt -

Через 11 ч электролиза насыщенную до концентрации ~ 540 г/л CeO_2 органическую фазу непрерывно подавали в катодное пространство при соотношении $\text{O}:\text{B} = 1:1$ со скоростью 1,7 мл/мин. К этому моменту анодный выход по току церия(IV) составил 92%. С этого момента деполяризация анода протекала за счет реакции окисления церия(III), а катода – за счет восстановления церия(IV). Через 1 ч установленного режима концентрация церия(III) в водной фазе католита достигла 5,34 г/л, что соответствовало выходу по току церия(III) 99,4%. Напряжение на электролизере при этом достигло 20 В. Возможно повышение поляризации связано также с особенностями электролиза в эмульсии, что требует дополнительного исследования.

Полученные результаты указывают на возможность реализации предлагаемой технологии и одновременно на необходимость ее оптимизации, которая связана с более глубоким изучением электродных и мембранных процессов и организацией всех потоков в непрерывном режиме.

Заключение

1. Исследовалась возможность одновременно-го окисления - экстракции церия из азотнокислого раствора РЗЭ в ТБФ и его восста-

новления - реэкстракции из экстракта в водный раствор с целью эффективного отделения церия от других элементов в электро-мембранном процессе.

2. Показана возможность его практически полного окисления и селективного извлечения в экстракт в анодной камере мембранного электролизера с последующим полным восстановлением в катодной камере и реэкстракцией в водную фазу католита. Определены основные параметры процессов.
3. Реализация способа открывает возможность эффективного безреагентного выделения церия из редкоземельных растворов в одном аппарате.
4. Полученные азотнокислые растворы церия по содержанию основного вещества соответствуют реактиву $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ квалификации «ч» и «чда».

Литература

1. Седнева Т.А. / Электроокисление церия (III) в азотнокислых растворах редкоземельных элементов // ЖПХ, 2005. Т.78. Вып. 6. С. 928-932.
2. Использование ионообменных мембран в химических процессах ядерной технологии. Тр. II Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Великобритания. Лондон, 1958. Т.7, доклад № 502, с.451.
3. Михайличенко А.И., Михлин Е.Б., Патрикеев Ю.Б. Редкоземельные металлы. М.: Металлургия, 1987. 232 с.
4. Заявка 2628408, Франция, МКИ⁴ С 01 F 17/00. Procède d'oxidation electrochimique du cerium 3+ en cerium 4+, en emulsion / Horbez Dominique, Stork Alain, Grosbois Jean; Rhone-Poulenc.Chemie. Заявл. 09.03.88. Оpubл.15.09.89.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПЕРВАПОРАЦИОННОГО РАЗДЕЛЕНИЯ ЖИДКИХ СМЕСЕЙ

Часть 2 (Обзор)

А.М. Поляков¹, С.А. Соловьев²

¹ Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва

² ООО «Экодар-Л», г. Москва

В работе представлен обзор литературных данных, посвященных процессу первапорационного разделения жидких смесей. В частности, рассмотрены основные характеристики эффективности первапорационного разделения, принципы выбора мембран и полимеров для первапорационных мембран, механизм процесса и факторы определяющие эффективность первапорации (природа и состав разделяемой смеси, температура разделяемой смеси, толщина мембраны, внешненидиффузионные сопротивления и остаточное давление под мембраной).

Ключевые слова: первапорация, испарение через мембрану, разделение жидких смесей, полимерные мембраны.

Paper presents the review of literature data on liquid mixtures separation by pervaporation. Basic efficiency characteristics of pervaporation method, approaches on choice of appropriate polymer and membrane materials for pervaporation, transport phenomena and factors effecting on pervaporation performance (origin and content of separated mixture, temperature of separated mixture, membrane thickness, external diffusion resistance and residual under-membrane pressure) are discussed in particular.

Key words: pervaporation, liquid mixtures separation, polymeric membranes.

1. Характеристики эффективности первапорационного разделения

Основными характеристиками первапорационной мембраны, определяющими ее транспортные и селективные свойства при разделении жидкой смеси являются поток и селективность. Поток (J), как правило, имеет размерность ($\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) и рассчитывается по следующей формуле:

$$J = \frac{m}{F \cdot \tau} \quad (1)$$

где m – масса пермеата, образовавшегося за время τ с поверхности мембраны площадью F .

Для сопоставления данных о потоках, полученных на различных мембранах и гомогенных полимерных пленках, используется величина проницаемости (или удельного потока), которая в случае первапорации равна величине потока J , умноженной на толщину мембраны l (для асимметричных и композитных мембран – на величину непористого селективного слоя).

Транспортной характеристикой может также служить коэффициент проницаемости (P), учитывающий движущую силу первапорацион-

ного процесса – перепад парциального давления через мембрану. При этом, пренебрегая давлением пара под мембраной, для вакуумной первапорации можно записать:

$$P = \frac{J \cdot l}{p_s} \quad (2)$$

где p_s – давление насыщенного пара при температуре разделения.

Селективность разделения может выражаться несколькими способами, но она всегда относится к компоненту, преимущественно проникающему через мембрану – легкопроницающему компоненту (ЛПК). Наиболее простой способ состоит в том, чтобы выражать состав пермеата в зависимости от состава разделяемой смеси. Графически этот способ представляется в виде фазовой диаграммы, аналогичной тем, на которых показывают кривые равновесия жидкость-пар. Достоинством этого способа является то, что он позволяет сразу сравнить селективность первапорации с селективностью дистилляции.

Еще одним простейшим способом выражения селективных свойств мембраны в процессе

первапарации является коэффициент концентрирования, равный:

$$\beta_i = \frac{y_i}{x_i} \quad (3)$$

где x_i и y_i – концентрации ЛПК соответственно в разделяемой жидкой смеси и в пермеате.

Коэффициент концентрирования удобно использовать при расчетах первапорационных аппаратов, при составлении материальных балансов, а также при описании первапорационных процессов разделения многокомпонентных смесей. Недостатком коэффициента концентрирования является зависимость его величины от способа выражения концентрации (% масс. или % мол.). Поэтому чаще, по аналогии с процессом мембранного газоразделения, избирательность первапорационных мембран характеризуют коэффициентом селективности ($\alpha_{i/j}$), величина которого не зависит от способа выражения концентрации:

$$\alpha_{i/j} = \frac{y_i}{y_j} \cdot \frac{x_j}{x_i} = \frac{y_i}{1-y_i} \cdot \frac{1-x_i}{x_i} \quad (4)$$

где x_j и y_j – концентрации труднопроникающего компонента (ТПК) в разделяемой жидкой смеси и в пермеате.

Таким образом, величина коэффициента селективности чувствительна только к соответствующей величине концентрации ЛПК в разделяемой смеси (x_i). При этом оба выражения для α и β дают значения тем большие, чем меньше x_i , и этот эффект удваивается в случае α . Иллюстрацией этого эффекта служит таблица 1, в которой сопоставлена эквивалентность различных способов выражения селективности.

x_i (% масс.)	10	10	10	1	1	1	0,1	0,1	0,1
y_i (% масс.)	50	90	99	50	90	99	50	90	99
β	5	9	9,9	50	90	99	500	900	990
α	9	81	891	99	891	9801	999	8991	98901

Табл. 1. Эквивалентность различных способов выражения селективности

Существуют соотношения, позволяющие пересчитывать значения селективности, выраженные в одной форме, в другую:

$$\alpha_{i/j} = \frac{1-x_i}{1-\beta \cdot x_i} \cdot \beta \quad \text{и}$$

$$\beta_i = \frac{\alpha_{i/j}}{1 + (\alpha_{i/j} - 1) \cdot x_i} \quad (5)$$

Для сравнения эффективности первапорационного разделения смеси на различных полимерных мембранах удобно использовать обобщенный показатель – первапорационный индекс разделения (pervaporation separation index - PSI). Ранее PSI определяли как произведение потока (или проницаемости) и селективности [1], теперь же PSI оценивают по следующему соотношению[2]:

$$PSI = J \cdot l \cdot (\alpha - 1) \quad (6)$$

при этом PSI = 0 либо при $\alpha = 1$ (когда разделение не происходит), либо при $J = 0$.

2. Принципы выбора мембран и полимеров для первапорационных мембран

Первоначально исследователи первапарации делали мембраны из всех доступных полимеров и испытывали их для разделения различных типов смесей, т.е. имел место случайный выбор мембран. Таким образом было найдено, что гидрофильные полимеры оказались наиболее подходящими для обезвоживания органических растворителей, а для удаления органических веществ из водных растворов преимущественно имеют гидрофобные эластомеры [3]. В настоящее время выбор мембраны или полимера для первапорационной мембраны осуществляется с учетом известных физико-химических свойств полимера (температура стеклования, соотношение аморфных и кристаллических доменов и т.п.), морфологии мембраны и факторов, влияющих на механизм процесса (межмолекулярные взаимодействия, природа и состав разделяемой смеси, температура, гидродинамические условия в напорном и дренажном каналах и т.д.). Комплексный учет этих факторов позволяет делать наиболее обоснованный выбор мембранного материала для решения конкретной задачи разделения.

Кроме этого, материалы первапорационных мембран должны отвечать ряду требований [4-6]:

- высокие транспортные характеристики (проницаемость и селективность);
- стабильность при контакте с разделяемыми жидкостями;
- термическая устойчивость;
- неизменность транспортных характеристик и механических свойств во времени.

Таким образом, для обеспечения наибольшей проницаемости и селективности первапорационная мембрана должна иметь бездефектный активный слой минимальной толщины. В связи с этим, почти все плоские промышленно выпускаемые первапорационные мембраны (таблица 2) являются композитными и состоят, как минимум, из трех слоев:

- непористого полимерного активного слоя толщиной до нескольких микрометров, определяющего транспортные характеристики;
- асимметричного ультрафильтра с высокой открытой пористостью и толщиной до 100 мкм, «поддерживающего» активный слой;
- тканной или нетканной подложки из инертного материала толщиной от 100 мкм, обеспечивающей неизменность механических свойств мембраны и минимальное сопротивление результирующему массопереносу.

Для изготовления мембран необходимо, чтобы материалы активного слоя были пленкообразующими и растворимыми в органических растворителях [7]. А для получения высокой проницаемости также желательно, чтобы полимеры имели температуру стеклования ниже рабочей температуры ($T_c < T$). Однако, в случае первапорации понятие T_c не строго, так как присутствие сорбируемых растворов в материале мембраны снижает температуру стеклования образованной системы [8]. Еще одним важным параметром является доля кристалличности полимера активного слоя. Во-первых, кристаллические зоны, как правило, являются препятствиями, которые удлиняют диффузионный путь пенетрантов, и, во-вторых, они могут сокращать подвижность полимерных цепей и снижать скорость проникания пермеата [8, 9]. При этом, как правило, более кристаллический полимер имеет большую селективность и меньшую проницае-

Мембрана	Материал активного слоя
Гидрофильные мембраны	
PERVAP 2200	ПВС сшитый
PERVAP 2201	ПВС с высокой степенью сшивки
PERVAP 2202	ПВС сшитый специальным сшивающим агентом
PERVAP 2205	ПВС сшитый специальным сшивающим агентом
PERVAP 2210	ПВС с низкой степенью сшивки
PERVAP 2510	ПВС сшитый специальным сшивающим агентом
CM-Celfa	ПВС сшитый
GKSS Simplex	Комплекс полиэлектролитов
Органофильные мембраны	
PERVAP 1060	ПДМС сшитый
PERVAP 1070	ПДМС наполненный силикалитом и сшитый
MTR 100	ПДМС сшитый
MTR 200	Эластомер на основе сополимера этилена и пропилена и диена/ПДМС сшитый*
GKSS PEBA	Блок-сополимер полиэфира и полиамида
GKSS PDMS	ПДМС сшитый
GKSS POMS	Полиоктилметилсилоксан
Органоселективные мембраны	
PERVAP 2256 1	-
PERVAP 2256 2	-
* двухслойный активный слой	

Табл. 2. Некоторые промышленно выпускаемые первапорационные мембраны [11].

мость. Кроме этого, в присутствии некоторых растворителей и в условиях высоких температур возможна перестройка кристаллитов и, как следствие, изменение механических и транспортных свойств полимера [8, 10].

Существует несколько способов предварительного подбора мембран и мембранных материалов для первапорации. Один из них основан на идеальной селективности ($\alpha_{ij}^{ид}$), определяемой по выражению:

$$\alpha_{i/j}^{ид} = \frac{J_i^0}{J_j^0} \quad (7)$$

где J_i^0 и J_j^0 – потоки компонентов i и j при индивидуальном проницании.

Этот способ выбора мембранного материала хорошо зарекомендовал себя в мембранном газоразделении, а неточность предсказаний в случае первапорации может быть связана с явлениями сопряжения и термодинамическими взаимодействиями пенетрантов [9], а также из-за усиления влияния внешнедиффузионных сопротивлений пограничного слоя жидкости. В отсутствие литературных или экспериментальных данных о потоках индивидуальных компонентов можно воспользоваться оценками этих величин, полученными по корреляциям величин потока или проницаемости пенетранта через рассматриваемый полимер от различных свойств проникающих молекул (молекулярной массы, мольного или критического объема, критического диаметра и др.) [8].

Еще один способ предварительного подбора мембран и мембранных материалов основан на анализе параметра растворимости (δ) [12]:

$$\delta = (ПЭК)^{1/2} = \left(\frac{\Delta E}{V}\right)^{1/2} \quad (8)$$

где ПЭК - плотность энергии когезии, ΔE - энергия межмолекулярного взаимодействия, V - мольный объем.

Сущность этого метода заключается в подборе полимера с параметром растворимости близким к параметру растворимости ЛПК. Хансен [13] предложил рассматривать параметр растворимости как сумму трех слагаемых:

$$\delta^2 = \delta_d^2 + \delta_p^2 + \delta_h^2 \quad (9)$$

где δ_d – компонента параметра растворимости, обусловленная дисперсионными силами; δ_p – компонента параметра растворимости, связанная с полярными взаимодействиями; δ_h – компонента параметра растворимости, обусловленная водородными связями.

Подобная схема рассмотрения параметра растворимости позволяет выявить и учесть потенциальные межмолекулярные взаимодействия пенетрантов с полимером и их влия-

ние на результирующие транспортные характеристики.

Оба из рассмотренных способов выбора первапорационного материала являются эмпирическими и могут позволить только качественную оценку эффективности разделения. Обоснованный выбор мембраны или полимера для первапорационной мембраны для решения конкретной задачи разделения возможен только с учетом физико-химических свойств разделяемой смеси и полимера, а также факторов, влияющих на механизм процесса.

Выбор мембран и мембранных материалов, подходящих для решения определенной задачи разделения, может также осуществляться на основании литературных данных.

3. Механизм процесса и факторы, определяющие эффективность первапорационного разделения

Процесс массопереноса при первапорации состоит из нескольких последовательных стадий:

- массоотдача из ядра потока разделяемой смеси к поверхности мембраны;
- массоперенос через мембрану;
- массоотдача от поверхности мембраны в ядро потока пермеата.

При этом основное сопротивление массопереносу, как правило, сосредоточено в мембране. Для описания транспорта через непористые мембраны могут использоваться различные модельные подходы, например [14-16]:

- модели неравновесной термодинамики;
- модель избирательной сорбции и капиллярного потока;
- модель растворения–диффузии.

В рамках неравновесной термодинамики мембрана рассматривается как черный ящик. Данный подход не учитывает природу и структурные особенности мембраны и, следовательно, не дает физико-химическую картину механизма разделения. Достоинство этого подхода заключается в возможности выявления явлений сопряжения движущих сил и потоков [17, 18].

Модель избирательной сорбции и капиллярного потока рассматривает непористую мембрану как капиллярно-пористое тело, а массоперенос как результат сопряжения процессов

предпочтительной сорбции и диффузии молекул пенетрантов в адсорбционных слоях, образующихся на поверхности пор мембраны [19, 20]. Следует отметить, что подобная модель применима только для ограниченного круга мембранных материалов, главным образом неорганических. Большинство полимерных мембран, используемых в первапорации, не содержат открытых пор, и, следовательно, данная модель имеет ограниченную применимость.

Традиционно внутримембранный массоперенос в процессе первапорации описывают в рамках модели растворения – диффузии [16, 21].

3.1. Модель растворения – диффузии была разработана Грэмом для описания мембранного разделения газов [22]. Сегодня она используется для описания транспорта во многих мембранных процессах разделения газов и жидкостей [16]. Для описания массопереноса в процессе первапорации она была впервые использована Биннинггом [23]. В рамках этой модели массоперенос через мембрану включает в себя три стадии:

- сорбция (растворение) компонентов разделяемой смеси в материале мембраны;
- диффузия пенетрантов через мембрану;
- десорбция пермеата с обратной стороны мембраны;

На рисунке 1 схематически представлены соответствующие профили химического потенциала (μ), парциального давления (p) и активности (a) ЛПК в мембране. При этом поток через мембрану может быть описан 1-м законом Фика:

$$J_i(x) = - \frac{C_i(x) \cdot D_i(x)}{R \cdot T} \cdot \frac{d\mu_i}{dx} \quad (10)$$

где C_i – концентрация i -го компонента в мембране, D_i – коэффициент диффузии i -го компонента в мембране.

Химический потенциал (μ) может быть записан как функция температуры, давления и состава [24]:

$$\mu_i(T) = \mu_i^0(T) + R \cdot T \cdot \ln a_i^M + \int_{p_i^0}^p \bar{V}_i \cdot dp - \int_{T_i^0}^T S_i \cdot dT \quad (11)$$

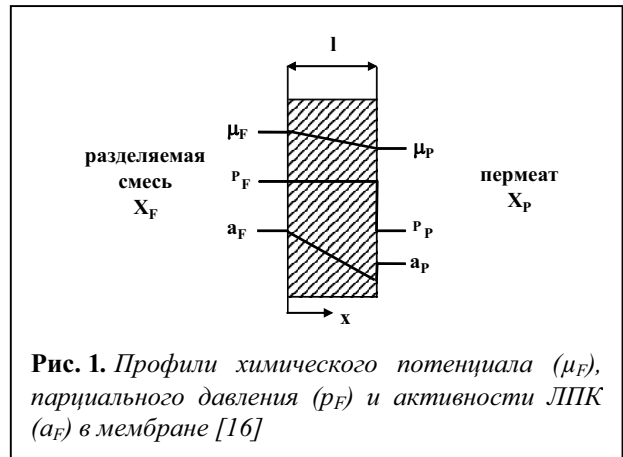


Рис. 1. Профили химического потенциала (μ_F), парциального давления (p_F) и активности ЛПК (a_F) в мембране [16]

где V – объем системы; S – энтропия системы. Принимая, что $-S_i T < V_i p \ll R T \ln a_i^M$ [16], уравнение (10) может быть упрощено:

$$J_i = -C_i(x) \cdot D_i(x) \cdot \frac{d}{dx} (\ln a_i^M) \quad (12)$$

Учитывая, что поток через мембрану перпендикулярен ее поверхности (в направлении координаты x , рисунок 1), а также принимая линейный профиль активности:

$$J_i = - \frac{C_i(x) \cdot D_i(x)}{a_i^M} \cdot \frac{\Delta a_i^M}{\Delta x} \quad (13)$$

где a_i^M – средняя активность в мембране; Δa_i^M – перепад активности на толщине Δx .

Принимая активность на поверхность мембраны, контактирующей с разделяемой смесью, равной:

$$a_{i,F}^M = a_{i,F} = x_{i,F} \cdot \gamma_{i,F} \quad (14)$$

где γ – коэффициент активности; a – активность на поверхности мембраны, контактирующей с пермеатом:

$$a_{i,P}^M = a_{i,P} = y_{i,P} \cdot \varphi_i \cdot \frac{p_P}{p_i^0} \quad (15)$$

Подставляя в уравнение (13) величины $a_{i,F}^M$ и $a_{i,P}^M$, а также заменяя Δx на l , имеем:

$$J_i = \frac{D_{i,M} \cdot C_{i,M}}{a_i^M} \cdot \frac{1}{l} \cdot (a_{i,F} - a_{i,P}) \quad (16)$$

Независимая экспериментальная оценка $D_{i,M}$, $C_{i,M}$ и a_i^M довольно сложна и может привести к неточным результатам. Поэтому эти параметры определяют из коэффициентов прони-

цаемости, получаемых из экспериментальных данных. Коэффициент проницаемости компонента i равен:

$$P_i = \frac{D_i(x) \cdot C_i(x)}{a_i^M} \quad (17)$$

Таким образом, для потока компонента i через непористую мембрану в случае первапо-рации справедливо:

$$J_i = \frac{P_i}{l} \cdot (a_{i,F} - a_{i,P}) \quad (18)$$

3.2. Влияние природы и состава разделяемой смеси. Эффективность первапорационного разделения характеризуется коэффициентами проницаемости и селективности и зависит как от условий проведения процесса (температуры разделяемой смеси, толщины мембраны, внешнедиффузионных сопротивлений и остаточного давления под мембраной, методов предварительной обработки мембраны и т. д.), так и от свойств системы «полимер-пенетрант», в частности от того, насколько сильно параметры молекул пенетрантов (молекулярная масса, геометрические размеры, мольные объемы и т.д.) и их физико-химические свойства (критические параметры, поляризуемость и т.п.) влияют на их проницаемость через полимер. Важными являются также концентрационные зависимости коэффициентов диффузии, вид изотерм сорбции и характер взаимодействий между компонентами разделяемых смесей.

Коэффициент проницаемости не является однозначной функцией какого-либо параметра молекулы пенетранта или физико-химического свойства вещества. Как правило, зависимость P от некоторого свойства пенетранта менее резкая, чем соответствующие зависимости D и S , так как последние противоположны по характеру и взаимно компенсируются. Таким образом, отчетливую связь между P и свойствами диффундирующих молекул можно проследить, анализируя их влияние на D и S отдельно [8].

Обобщая уравнение (17), можно записать следующее выражение для коэффициента проницаемости (P):

$$P = D \cdot S \quad (19)$$

где D - коэффициент диффузии, кинетический фактор, характеризующий скорость массопереноса под действием заданного градиента концентрации; S - коэффициент растворимости, термодинамический фактор, определяющий реализуемый в мембране градиент концентрации при заданной движущей силе.

Таким образом, результирующая идеальная селективность первапорационного разделения ($\alpha_{pv}^{ид}$) зависит от разницы коэффициентов диффузии и растворимости пенетрантов, реализуемой в первапорационной системе, и, в соответствии с (19), может быть представлена как произведение селективности диффузии (α^D) и селективности растворимости (α^S):

$$\alpha_{1/2}^{ид} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{D_1}{D_2} \cdot \frac{S_1}{S_2} = \alpha_{1/2}^D \cdot \alpha_{1/2}^S \quad (20)$$

В зависимости от физического состояния материала мембраны (высокоэластичного или стеклообразного) изменения коэффициентов проницаемости в рядах пенетрантов (или селективности их разделения) могут определяться преимущественно изменениями S или D , и тогда говорят о преобладании сорбционного или диффузионного механизмов разделения.

В случае преобладания диффузионного механизма разделения изменения проницаемости в рядах пенетрантов аналогичны изменениям коэффициентов диффузии, т.е. проницаемость снижается с увеличением размера диффундирующей молекулы, как это происходит в случае первапорационного обезвоживания органических растворителей с использованием стеклообразных полимеров [3, 4, 6].

При преобладании сорбционного механизма разделения проницаемость возрастает с увеличением размера и массы пенетрантов, точно так же, как это имеет место с коэффициентом растворимости, например, при выделении органических компонентов из водных растворов на каучуках [3, 6].

В качестве количественного критерия оценки величин селективности диффузии (α^D) и селективности растворимости (α^S) можно использовать углы наклона линейных корреляций коэффициентов растворимости и диффузии газов и паров от силовой постоянной потенциала

Леннарда-Джонса и размера молекулы, соответственно, предложенные в работах [25-27].

Коэффициенты девиации. Количественной мерой взаимодействия компонентов исходной смеси между собой и материалом мембраны служит коэффициент девиации проницаемости (θ) [5, 28, 29]. Коэффициент девиации представляет собой отношение наблюдаемого потока компонента к потоку, который можно было ожидать, исходя из данных о потоке компонента при индивидуальном проницании, с учетом его концентрации в разделяемой жидкой смеси (по аддитивности).

Таким образом, для i -го компонента:

$$\theta_i = \frac{J \cdot y_i}{J_i^0 \cdot x_i} \quad (21)$$

где J_i^0 – поток компонента i при индивидуальном проницании через мембрану; y_i – концентрация компонента в пермеате; x_i – концентрация этого компонента в исходной смеси.

При $\theta > 1$ взаимодействие между компонентами разделяемой смеси и материалом мембраны приводит к увеличению выхода пермеата. Если $\theta < 1$, то указанное взаимодействие снижает выход пермеата. В случае $\theta = 1$ взаимодействие “компоненты разделяемой смеси – материал мембраны” не влияет на проницаемость.

3.3. Влияние температуры разделяемой смеси. Первапорация является диффузионным мембранным процессом, сопровождаемым фазовым переходом, поэтому скорость переноса вещества через мембрану зависит от температуры. Для потока в определенном диапазоне температуры справедливо:

$$J = J_0 \cdot \exp(-E_a / R \cdot T) \quad (22)$$

где J_0 – предэкспоненциальный множитель; E_a – кажущаяся энергия активации процесса первапорации.

В процессе первапорации реализуется механизм «растворение – диффузия», поэтому кажущаяся величина энергии активации процесса зависит от нескольких параметров. При изменении температуры изменяется движущая сила процесса первапорации. Это обусловлено тем, что давление насыщенного пара зависит от температуры, а так как химический потенциал жидкой фазы и паров в условиях равновесия совпа-

дают, значит, меняется и химический потенциал жидкой фазы. Вторым составляющим движущей силы процесса является концентрация сорбата в мембране, для которой справедливо уравнение:

$$S = S_0 \cdot \exp(-\Delta H_s / R \cdot T) \quad (23)$$

где S_0 – предэкспоненциальный множитель; ΔH_s – теплота сорбции.

Величина ΔH_s характеризует изменение энтальпии при переходе сорбата из жидкой фазы в раствор в полимере (в теории растворов эту величину обычно называют энтальпией растворения). Здесь следует отметить, что, в отличие от газопроницаемости, при первапорации мы никогда не имеем дела с условиями бесконечного разбавления, и, таким образом, при количественном анализе необходимо учитывать влияние на ΔH_s состава системы «полимер-сорбаты».

И, наконец, от температуры зависит коэффициент диффузии пенетранта:

$$D = D_0 \cdot \exp(-E_D / R \cdot T) \quad (24)$$

где D_0 – предэкспоненциальный множитель; E_D – энергия активации диффузии.

Из-за высоких концентраций сорбатов параметры этого уравнения, как правило, зависят от состава системы «полимер-сорбаты», а, следовательно, и от координаты x в мембране.

Таким образом, для коэффициента проницаемости в определенном диапазоне температуры справедливо:

$$P = P_0 \cdot \exp(-E_p / R \cdot T) \quad (25)$$

где P_0 – предэкспоненциальный множитель; E_p – истинная энергия активации проницаемости.

В свою очередь, P_0 и E_p также являются сложными функциями состава системы «полимер - сорбаты» и связаны со свойствами индивидуальных сорбатов и полимера.

Величины E_a , полезные с точки зрения практической реализации процесса, несут мало информации о механизме первапорации. В работе [30], при анализе влияния температуры на величину потока в процессе первапорации, было показано, что кажущаяся энергия активации (E_a), получаемая из зависимости $J = f(1/T)$, включает в себя теплоту испарения пермеата.

Таким образом, истинная энергия активации процесса перапарации может быть получена двумя способами:

- по зависимости $P = f(1/T)$;
- вычитанием теплоты испарения пермеата ($\Delta H_{исп}$) из величины кажущейся энергии активации проницаемости, полученной из зависимости $J = f(1/T)$:

$$E_p = E_a - \Delta H_{исп} \quad (26)$$

Таким образом, величина E_p характеризует только процессы, происходящие внутри мембраны. Как показал анализ литературы, проведенный в работах [30, 31], для исследованных перапарационных систем величина кажущейся энергии активации изменяется в весьма широких пределах от 4 до 92 кДж/моль, в то время как величина теплоты испарения изменяется в пределах от 28 до 64 кДж/моль [32]. Следовательно, истинная энергия активации может быть положительна, близка к нулю или отрицательна. В случае положительной энергии активации с увеличением температуры проницаемость возрастает сильнее, чем увеличивается движущая сила, и коэффициент проницаемости возрастает [33–36]. Если энергия активации близка к нулю, то скорости увеличения проницаемости и движущей силы с увеличением температуры одинаковы, а коэффициенты проницаемости постоянны [37–39]. Отрицательные значения энергии активации проницаемости свидетельствуют о том, что с увеличением температуры проницаемость возрастает слабее, чем увеличивается движущая сила, и поэтому коэффициент проницаемости уменьшается [40–42]. Можно также отметить, что отрицательные энергии активации наблюдались в случае проницаемости газов через ряд полимеров с высоким свободным объемом [43–45]. Природа этого явления связывалась с необычайно низкими энергиями активации диффузии в этих полимерах, так что преобладающее влияние на скорость переноса оказывает теплота сорбции. Вероятно, что качественно такая трактовка применима и в случае перапарации.

3.4. Влияние толщины мембраны. Важной проблемой в мембранной науке является зависимость наблюдаемых транспортных параметров (коэффициентов проницаемости, диффузии и др.) от толщины селективного слоя мем-

браны. Практический аспект этой проблемы связан с тем, что транспортные свойства, как правило, изучают на гомогенных пленках толщиной свыше 10 мкм, тогда как процессы разделения осуществляются на мембранах, имеющих толщину селективного непористого слоя порядка 0,1–1 мкм. При этом измерение потоков пенетрантов через тонкие пленки осложнено влиянием дефектов или открытых пор, которое полностью отсутствует в случае пленок с большей толщиной.

Физически различия в поведении пленок разной толщины на основе стеклообразных полимеров связаны с особенностями упаковки цепей в тонких приповерхностных слоях. Известно, что вблизи поверхности плотность полимера больше [46–48], а свободный объем меньше, что влияет на коэффициенты диффузии газов [48, 49]. Кроме того, полимерные цепи имеют иную подвижность в приповерхностных слоях, что отражается на температурах стеклования [50, 51].

В свою очередь, в случае гетерофазных или не полностью гомогенных систем (частично кристаллические полимеры, блок-сополимеры, полимерные смеси) зависимость коэффициентов проницаемости от толщины пленки может быть связана с различиями в локальных свойствах отдельных фаз [6, 52].

Следует отметить, что влияние толщины пленки на проницаемость может быть более слабым, чем аналогичные эффекты в случае коэффициентов диффузии [50]. Действительно, в работе [51] было показано, что в полиимиде Каптоне коэффициенты диффузии воды растут с увеличением толщины пленки (в пределах 10–60 мкм), тогда как сорбционная емкость падает. Однако для других систем кинетическая и термодинамическая составляющие проницаемости могут давать другие эффекты, поэтому для тонких пленок наблюдалось и понижение коэффициентов проницаемости [53, 54].

Детальное сравнение транспортных параметров асимметричных мембран и гомогенных пленок (толщина 1 и 100 мкм, соответственно) показало [55], что асимметричная мембрана обнаруживает более высокую селективность газоразделения, чем гомогенная пленка, и большие энергии активации проницаемости. Эти результаты позволили авторам предположить, что до-

ля свободного объема в тонких селективных слоях асимметричных мембран должна быть меньше, чем для гомогенных пленок того же материала; что распределение свободного объема также может отличаться в приповерхностных слоях и внутри объема полимера и, наконец, что эффекты пластифицирования и кондиционирования могут протекать по-разному в тонких и более толстых полимерных пленках. Увеличение селективности разделения с уменьшением толщины пленки также может быть связано с различными зависимостями коэффициентов проницаемости компонентов от толщины мембраны [56]. В свою очередь, снижение селективности связывают с появлением пор или дефектов в тонком разделительном слое мембраны [57].

Как уже отмечалось, при первапорации для сопоставления данных о потоках, полученных на различных мембранах и гомогенных полимерных пленках, используют величины проницаемости (J/l) и коэффициентов проницаемости (P). Однако, подобное сравнение правомерно только в случае, если коэффициенты проницаемости не зависят от толщины исследованных мембран. В этом случае, с изменением толщины мембраны селективность остается неизменной, а проницаемость изменяется обратно пропорционально толщине:

$$P \sim \left(\frac{1}{l}\right)^n \quad (27)$$

При этом, в зависимости от материала мембраны и свойств разделяемых компонентов, показатель степени при толщине (n) может изменяться от -1,5 до 1, что можно объяснить наличием структурного градиента, т.е. неодинаковым изменением структуры полимерной мембраны по ее толщине [5] (или ее неизотропным набуханием [6]).

Этот структурный градиент, как правило, отсутствует в гомогенных полимерных системах со сравнительно устойчивой структурой (в том числе в случае жесткоцепных полимеров и полимеров с высокой степенью сшивки [58]) в процессе разделения компонентов, являющихся плохими растворителями для данного полимера [56], при низкой температуре разделения [59, 60] и т.д. Влияние структурного градиента мо-

жет быть учтено коэффициентом диффузии в уравнении Фика. В этом случае коэффициент диффузии оказывается зависимым не только от температуры и концентрации смеси, но и от толщины мембраны.

Особенности поведения полимера в тонких пленках сказываются на таком важном для мембранного разделения явлении как физическое старение пленок и мембран [61]. Ряд наблюдений указывает, что тонкие пленки подвержены физическому (релаксационному) старению с гораздо большей скоростью, чем более тонкие гомогенные пленки [53, 62, 63]. Согласно модели, предложенной Полом и сотр. [63, 64], явления старения полимера могут включать два параллельно протекающих механизма – объемное уплотнение полимерной матрицы и диффузия элементов свободного объема к поверхности и их выход из пленки. Первый процесс не должен зависеть от толщины пленки, тогда как скорость второго существенно выше для тонких пленок, что подтверждено в работе [65].

3.5. Влияние внешнедиффузионных сопротивлений и остаточного давления под мембраной. Для оценки реальной эффективности процесса первапорации необходимо учитывать:

- поляризационные явления, возникающие в пограничных слоях, образующихся у поверхности мембраны, обращенной к разделяемой смеси;
- структуру подложки мембраны и ее сопротивление общему массопереносу;
- сопротивления массопереносу в дренажном пространстве.

При проведении процесса наибольшее сопротивление массопереносу может быть сосредоточено в концентрационном пограничном слое у поверхности мембраны, обращенной к разделяемой смеси. Массоперенос через этот слой даже может быть лимитирующей стадией процесса [66]. Проведенные исследования [67] также показали, что наибольшее значение явление концентрационной поляризации оказывает в случае выделения следов органических соединений из водных растворов. Эффекта уравнение (10) может быть переписано следующим образом:

$$J_i = K \cdot (a_{i,F} - a_{i,P}) \quad (28)$$

где K – коэффициент массопередачи, определяемый как:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{l}{P} + \frac{1}{\beta_2}} \quad (29)$$

где β_1 – коэффициент массоотдачи от потока разделяемой смеси к поверхности мембраны; β_2 – коэффициент массоотдачи от мембраны в поток пермеата.

Коэффициент массопередачи может быть также выражен через общее сопротивление массопереносу (R):

$$K = \frac{1}{R}, \text{ причем} \\ R = r_1 + r_M + r_2 = \frac{1}{\beta_1} + \frac{l}{P} + \frac{1}{\beta_2} \quad (30)$$

где $r_1 = 1/\beta_1$ и $r_2 = 1/\beta_2$ – сопротивления массопереносу соответственно со стороны разделяемой смеси и пермеата; $r_M = l/P$ – сопротивление массопереносу в мембране.

Вклад отдельных видов сопротивлений в общее (R) различен и зависит от условий проведения процесса. Значения r_1 и r_2 определяются в основном гидродинамикой соответствующих потоков и, таким образом, выявление условий, когда $r_M \gg r_1 + r_2$ является важной задачей как при изучении эффективности процесса, так и при его реализации.

Коэффициенты массоотдачи могут быть получены из критериальных уравнений вида:

$$Nu' = a \cdot Re^b \cdot (Pr')^c \cdot \left(\frac{d_e}{l_\Gamma} \right)^d \quad (31)$$

где Nu' – диффузионный критерий Нуссельта, представляющий собой меру отношения интенсивностей конвективной и диффузионной составляющих массоотдачи:

$$Nu' = \frac{\beta \cdot l_\Gamma}{D} \quad (32)$$

Re – критерий Рейнольдса, представляющий собой меру отношения сил инерции и вязкого трения:

$$Re = \frac{\omega \cdot d_e \cdot \rho}{\mu} \quad (33)$$

Pr' – диффузионный критерий Прандтля (мера отношения вязкостных и диффузионных свойств):

$$Pr' = \frac{\nu}{D} \quad (34)$$

где a, b, c, d – константы уравнения, определяемые экспериментально; d_e – эквивалентный диаметр; l_Γ – характерный линейный размер системы; D – коэффициент диффузии вещества в рассматриваемой среде; w – средняя скорость потока; ρ – плотность вещества; μ – динамическая вязкость вещества; ν – кинематическая вязкость вещества.

Величины коэффициентов a, b, c и d в зависимости от реализуемого гидродинамического режима представлены в таблице 3.

Гидродинамический режим	a	b	c	d	Литература
Ламинарный	1,62	0,33	0,33	0,33	[68]
Ламинарный	0,29	0,57	0,33	-	[69]
$Re < 2000$	1,85	0,33	0,33	0,33	[69]
$10^4 < Re < 10^5$	0,34	0,75	0,33	0	[70]
$Re > 10^5$	0,023	0,8	0,33	0	[70]
Турбулентный	0,044	0,75	0,33	-	[69]

Табл. 3. Величины коэффициентов a, b, c и d (уравнения 31) в зависимости от реализуемого гидродинамического режима

Особое место при рассмотрении массопереноса в мембранных процессах занимает учет поляризационных явлений в пограничных слоях у поверхности мембраны. В случае перапорации речь может идти о явлениях концентрационной и температурной поляризации. Явление концентрационной поляризации (КП) заключается в снижении концентрации ЛПК у поверхности мембраны по сравнению с его концентрацией в ядре потока разделяемой смеси. Влияние КП (рисунок 2) на эффективность разделения всегда отрицательно, так как вследствие этого явления снижается движущая сила процесса, а также увеличивается вероятность загрязнения мембран.

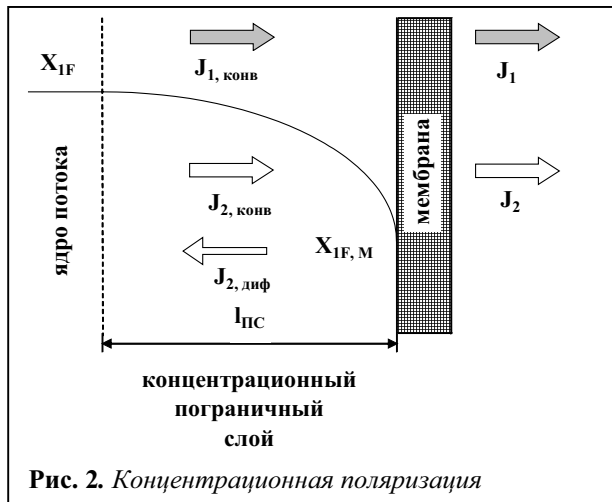


Рис. 2. Концентрационная поляризация

Учитывая наличие фазового перехода, теплопроводность полимерной матрицы, а также отличие температуры разделяемой жидкой смеси от температуры окружающей среды, можно ожидать наличия теплового потока через мембрану, а, следовательно, и снижение температуры у поверхности мембраны, по сравнению с температурой в ядре потока разделяемой смеси. Это явление носит название температурной поляризации (ТП).

Совместный учет явлений КП и ТП возможен на основании материального и теплового балансов системы с привлечением теории подобия массо- и теплообменных процессов. Экспериментально установлено [66, 67, 70, 71], что явлениями КП можно пренебречь при значениях критерия Рейнольдса, соответствующих развитому турбулентному режиму: $Re = 2300 \div 2500$. При существующих уровнях проницаемости полимерных материалов, а также в условиях развитого турбулентного режима, явлением ТП также можно пренебречь [5, 72].

В свою очередь, интенсивность массообмена на границе мембрана – парогазовая фаза не однозначно определяется только гидродинамикой. Она также зависит от движущей силы процесса испарения с поверхности мембраны, на которую влияет остаточное давление под мембраной.

Движущая сила первапорации чаще всего поддерживается за счет искусственного понижения парциального давления со стороны пермеата путем вакуумирования дренажного канала (вакуумная первапорация). В лабораторных исследованиях вакуумной первапорации остаточное давление под мембраной, как правило,

составляет 0,001 – 0,1 кПа [73]. В то же время при промышленной реализации первапорации процесс проводится при остаточном давлении 1–5 кПа, что связано как с техническими трудностями достижения более низкого вакуума в большом объеме, так и с резким увеличением стоимости вакуумной техники для глубокого вакуума (габариты и стоимость вакуумного оборудования обратно пропорциональны величине абсолютного давления) [74].

Проницаемость и селективность первапорационного разделения зависят от остаточного давления под мембраной. С ростом остаточного давления проницаемость резко уменьшается сразу или после некоторого «критического» давления, до которого она, практически, не зависит от остаточного давления пара пермеата под мембраной [21, 74 - 76]. То есть, на зависимости проницаемости от остаточного давления может наблюдаться так называемое «плато равных скоростей», ширина которого уменьшается с увеличением теплоты парообразования пенетранта [5].

В зависимости от свойств мембраны, с ростом остаточного давления селективность первапорационного разделения может оставаться неизменной, уменьшаться или увеличиваться. Если ЛПК является более летучим, то с увеличением остаточного давления селективность снижается. Если летучести компонентов равны, то селективность не зависит от остаточного давления. И, наконец, если более летучим является ТПК, то с ростом остаточного давления селективность возрастает [76].

В работах [21, 75] предложен способ предсказания поведения первапорационных систем с возрастанием остаточного давления под мембраной, основанный на величинах проницаемости компонентов через мембрану и их давления насыщенных паров. Предложенная классификация представлена в таблице 4. Она основана на двух безразмерных параметрах E и Y_1^* , определяемых следующим образом:

$$E = \frac{P_1 \cdot \theta_1^S}{P_2 \cdot \theta_2^S} \quad (35)$$

где P_1 и P_2 – коэффициенты проницаемости компонентов 1 и 2 в кмоль·м/м²·с, θ_1^S и θ_2^S –

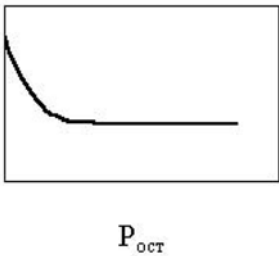
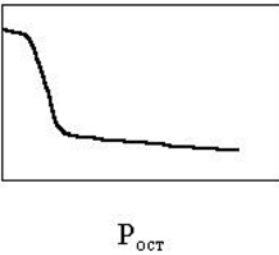
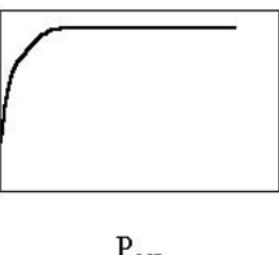
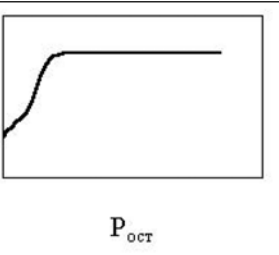
Тип системы	E	Y_1^*	Профиль Y_1 при изменении $P_{ост}$	Краткая характеристика
А	$E > 1$	$< 0,5$		Класс А: Относительный поток компонента 1 больше, чем относительный поток компонента 2, но при этом абсолютный поток компонента 1 меньше чем абсолютный поток компонента 2. Система характеризуется резким снижением концентрации компонента 1 в пермеате с увеличением остаточного давления
В	$E > 1$	$> 0,5$		Класс В: И относительный и абсолютный потоки компонента 1 больше относительного и абсолютного потоков компонента 2. Система характеризуется плавным снижением концентрации компонента 1 в пермеате с увеличением остаточного давления.
С	$E < 1$	$< 0,5$		Класс С: Относительный поток компонента 1 больше, чем относительный поток компонента 2, но при этом абсолютный поток компонента 1 меньше чем абсолютный поток компонента 2. Система характеризуется резким увеличением концентрации компонента 1 в пермеате (до определенного уровня) с увеличением остаточного давления.
Д	$E < 1$	$> 0,5$		Класс D: И относительный и абсолютный потоки компонента 1 больше относительного и абсолютного потоков компонента 2. Система характеризуется плавным увеличением концентрации компонента 1 в пермеате (до определенного уровня) с увеличением остаточного давления.

Табл. 4. Классификация первапорационных систем по их поведению с ростом остаточного давления под мембраной.

коэффициенты, учитывающие отклонения изотерм сорбции компонентов 1 и 2 от линейности.

$$Y_1^* = \frac{1}{\left(\frac{J_2 \cdot \gamma_2 \cdot x_2}{J_1 \cdot \gamma_1 \cdot x_1} \right) + 1} \quad (36)$$

где γ_1 и γ_2 – коэффициенты активности компонентов 1 и 2.

Параметр E зависит от проницаемостей, давлений насыщенных паров компонентов и слагаемых θ^S , отражающих отклонение реальных изотерм сорбции от линейных. В свою очередь Y_1^* зависит от проницаемости через мембрану, состава разделяемой смеси и коэффициентов активности компонентов.

Следует отметить, что эта классификация была предложена для первапорационных систем, используемых для выделения органических веществ из водных растворов. При этом авторы

отмечают, что, как правило, для этих систем коэффициенты отклонения изотерм сорбции от линейных близки к 1. ($\Theta_1^S \approx \Theta_2^S \approx 1$).

Литература

1. *Huang R.Y.M., Yeom C.K.* Pervaporation separation of aqueous mixtures using crosslinked poly(vinyl alcohol)(pva). II. Permeation of ethanol-water mixtures. // *J. Membr. Sci.*, 1990, v.51, № p. 273 - 291.
2. *Huang R.Y.M., Feng X.* Dehydration of isopropanol by pervaporation using aromatic polyetherimide membrane. // *Sep. Sci. Technol.*, 1993, v. 28, № p. 2035 - 2041.
3. *Штаудт-Бикель К., Лихтеналер Р.Н.* Первапорация - термодинамические свойства и выбор полимеров для мембран. // *Высокомолекулярное соединение*, 1994, т. 36, №11, с. 1924 - 1944.
4. *Neel J., Aptel P., Clement R.* Basic aspects of pervaporation. // *Desal.*, 1985, v.53, № , p. 297 - 326.
5. *Дытнерский Ю.И.* Мембранные процессы разделения жидких смесей. М., Химия 1975, 229 с.
6. *Huang R.Y.M.* Pervaporation Membrane Separation Processes. // Elsevier, Amsterdam, 1991.
7. *Кестинг Р.Е.* Синтетические полимерные мембраны, М., Химия, 1991, 336 с.
8. *Рейтлингер С.А.* Проницаемость полимерных материалов, М., Химия, 1974, 272 с.
9. *Мульдер М.* Введение в мембранную технологию. М., Мир, 1999, 513 с.
10. *Цой Б., Карташов Э.М., Шевелев В.В., Валишин А.А.* Разрушение тонких полимерных пленок, М., Химия, 1997, 344 с.
11. *Jonquieres A., Clement R., Lochon P., Neel J. et al.* Industrial state-of-the-art of pervaporation and vapour permeation in the western countries. // *J. Membr. Sci.*, 2002, v.206, № , p. 87 - 117.
12. *Тагер А.А., Колмакова Л.К.* Параметр растворимости, методы его оценки, связь с растворимостью полимеров. // *Высокомолекулярное соединение*, 1980, т. 23 (А), № 3, с. 483 - 496.
13. *Hansen C.M.* // *J. Paint. Technol.*, 1967, v.39, № p. 104 - 112.
14. *Bitter J. G. A.* Transport mechanisms in membrane separation processes. / *Plen. Pubh. Comp, New York, NY*, 1991.
15. *van den Berg G.B., Smolders C.A.*, Review diffusional phenomena in membrane separation processes. // *J. Membr. Sci.*, 1992, v. 73, № 2-3, p. 103-118.
16. *Wijmans J.G., Baker R.W.* The solution-diffusion model: a review. // *J. Membr. Sci.*, 1995, v. 107, № 1-2, p. 1 - 21.
17. *Tanimura S., Nakao S., Kimura S.* Transport equation for model a membrane based on a frictional. // *J. Membr. Sci.*, 1993, v. 84, № 1-2, p. 79 - 91.
18. *Waniewski J.* Linear approximations for the description of solute flux through permselective membranes. // *J. Membr. Sci.*, 1994, v. 95, № 2, p. 179 - 184.
19. *Gilliland E. R., Badour R.F., Perkmson G.P., Sladek K. J.* Diffusion on surfaces. I. Effect of concentration on the diffusivity of physically adsorbed gases. // *Ind. Eng. Chem., Fundam*, 1974, v. 13, № , p. 95 - 99.
20. *Sladek K. J., Geland E. R., Badour R. F.*, Diffusion on surfaces. II. Correlation of diffusivities of physically and chemically adsorbed species. // *Ind. Eng. Chem. , Fundam*, 1974, v. 13, № , p. 100 - 105.
21. *Lipnizki F., Hausmanns S., Ten P.K., Field R.W., et al.* Organophilic pervaporation: prospects and performance. // *Chem. Eng. J.*, 1999, v.73, № , p. 113 - 129.
22. *Graham T.* The solution-diffusion model. // *London Edinburgh Dublin Phil. Mag. Sci. Serie*, 1866, v. 32, v. 4, p. 401 - 425.
23. *Binning R.C., Lee R.J., Jennings J.F., Martin E.C.* Separation of liquid mixtures by permeation. // *Indus. Eng. Chem.*, 1961, v.53, № , p. 45 - 47.
24. *Strathmann H., McDonogh R.M., Howell J.A., Sanchez V., et al.* Membranes in bioprocessing. Theory and applications. Blackie academic and professional, an imprint of Chapman & Hall, London, 1993, p. 293-328.
25. *Волков В.В., Дургарьян С.Г., Новицкий Э.Г., Наметкин Н.С.* // *Высокомолекулярное соединение*, А, 1979, т. 21, с. 920.
26. *Волков В.В., Дургарьян С.Г.* // *Высокомолекулярное соединение*, А, 1983, т. 25, с. 30.
27. *Волков В.В.* // Дис. докт. хим. наук, Ин-т нефтехимического синтеза РАН, Москва, 1992, 309 с.
28. *Drioli E., Zhang S., Basile A.* On the coupling effect in pervaporation. // *J. Membr. Sci.*, 1993, v.81, № p. 43 - 51.
29. *Huang R.Y.M., Lin V.J.C.* Separation of liquid mixtures by using polymer membranes. I. Permeation of binary organic liquid mixtures through polyethylene. // *J. Appl. Polym. Sci.*, 1968, v. 12, № , p. 2615 - 2619.
30. *Feng X., Huang R.Y.M.* Estimation of activation energy for permeation in pervaporation process. // *J. Membr. Sci.*, 1991, v. 118, № , p. 127 - 134.
31. *Neel J.* Introduction to pervaporation. in: R.Y.M. Huang (Ed.) *Pervaporation Membrane Separation Processes* // Elsevier, Amsterdam 1991 p. 1-109
32. *Himmelblau D.M.* Basic principles and calculation in chemical engineering. 3rd edn.. Prentice-hall, Englewood cliffs. NJ. 1974.
33. *Freger V., Korin E., Wisniak J., Korngold E.* Transport mechanism in ion-exchange pervaporation membranes: Dehydration of water-ethanol mixture by sodium poly-

- ethylene sulphonate membranes. // J. Membr. Sci., 1997, v. 133, № 2, p. 255 - 267.
34. Kaddour Djebbar M., Nguyen Q. T., Clement R., Germain Y. Pervaporation of aqueous ester solutions through hydrophobic poly(ether-block-amide) copolymer membranes. // J. Membr. Sci., 1998, v. 146, № 1, p. 125-133.
 35. Gallego-Lizon T., Edwards E., Lobiundo G., Freitas dos Santos L. Dehydration of water/t-butanol mixtures by pervaporation: comparative study of commercially available polymeric, microporous silica and zeolite membranes. // J. Membr. Sci., 2002, v. 197, № 1-2, p. 309-319.
 36. Choong-Kyun Y., Kew-Ho L. Pervaporation separation of water-acetic acid mixtures through poly(vinyl alcohol) membranes crosslinked with glutaraldehyde. // J. Membr. Sci., 1996, v. 109, № 2, p. 257-265.
 37. Jiang J.-S., Greenberg D.B., Fried J.R. Pervaporation of methanol from a triglyme solution using a Nafion membrane: 1. Transport studies, J. Membr. Sci., 1997, v. 132, № 2, p. 255-262.
 38. Karakane H., M. Tsuyumoto, Y. Maeda. Separation of water-ethanol by pervaporation through polyion complex composite membrane, J. Appl. Polym. Sci., 1991, v. 42, № , p. 3229 - 3234.
 39. Ping Z. H., Nguyen Q. T., Clement R., Neel J., Pervaporation of water-ethanol mixtures through a poly(acrylic acid) grafted polyethylene membrane. Influence of temperature and nature of counter-ions. // J. Membr. Sci., 1990, v. 48, № 2-3, p. 297-308.
 40. Sun Y.M., Chen Y.K., Wu C.H., Lin A. Pervaporation for the mixture of benzene and cyclohexane through PPO Membranes. // AIChE J., 1999, v. 45, № 3, p. 523 - 534.
 41. Burshe M. C., Sawant S.B., Joshi J.B., Pangarkar V.G. Dehydration of ethylene glycol by pervaporation using hydrophilic IPNs of PVA, PAA and PAAM membranes. // Sep. Pur. Tech., 1998, v. 13, № 1, p. 47 - 56.
 42. Burshe M.C., Sawant S.B., Joshi J.B., Pangarkar V.G. Sorption and permeation of binary water-alcohol systems through PVA membranes crosslinked with multifunctional crosslinking agents. // Sep. Pur. Tech., 1997, v. 12, № 2, p. 145 - 156.
 43. Alentiev A.Yu., Shantarovich V.P., Merkel T.C., Bondar V.I., et al. Gas and vapor sorption, permeation, and diffusion in glassy amorphous Teflon AF1600. // Macromol. 2002, v. 35, № , p. 9513 - 9518.
 44. Masuda T., Iguchi Y., Tang B.Z., Higashimura T. Diffusion and solution of gases in substituted polyacetylene membranes. // Polym. 1988, v. 29, № , p. 2041 - 2053.
 45. Starannikova L.E., Teplyakov V.V. Gas permeability of poly[1-(trimethylsilyl)-1-propyne]: evaluation of experimental data and calculation methods. // Polym. Sci. A, 1997, v. 39, № , p. 1142 - 1149.
 46. Rozenberg B.A., Irzhak V.I., Bogdanova L.M. The role of diffusion of free volume relaxation of amorphous polymers. // Progr. Colloid Polym. Sci., 1989, v. 80, № , p. 187 - 197.
 47. Frenandez M.L., Higgins J.S., Penfold J., Shakleton S.C. // Polym. Commun., 1990, v. 31, № , p. 124 - 129.
 48. Shishatskii S.M., Yampolskii Yu.P., Peinemann K.-V. // J. Membr. Sci., 1996, v. 112, № , p. 275 - 284.
 49. Seo J., Han C., Han H. Water-sorption behaviors of Poly(3,4'-Oxydiphenylene pyromellitimide) films depending on the thickness variation. // J. Polym. Sci.: Part B: Polym. Phys., 2001, v. 39, № , p. 669 - 676.
 50. Keddie J.L., Jones R.A.L., Cory R.A. Size-dependent depression of the glass transition temperature in polymer films. // Europhys. Lett, 1994, v. 27, №1, p. 59 - 64.
 51. Forrest J.A., Dalnoki-Veress K., Stevens J.R., Dutcher J.R. Effect of free surfaces on the glass transition temperature of thin polymer films. // Phys. Rev.Lett., 1996, v. 77, № 10, p. 2002 - 2005.
 52. Lau W.W.Y., Finlayson J.J., Dickson J.M., Jiang J., et al. Pervaporation performance of oligosilylstyrene-polydimethylsiloxane membrane for separation of organics from water. // J. Membr. Sci., 1997, v. 134, № 2, p. 209 - 217.
 53. Pfromm P.H., Koros W.J., Accelerated physical ageing of thin glassy polymer films: evidence from gas transport measurements. // Polym., 1995, v. 36, №12, p. 2379 - 2387.
 54. Mensitieri G., Del Nobile M.A., Monetta T., Nicodemo L., et al. The effect of film thickness on oxygen sorption and transport in dry and water-saturated Kapton polyimide. // J. Membr. Sci., 1994, v. 89, № , p. 131 - 141.
 55. Pfromm P.H., Pinnau I., Koros W.J. Gas transport through integral-asymmetric membranes: a comparison to isotropic film transport properties. // J. Appl. Polym. Sci., 1993, v. 48, № , p. 2161 - 2171.
 56. Peng M., Vane L.M., Liu S.X. Recent advances in VOCs removal from water by pervaporation. // J. Hazard. Mater. 2003, v. 98, № 1-3, p. 69 - 90.
 57. Nijhuis H.H., Mulder M.H.V., Smolders C.A. Removal of trace organics from aqueous solutions. Effect of membrane thickness. // J. Membr. Sci., 1991, v. 61, № , p. 99 - 111.
 58. Wang Y.C., Li C.L., Chang P.F., Fan S.C., et al. Separation of water-acetic acid mixture by pervaporation through plasma-treated asymmetric poly(4-methyl-1-pentene) membrane and dip-coated with polyacrylic acid. // J. Membr. Sci., 2002, v. 208, № 1-2, p. 3 - 12.
 59. Smart J., Schucker R.C., Lloyd D.R. Pervaporative extraction of volatile organic compounds from aqueous systems with use of a tubular transverse flow module.: Part I. Composite membrane study. // J. Membr. Sci., 1998, v. 143, № 1-2, p. 137 - 157.
 60. Blume I., Wijmans J.G., Baker R.W. The separation of dissolved organics from water by pervaporation. // J. Membr. Sci., 1990, v. 49, № 3, p. 253 - 286.

61. *Struik L.C.E.*, Physical aging in amorphous polymers and other materials, Elsevier, New York, 1978.
62. *Dorkenoo K.D., Pfromm P.H.* Experimental evidence and theoretical analysis of physical aging thin and thick amorphous glassy polymer films. // *J. Polym. Sci.:Part B: Polym. Phys.*, 1999, v. 37, № , p. 2239-2251.
63. *McCaig M.S., Paul D.R.* Effect of film thickness on the changes in gas permeability of a glassy polyarylate due to physical aging. // *Polym.*, 2000, v. 41, № , p. 629 - 637.
64. *McCaig M.S., Paul D.R., Barlow J.W.* Effect of film thickness on the changes in gas permeability of a glassy polyarylate due to physical aging Part II. Mathematical model. // *Polym.*, 2000, v. 41, № , p. 639 - 648.
65. *Dorkenou K.D., Pfromm P.H.* // *Macromol.*, 2000, v. 33, № , p. 3747 - 3751.
66. *Baker R.W., Wijmans J.G., Athayde A.L., Daniels R., et al.* The effect of concentration polarization on the separation of volatile organic compounds from water by pervaporation. // *J. Member. Sci.* 1997, v. 137, №1-2, p. 159 - 172.
67. *Wijmans J.G., Athayd A.L., Daniels R., Ly J.H., et al.* The role of boundary layers in the removal of volatile or-ganic compounds from water by pervaporation. // *J. Membr. Sci.*, 1996, v. 109, № 1, p. 135 - 146.
68. *Matthiasson E., Sivik B.* Concentration polarization and fouling. // *Desal.*, 1980, v. 35, № , p. 59 - 103.
69. *Nijhuis H.H.* Removal of trace organics from water by pervaporation. A technical and economic analysis, Ph.D. thesis, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 1990
70. *Gekasan V., Hallstriim R.* Mass transfer in the membrane concentration polarization layer under turbulent crossflow. 1.Critical literature review and adaption of existing Sherwood correlations to membrane operations. // *J. Membrane Sci.*,1987, v. 30, № , p. 153 - 170.
71. *Дытнерский Ю.И., Головин В.Н., Кочергин Н.В., Кочаров Р.Г., и др.* Исследование гидродинамических факторов при разделении жидких смесей с помощью полимерных пленок. // *Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева.*, 1966, т. 51, № 1, с. 39 - 42.
72. *Favre E.* Temperature polarization in pervaporation. // *Desal.*, 2003, v. 154, № 2, p. 129 - 138.
73. *Vallieres C., Favre E., Roizard D., Bindelle J., et al.* New insights into pervaporation mass transport under increasing downstream pressure conditions: critical role of inert gas entrance. // *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2001, v. 40, № , p. 1559 - 1567.
74. *Дытнерский Ю.И., Быков И.Р.* Испарение через мембрану как альтернатива азеотропной ректификации. // *Хим. Пром.* Т.8 № 1989 с. 9 - 17.
75. *Ten P.K., Field R.W.* Organophilic pervaporation: an engineering science analysis of component transport and the classification of behav-iour with reference to the effect of permeate pressure. // *Chem. Eng. Sci.*, 2000, v. 55, № , p. 1425 - 1431.
76. *Shelden R.A., Thompson E.V.* Dependence of diffusive permeation rates on upstream and downstream pressures III. Membrane selectiv-ity and implications for separation processes. // *J. Membr. Sci.*, 1978, v. 4, № , p. 115 - 121.

ФРАКТАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ДИФФУЗИИ И ПРОНИЦАЕМОСТИ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПОЛИМЕРАХ

Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков

Институт биохимической физики РАН, Москва

Показана применимость и полезность фрактального анализа для описания процессов газопереноса в полимерах. Предложенная фрактальная модель дает количественно корректные значения основных параметров этого процесса (коэффициентов диффузии и газопроницаемости). Она позволяет также идентификацию факторов, контролирующих эти параметры.

Ключевые слова: фрактальная модель, диффузия, проницаемость, полимеры, углеводороды, газоперенос, коэффициенты диффузии.

The applicability and effectivity of fractal analysis for description of gas transport processes in polymers was show. The offered fractal model gives quantitatively correct values of this process main parameters (diffusivity and permeability coefficient). It allows also identification of factors controlling these processes.

Key words: the fractal model, diffusion, permeation, polymers, hydrocarbons, gas transport processes, coefficient of diffusivity.

I. Теоретическое введение

Поскольку в физике полимеров основной задачей является получение количественных соотношений структура – свойства, то для ее решения в случае процессов газопереноса был использован фрактальный анализ. Как известно, одним из способов определения фрактальной (хаусдорфовой) размерности d_f является соотношение:

$$M \sim N^{d_f},$$

где M – масса объекта, N – число составляющих ее элементов.

Таким образом, размерность d_f является истинной структурной характеристикой, поскольку она описывает распределение в пространстве элементов, из которых состоит тот или иной объект.

Диффузия газов в полимерах является важной составляющей процессов переноса, в значительной степени определяя газопроницаемость этих материалов [1-3]. Авторы [4] предложили следующее корреляционное соотношение для определения коэффициента диффузии газов D в полимерах:

$$\lg D = k_1 - k_2 \left[(d_m^{эф})^2 \right], \quad (1)$$

где k_1 и k_2 – изотермические константы для данного полимера, $d_m^{эф}$ – эффективный диаметр молекулы газа-пенетранта.

Соотношение (1) позволяет достаточно точное определение величины D [4], но наличие двух эмпирических констант, тем более различающихся для разных температур, делает прогнозирование величины D согласно методике [4] достаточно затруднительным. Кроме того, в уравнении (1) отсутствуют какие-либо структурные характеристики полимера, хотя они могут входить в константы k_1 и k_2 неявным образом. В работах [5, 6] была предложена фрактальная модель диффузии и газопроницаемости полимеров, не имеющая указанных выше недостатков. Она основана на уравнении для газопроницаемости горных пород [5, 6], в котором такие параметры, как пористость и размер пор были заменены на специфические для полимеров параметры: относительный свободный объем и размер микрополости этого объема, через которые в полимерах реализуются процессы газопереноса. Окончательный результат такой модификации для полимерных материалов представлен нижеследующим уравнением.

Цель настоящей работы – выполнение теоретических оценок коэффициентов

диффузии и газопроницаемости для серии углеводородов C₁-C₄ в рамках фрактальной модели и рассмотрение физического смысла параметров, контролирующих эти процессы.

II. Объекты и методы исследования

Эффективные диаметры молекул углеводородов C₁-C₄ $d_m^{эф}$ и коэффициенты их растворимости σ в трех полимерах (полиэтилене (ПЭ) со степенью кристалличности $k=0,57$, поливинилтриметилсилане (ПВТМС) и каучукообразном полиизопрене (ПИ)) приняты по данным работы [7], где величины σ были оценены в рамках фрактальной модели растворимости газов в полимерах. Диаметры полости флуктуационного свободного объема d_h для ПЭ и ПВТМС рассчитаны в рамках кинетической теории флуктуационного свободного объема [8], а для ПИ величина d_h принята равной 9,3 Å, поскольку в работе [9] методом аннигиляции позитронов было показано, что для каучуков величина d_h примерно постоянна и близка к 10 Å. Для ПЭ и ПВТМС величины d_h оказались равны 6,4 и 5,7 Å соответственно. Отметим, что в работе [6] для расчета коэффициента диффузии пяти газов (N₂, O₂, CO, CO₂ и HCl) в полиэтилене высокой плотности использована очень близкая величина d_h , равная 6,18 Å, оцененная по данным аннигиляции позитронов [10], что дало хорошее соответствие с экспериментом.

III. Результаты и их обсуждение

Фрактальная модель диффузии газов через полимерные непористые мембраны предполагает, что величину D можно определить из следующего уравнения [6]:

$$D = D_0 f_c \left(\frac{d_h}{d_m^{эф}} \right)^{2(D_n - d_s)/d_s}, \quad (2)$$

где D_0 – константа, f_c – относительный флуктуационный объем, D_n – размерность структуры, контролирующая процессы переноса, d_s – спектральная (фрактальная) размерность, характеризующая степень связности структуры [11].

Как показано в работе [12], в качестве D_n могут быть использованы две размерности: фрактальная размерность структуры полимера

d_f или размерность областей локализации избыточной энергии D_f , связанные между собой соотношением [13]:

$$D_f = 1 + \frac{1}{3 - d_f}. \quad (3)$$

В свою очередь, величину d_f можно определить следующим образом. Относительная доля областей локального порядка (кластеров) $\varphi_{кл}$ определяются из следующего перколяционного соотношения [14]:

$$\varphi_{кл} = 0,03(1 - k)(T_{кр} - T)^{0,55}, \quad (4)$$

где $T_{кр}$ – температура разрушения локального порядка, равная температуре стеклования T_c для аморфных и температуре плавления $T_{пл}$ для аморфно-кристаллических полимеров, T – температура испытаний ($T=293$ К). Величины T_c и $T_{пл}$ приведены в справочной литературе [15].

Далее можно определить фрактальную размерность структуры полимера d_f согласно уравнению [14]:

$$d_f = 3 - 6 \left(\frac{\varphi_{кл}}{C_\infty S} \right)^{1/2}, \quad (5)$$

где C_∞ – характеристическое отношение, которое является показателем статистической гибкости цепи [16], S – площадь поперечного сечения макромолекулы в Å². Величины C_∞ для исследуемых полимеров приняты по данным работ [16, 17], а величины S – по данным [18]. Для расстеклованных (каучукообразных) полимеров $d_f=2,90$ [14]. Для рассматриваемых в настоящей работе полимеров получены следующие размерности: для ПЭ $d_f=2,77$, $D_f=5,4$; для ПВТМС $d_f=2,83$, $D_f=7$ и для ПИ $d_f=2,90$, $D_f=11$.

Как показали результаты работ [5, 6, 12], диффузия газов в полимерах реализуется на молекулярном уровне, поэтому для линейных ПЭ и ПВТМС принята $d_s=1,0$, а для сшитого каучука ПИ $d_s=1,33$ [11].

Величина f_c может быть оценена следующим образом [12]:

$$f_c = 0,113\alpha_{рыхл}, \quad (6)$$

где 0,113 соответствует величине свободного объема расстеклованного полимера по Симхе-Бойеру [19], а $\alpha_{рыхл}$ – относительная доля рыхлоупакованных областей полимера, принимаемая для аморфно-кристаллического ПЭ равной $(1-k)$, для стеклообразного ПВТМС равной $(1-\phi_{кл})$ и для каучукообразного ПИ $\alpha_{рыхл}=1,0$.

Рассмотрим критерий выбора размерности D_n в показателе уравнения (2). Как показано в работах [5, 12], при малых значениях $d_m^{эф} < d_n$ в качестве D_n следует выбирать размерность d_f и такой механизм газопереноса назван авторами структурным. По мере приближения $d_m^{эф}$ к d_n на молекулу газа-пенетранта начинает влиять подвижность стенок микрополости, которыми являются колеблющиеся фрагменты макромолекул [20]. В свою очередь, размерность указанных стенок примерно равна D_f и это определяет выбор именно этой размерности в качестве D_n . Этот механизм газопереноса назван молекулярным [5, 12]. Указанное изменение механизма газопереноса легко проследить, нанеся на график зависимость коэффициента газопроницаемости P или диффузии D , как функции отношения $(d_n / d_m^{эф})$ в двойных логарифмических координатах. Такая зависимость для ПЭ показана на рис. 1. По существу, наклон этой зависимости характеризует величину показателя в уравнении (2). Из данных рис. 1 следует, что при $(d_n / d_m^{эф})=1,245$ на зависимости обнаруживается перегиб, показывающий переход от структурного (для $d_m^{эф} < 5,14 \text{ \AA}$) механизма к молекулярному (для $d_m^{эф} > 5,14 \text{ \AA}$). Таким образом, для ПЭ реализуются оба механизма и выбор размерности D_n определяется размером молекулы газа-пенетранта. Для ПИ $d_n > d_m^{эф}$ и $D_n=d_f$, а для ПВТМС величины d_n и $d_m^{эф}$ близки и поэтому $D_n=D_f$.

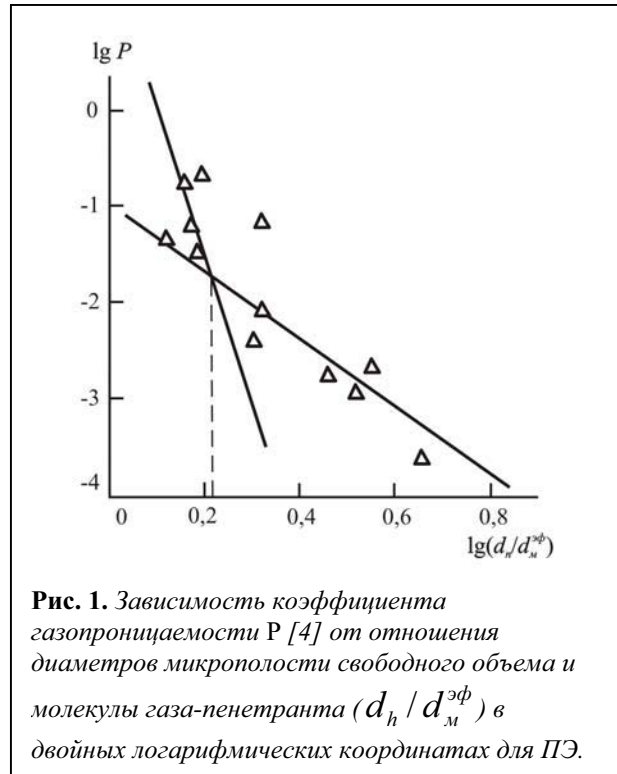


Рис. 1. Зависимость коэффициента газопроницаемости P [4] от отношения диаметров микрополости свободного объема и молекулы газа-пенетранта $(d_n / d_m^{эф})$ в двойных логарифмических координатах для ПЭ.

Константа D_0 в уравнении (2) оказалась примерно одинаковой для полимеров с расстеклованной аморфной фазой (ПЭ и ПИ) и равной $\sim 3,8 \times 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$, но значительно меньше для стеклообразного ПВТМС, для которого $D_0 \approx 4,33 \times 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$. Рассмотрим физический смысл этой константы. Для евклидовых объектов с размерностью d (очевидно, в нашем случае $d=3$) $d_f=d_s=d$ [21] и тогда $D_0=D/f_c$, т.е., равна коэффициенту диффузии гипотетического полимера с $d_f=d$ и $f_c=1$.

На рис. 2 и 3 приведено сравнение литературных D^{lum} [4] и рассчитанных по уравнению (3) $D^{теор}$ коэффициентов диффузии для ПЭ и ПИ, соответственно. Как можно видеть, получено достаточно хорошее соответствие (среднее расхождение для трех полимеров составляет примерно 20 %).

Сравним уравнения (1) и (2). Логарифмирование уравнения (2) дает следующий результат:

$$\lg D = \lg(D_0 f_c) + [(D_n - d_s) / d_s] \lg[(d_n / d_m^{эф})^2] \quad (7)$$

Сравнение уравнений (1) и (7) показывает, что

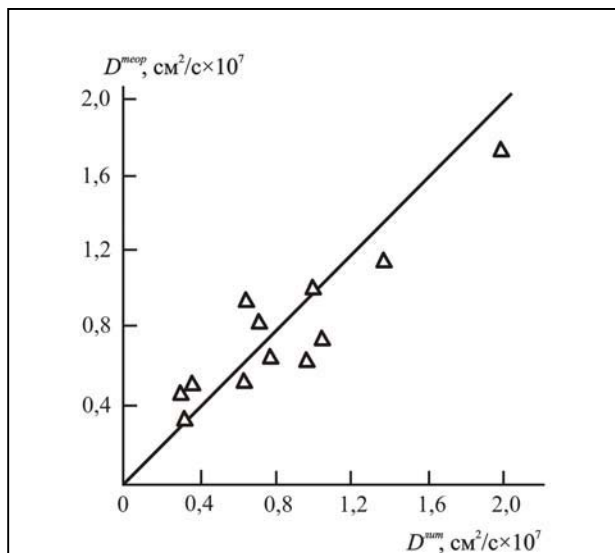


Рис. 2. Соотношение между литературными $D^{лит}$ [4] и рассчитанными по уравнению (2) $D^{теор}$ величинами коэффициента диффузии углеводородов C_1-C_4 для ПЭ. Прямая линия дает соотношение 1:1.

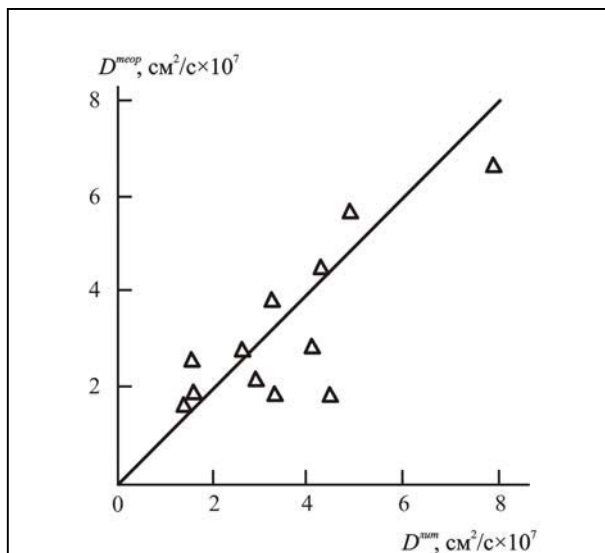


Рис. 3. Соотношение между литературными $D^{лит}$ [4] и рассчитанными по уравнению (2) $D^{теор}$ величинами коэффициента диффузии углеводородов C_1-C_4 для ПИ. Прямая линия дает соотношение 1:1.

$$k_1 = \lg(D_0 f_c) \quad (8)$$

и

$$k_2 = (D_n - d_s)/d_s. \quad (9)$$

Различием уравнений (1) и (2) является разная форма зависимости D от $d_m^{эф}$, но в обоих случаях величина D снижается по мере роста $d_m^{эф}$.

Из уравнения (2) следует, что на величину D влияют следующие факторы: пористость полимера, которая в случае непористых мембран соответствует величине флуктуационного свободного объема, а также размер микрополости этого объема, характеристика молекулы газа-пенетранта (ее эффективный диаметр) и структурные показатели (размерности D_f , d_f и d_s).

Далее, знание величин коэффициентов диффузии D и растворимости σ [7] позволяет оценить коэффициент газопроницаемости P с помощью простого уравнения [4]:

$$P = \sigma D. \quad (10)$$

В уравнениях (2) и (10) величина D дана в единицах $см^2/с$, а P - в единицах $см^3 \cdot см/см^2 \cdot с \cdot см.рт.ст.$ для удобства сравнения с результатами работы [4].

На рис. 4 приведено сравнение литературных $P^{лит}$ [4] и рассчитанных по уравнению (10) $P^{теор}$ коэффициентов газопроницаемости для ПЭ (для остальных двух полимеров, ПВТМС и ПИ, получены аналогичные результаты). Как можно видеть, получено достаточно хорошее соответствие величин $P^{лит}$ и $P^{теор}$ (среднее расхождение для

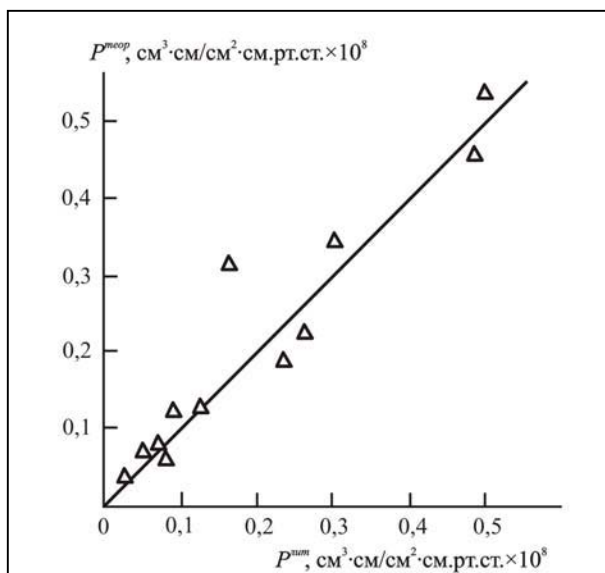


Рис. 4. Соотношение между литературными $P^{лит}$ [4] и рассчитанными по уравнению (10) $P^{теор}$ величинами коэффициента газопроницаемости углеводородов C_1-C_4 для ПЭ. Прямая линия дает соотношение 1:1.

трех указанных полимеров составляет ~ 20 %).

IV. Выводы

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты показали применимость и полезность фрактального анализа для описания процессов газопереноса в полимерах. Предложенная фрактальная модель дает корректные количественные значения основных параметров этого процесса (коэффициентов диффузии и газопроницаемости), а также позволяет идентификацию факторов, контролирующих эти параметры.

V. Список литературы

1. Рейтлингер С.А. Проницаемость полимерных материалов. М., Химия, 1974, 272 с.
2. Николаев Н.И. Диффузия в мембранах. М., Химия, 1980, 232 с.
3. Дубяга В.П., Перепечкин А.П., Каталевский Е.Е. Полимерные мембраны. М., Химия, 1981, 232 с.
4. Тепляков В.В., Дургарьян С.Г. О соотношении параметров проницаемости постоянных газов и углеводов в полимерах. Высокомолек. соед. А, 1986, т. 28, №3, с. 564-572.
5. Козлов Г.В., Афаунов В.В., Машуков Н.И., Липатов Ю.С. Фрактальный анализ газопроницаемости полиэтиленов. Докл. НАН Украины, 2000, №10, с. 140-145.
6. Kozlov G.V., Zaikov G.E. The dependence of diffusive characteristics from the size of penetrant molecules and structure for polyethylenes. In book: Fractal Analysis of Polymers: From Synthesis to Composites. Ed. Kozlov G., Zaikov G., Novikov V. New York, Nova Science Publishers, Inc., 2003, p. 107-112.
7. Козлов Г.В., Бажева Р.Ч., Тленкопачев М.А., Казанчева Ф.К. Структурная модель растворимости газов в полимерах. Сб. стат. VII Всероссийской научно-техн. конф. «Современные технологии в машиностроении». Пенза, ПГУ, 2003, с. 114-116.
8. Козлов Г.В., Сандитов Д.С. Ангармонические эффекты и физико-механические свойства полимеров. Новосибирск, Наука, 1994, 261 с.
9. Волков В.В., Гольданский А.В., Дургарьян С.Г., Онищук В.А., Шанторович В.П., Ямпольский Ю.П. Изучение методом аннигиляции позитронов микроструктуры полимеров и ее связь с их диффузионными свойствами. Высокомолек. соед. А, 1987, т. 29, №1, с. 192-197.
10. Lin D., Wang S.J. Structural transitions of polyethylene studied by positron annihilation. J. Phys.: Condens. Matter, 1992, v. 4, №12, p. 3331-3336.
11. Alexander S., Orbach R. Density of states on fractals: «fractons». J. Phys. Lettr. (Paris), 1982, v. 43, №17, p. L625-L631.
12. Kozlov G.V., Afaunov V.V., Mashukov N.I., Lipatov Yu.S. Fractal analysis of gas-permeability. In book: Fractal and Local Order in Polymeric Materials. Ed. Kozlov G., Zaikov G. New York, Nova Science Publishers, Inc., 2001, p. 143-149.
13. Баланкин А.С. Синергетика деформируемого тела. М., МО СССР, 1991, 404 с.
14. Новиков В.У., Козлов Г.В. Структура и свойства полимеров в рамках фрактального подхода. Успехи химии, 2000, т. 69, №6, с. 572-599.
15. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов. Л., Химия, 1983, 288 с.
16. Aharoni S.M. On entanglements of flexible and rodlike polymers. Macromolecules, 1983, v. 16, №9, p. 1722-1728.
17. Wu S. Chain structure and entanglement. J. Polymer Sci.: Part B: Polymer Phys., 1989, v. 27, №4, p. 723-741.
18. Aharoni S.M. Correlations between chain parameters and failure characteristics of polymers below their glass transition temperature. Macromolecules, 1985, v. 18, №12, p. 2624-2630.
19. Boyer R.F. C_p , T_g and related quantities for high polymers. J. Macromol. Sci.: Phys., 1973, v. B7, №3, p. 487-501.
20. Kozlov G.V., Dolbin I.V., Zaikov G.E. Fractal characteristics of microvoids of fluctuation free volume in polyethylene. Russian Polymer News, 2001, v. 6, №4, p. 39-42.
21. Rammal R., Toulouse G. Random walks on fractal structures and percolation clusters. J. Phys. Lettr. (Paris), 1983, v. 44, №1, p. L13-L22.



Михаил Теодорович Брык

Скончался Михаил Теодорович Брык - выдающийся украинский специалист в области химии полимеров и мембранной техники, доктор химических наук, профессор, президент Украинского мембранного общества, член экспертной комиссии ВАК Украины, член специализированных ученых советов многих украинских университетов.

М.Т. Брык родился 1 января 1941 года в селе Юстиновка, расположенном в районе Тернопольского Подолья.

После окончания войны, в 1947 году он начал учиться в начальной сельской школе. После окончания средней школы в 1957 году поступил на естественный факультет Кременецкого педагогического института Тернопольской области. После окончания института М.Т. Брык поступил в аспирантуру при Институте химии высокомолекулярных соединений АН Украины (тогда Институт мономеров и полимеров). В аспирантуре М.Т. Брык занимался изучением физико-химических и механических свойств фракций поливинилхлорида. Спустя три года напряженной и интересной работы кандидатская диссертация была готова к защите, однако этому помешала служба в вооруженных силах СССР. Спустя два года диссертация была успешно защищена, и М.Т. Брык занялся изучением олигомеров методом тонкослойной хроматографии. Эта работа принесла серьезный успех и была опубликована в 1968 году в журнале «Высокомолекулярные соединения».

В это же время М.Т. Брык занялся вопросами синтеза полимеров в тонких слоях на поверхности дисперсных твердых тел (наполнителей полимеров), которые на 14 лет определили его научные интересы и принести ему признание в стране и за рубежом. Эти исследования были продолжены и выполнены М.Т. Брыком в Институте коллоидной химии и химии воды им. А.В. Думанского АН УССР. В этом институте М.Т. Брык начал заниматься исследованием поликонденсации кремнийорганических мономеров в тонких слоях на поверхности высокодисперсных металлов. С 1971 г. в лаборатории под руководством М.Т. Брыка проводятся

исследования процессов полимеризации и поликонденсации на поверхности дисперсных оксидов, металлов, кремнеземов, графита, алмаза, сажи, ионообменных смол и др. Выполненные работы опубликованы в многочисленных научных статьях и обзорах, нашли свое отражение в авторских свидетельствах, трех монографиях. В 1981 году М.Т. Брык защитил докторскую диссертацию по теме «Полимеризация кремнийорганических мономеров на твердой поверхности дисперсных тел».

Изучение химических процессов, которые происходят на поверхности твердых тел при их взаимодействии с мономерными или полимерными молекулами, послужили толчком к началу научных работ по химическому модифицированию поверхности пористых полимерных мембран, начатых М.Т. Брыком в его лаборатории в 1982 году. Эти исследования стали еще одним поворотом в научных интересах профессора М.Т. Брыка, который на многие годы посвятил себя разработке актуальных проблем нового научного направления химической науки – мембранной технологии. Начав свои исследования по привитой полимеризации полимеров на поверхности мембран, М.Т. Брык показал, что химия поверхности играет важную роль в закономерностях мембранного массопереноса, загрязнения и регенерации мембран. Значительная часть исследований М.Т. Брыка касается разработки методов получения заряженных и заряд-селективных мембран. Особенно большое внимание было уделено созданию мембран для микро-, ультра- и нанофильтрации водных растворов, а также созданию мембран с дополнительными функциями. С 1998 г. М.Т. Брык работает в Национальном университете «Киево-Могилянская академия» где он занимается исследованиями, направленными на создание матричных мембран с дополнительными биокаталитическими, каталитическими и бактерицидными функциями.

В последнее время М.Т. Брык занимался не только изучением процессов формирования и модифицирования мембран и исследованием мембранного массопереноса, но и практическими аспектами применения мембранных процессов в разных направлениях человеческой деятельности. В частности, разработкой мембранных технологий очистки от примесей и загрязнений природных и сточных вод, получения высокоочищенной питьевой воды, очистки и концентрирования фруктовых и овощных соков и т.д.

М.Т. Брык много лет читал курс лекций по мембранной технологии в Киевском политехническом институте, был заведующим кафедрой химии в Национальном университете «Киево-Могилянская академия». В 2000 г. он опубликовал в соавторстве первый на Украине учебник для студентов экологических специальностей «Физико-химические основы технологии очистки сточных вод». В 2004 году М.Т. Брыком была открыта магистерская программа по специальности «Мембранные и сорбционные процессы и технологии», на которой учатся будущие первые на Украине специалисты по мембранным процессам.

В 1982-1998 гг. М.Т. Брык заведовал отделом физической химии мембран ИКХХВ НАН Украины.

В 1984 г. профессор Брык М.Т. впервые на Украине организовал работу ежегодных научных семинаров «Украинский семинар по мембранам и мембранной технологии», а с 1987 г. им организованы и проводились каждые четыре года научные конференции по мембранам и мембранным технологиям. В 1992 г по инициативе М.Т. Брыка было основано Украинское мембранное общество, президентом которого он был до последних дней своей жизни.

Под руководством М.Т. Брыка защищено 13 кандидатских и одна докторская диссертации. Он был членом экспертной комиссии ВАК Украины, членом специализированных ученых советов многих известных Украинских университетов.

Его научный задел составляет более 400 публикаций, в том числе 11 книг, более 35 обзоров, 25 патентов и авторских свидетельств.

РЕФЕРАТИВНЫЙ РАЗДЕЛ¹

30.МБ.1. Достижения в исследовании и применении модифицированных полибензимидазольных мембран для топливных элементов. Liu Qi-zhi, Pu Hong-ting. Gaofenzi cailiao kexue yu gongcheng=Polym Mater. Sci. Technol. 2005. 21, № 1, с. 29–33, 3 ил. Библ. 26. Кит.; рез. англ.

Полибензимидазольные мембраны (МБ) обнаруживают высокую термостабильность и высокую хим. стойкость и обладают как донорными, так и акцепторными активными центрами с водородными связями, которые способны к участию в специфич. взаимодействиях. Ограничение состоит в том, что указанные МБ характеризуются слабой растворимостью и низкой электропроводностью. Дан обзор достижений в исследовании и применении модифицированного полибензимидазола (ПБИ) для топливных элементов. Приведены электропроводности (См/см) МБ после погружения в растворы различных кислот на 10 дней при 23°: ПБИ/НСl (11,8 моль/л) $1,4 \times 10^{-3}$, ПБИ/НСlO₄ (11,6 моль/л) $1,6 \times 10^{-3}$, ПБИ/ННО₃ (15,8 моль/л) $1,8 \times 10^{-3}$, ПБИ/Н₃РO₄ (14,4 моль/л) $1,9 \times 10^{-2}$, ПБИ/Н₂SO₄ (16 моль/л) 6×10^{-2} .

30.МБ.2. [Удаление белковых веществ и слизи из пищевых масел методом мембранной ультрафильтрации]. Wang Y., Ou S., Wu J., Huang X., Zhang Z. (Department of Food Science and Engineering, Jinan University, 510632 Guangzhou, China). Zhongguo youzhi=China Oils and Fats. 2004. 29, № 7, с. 20–22. Библ. 16. Кит.; рез. англ.

Дан обзор работ по изучению применения методов мембранной ультрафильтрации для удаления белковых веществ и слизи из пищевых масел. Показаны преимущества новой технологии. Приведены параметры процесса; описаны материалы мембран. Дан прогноз потенциального использования этой технологии.

30.МБ.3. Наноструктурированные материалы, полученные из простых сплавов металлов путем разделения фаз. Nanostructured materials produced from simple metallic alloys by phase separation. Mukherji D., Pigozzi G., Schmitz F., Nath O., Rosler J., Kotorz G. Nanotechnology. 2005. 16, № 10, с. 2176–2187. Англ. Обзор. Рассматривается метод, по которому можно получать наноструктурированные материалы различных типов, а именно, наночастицы, наноструктурированные поверхности и нанопористые мембраны, из двухфазовых сплавов металлов. В новом процессе сначала формируются наноструктуры в объеме сплава, а затем они разделяются путем селективного растворения фазы. Варьирование проведения процесса дает возможность получать различные типы наноструктур даже из одного и того же сплава. Процесс м. б. применен к различным системам сплавов. Новый метод обсуждается в сравнении с подобными известными процессами (в первую очередь, электрохимическим), которые м. б. использованы для синтеза наноструктур.

30.МБ.4. Абсорбция диоксида углерода [из газов] с использованием мембран из пустотелых волокон, орошаемых жидкостью. Rewew of CO₂ absorption using chemical solvents in hollow fiber membrane contactors. Li J.-L., Chen Bing-Hung. Separ. and Purif. Technol. 2005. 41, № 2, с. 109–122, 3 ил. Библ. 67. Англ.

Представлен обзор технологий, обеспечивающих удаление диоксида углерода из газового потока. Предложены критерии, позволяющие определить эффективность применения различных процессов рассматриваемого класса. Отмечена возможность и эффективность практич. применения процессов удаления из газового потока диоксида углерода с применением мембран, изготовленных из пустотелых волокон полимерных материалов (политетрафторэтилен, полиэтилен,

полипропилен, поливинилиденфторид и др.) и орошаемых жидким абсорбентом. В качестве такой жидкости могут быть использованы водные растворы моноэтаноламина, гидрата окиси натрия, амины, алканол амины, соли аминокислот и др. Определены основные физико-химич. свойства мембран указанного типа, в частности их химич. и термич. стабильность, коэффициенты массопередачи при абсорбции диоксида углерода и др. Рассмотрена методика математич. моделирования процессов и даны рекомендации по конструированию аппаратов с применением абсорбционных технологий и использованием орошаемых жидким абсорбентом мембран из пустотелых полимерных волокон.

30.МБ.5. Обратноосмотические мембраны. Hirose Masahiko. Kagaku to kogyo=Chem. and Chem. Ind.. 2004. 57, № 6, с. 601–604, 5 ил. Библ. 4. Яп.

Обзор. Преимущества процессов мембранного разделения над др. способами разделения. Виды разделит. мембран МБ. Материалы для тонкого плотного поверхн. слоя (ТППС) обратноосмотич. МБ. Структура ТППС у обратноосмотич. МБ. Характеристич. особенности ПВ обратноосмотич. МБ.

30.МБ.6. Разработка мембран радиационно-иницированной привитой полимеризацией мономеров на полиэтиленовых пленках. Development of membranes by radiation-induced graft polymerization of monomers onto polyethylene films. Gupta Bhuvanesh, Anjum Nishat, Jain Rachna, Revagade Niles, Singh Harpal. J. Macromol. Sci. C. 2004. 44, № 3, с. 275–309, 15 ил. Библ. 115. Англ.

Обзор. Конструирование мембран (МБ) радиац. прививкой. Характеристика МБ. Физ.-хим. свойства МБ (ионообменная емкость, способность к набуханию, коэф. электр. сопротивления, мех. свойства). Области применения МБ (выделение ионов металлов, биотехнология, разделит. процессы, электрохим. применения).

30.МБ.7. Приготовление двойных эмульсий мембранным эмульгированием - обзор. Preparation of double emulsions by membrane emulsification: A review. Van der Graaf S., Schroen C. G. P. H., Boom R. M. J. Membr. Sci. 2005. 251, № 1–2, с. 7–15. Англ.

Двойные эмульсии (ДЭ) являются перспективными композициями для получения низкокалорийных пищевых продуктов, капсулирования медицинских препаратов и других важных продуктов. Сложность технологии получения ДЭ заключается в их сильной чувствительности к сдвиговым напряжениям. При мембранной технологии получения ДЭ напряжения малы, поэтому ожидается, что этот метод будет перспективным. В обзоре обсуждаются детали мембранной технологии получения ДЭ, ее достоинства и недостатки, а также что еще необходимо исследовать для развития этой технологии.

Статьи

30.МБ.8. Применение мембранных технологий для подготовки питьевой воды. Петров А., Резцов Ю., Коттев В., Милованов С. Водоочистка. 2005. № 1, с. 43–47. Рус.

Проведенные в ГНЦ РФ НИИ ВОДГЕО исследования и опытно-промышленные испытания серии обратноосмотических установок с рулонными мембранными элементами на разных типах мембран позволили обосновать и разработать технологические схемы и конструкции установок, предназначенных для обработки подземных вод, вод поверхностных источников с содержанием взвешенных веществ до 10-15 мг/л и цветностью до 30-40 град, морской

¹ Рефераты взяты из реферативной БД ВИНТИ

воды и кондиционирования водопроводной воды. Эта технология позволяет эксплуатировать обратноосмотические установки без предварительной очистки исходной воды. Единственной мерой предотвращения образования осадка карбоната кальция является непрерывное дозирование в исходную воду ингибитора с концентрацией 1-3 мг/л, что позволяет обеспечить надежную эксплуатацию установки в течение 1000-3000 ч для вод в широком диапазоне минерализации и концентраций микроэлементов.

30.МБ.9. Способы интегрирования мембранных фильтров в схемы очистки городских сточных вод. Hinweis zur verfahrenstechnischen Integration getauchter Membranfilter in kommunalen Membranbelebungsanlagen. *Brepols Christoph, Schafer Heinrich, Engelhardt Norbert.* KA - Abwasser, Abfall. 2005. 52, № 1, с. 45–50. Библ. 6. Нем.; рез. англ.

Данные исследования связаны с расширяющимся применением мембран для разделения иловой смеси при биоочистке СВ. Рассматриваются различные варианты схем, они могут содержать мембраны погружные или находящиеся вне реактора, схемы могут включать ступени денитрификации и т. д. Представлен вариант, в котором система представляет собой циркуляционный канал, в котором по одну сторону осевой перегородки находятся погружные мембранные модули и по обе стороны от них расположены диспергаторы воздуха (зона окисления). По другую сторону перегородки аэраторы отсутствуют и установлены узлы пропеллерного типа для создания потока СВ в горизонтальной плоскости, здесь протекает процесс денитрификации. Представлены схемы баланса веществ и т. д..

30.МБ.10. Механический анализ полволоконных мембран, применяемых для повторного использования воды. Mechanical analysis of hollow fiber membrane integrity in water reuse applications. *Childress Amy E., Le-Clech Pierre, Daugherty Joanne L., Chen Caifeng, Leslie Greg L.* Desalination. 2005. 180, № 1–3, с. 5–14. Англ.

30.МБ.11. Анализ аварийных ситуаций при очистке сточных вод с использованием полволоконных мембран. Autopsy and failure analysis of ultrafiltration membranes from a waste-water treatment system. *Huisman Ingmar H., Williams Kevin.* Desalination. 2004. 165, с. 161–164. Англ.

Сообщается, что при очистке СВ от производства косметики использовались мембраны полволоконного типа, при этом мембранные модули систематически выходили из строя. Был произведен анализ аварийных ситуаций, при этом мембраны подвергались визуальному осмотру, в том числе выявлялись места прорывов путем подачи в мембраны воздуха (по выходу пузырьков воздуха), определялась устойчивость мембран к напряжениям, проводился анализ отложений и биоотложений и т. д. Установлено, что материал мембраны устойчив по отношению к хлору и др. галогенам, а также к другим химикалиям. Основными были нарушения механического характера, в процессе фильтрования волокна испытывали вибрации, при включении и выключении насосов возникали скачки давления и др. Предложено пуск и остановку насосов производить с плавным изменением скорости вращения и т. д..

30.МБ.12. Очистка сточных вод от производства морепродуктов ультрафильтрацией - нанофильтрацией на ацетатцеллюлозных мембранах. Treatment of seafood processing wastewaters by ultrafiltration-nanofiltration cellulose acetate membranes. *Ferjani E., Ellouze E., Ben Amar R.* Desalination. 2005. 177, № 1–3, с. 43–49. Англ.

30.МБ.13. Наночастицы Pt на углеродной основе в качестве катализатора для топливного элемента с протонообменной мембраной. Carbon-supported Pt nanoparticles as catalysts for proton exchange membrane fuel cells. *Liu Zhaolin, Gan Leong Ming, Hong Liang, Chen Weixiang, Lee Jim Yang.* J. Power Sources. 2005. 139, № 1–2, с. 73–78. Англ.

Наночастицы Pt на основе твердого углерода и из углеродных нанотрубок были изготовлены в микроволновом полиольном процессе. Исследования характеристик полученного

катализатора проводили физич. методами. Наночастицы Pt, равномерно распределенные на поверхности углерода, имели размеры 2-6 нм. Pt/C катализатор показывал дифракционные пики платиновой структуры. Рентгеновская электронная спектроскопия показала, что катализатор содержит много Pt(0) и следы Pt(+2) и Pt(+4). Изучение восстановления кислорода на Pt проводили методом циклич. вольт-амперометрии. Найдено, что оба катализатора Pt/C имеют высокую электрохимич. активность относительно реакции восстановления кислорода. Показано, что изученные катализаторы перспективны для ТЭ с протонообменной мембраной.

30.МБ.14. Численное моделирование топливных элементов с протонообменными мембранами. Numerical modeling of PEM fuel cells under partially hydrated membrane conditions. *Cao Jun, Djilali Ned.* Trans. ASME. J. Energy Resour. Technol.. 2005. 127, № 1, с. 26–36, 15 ил., 1 табл. Библ. 21. Англ.

Разработана модель (М) для расчета изменения содержания влаги в мембране (ТЭ). Расчетные возможности значительно увеличены благодаря использованию двумерной (М) и учету конвективного транспорта в газовых каналах. Установлено, что распределение воды в мембране можно улучшить, если ТЭ работает с более высоким давлением на катоде. Расчеты с помощью М показали важность поддержания повышенной относит. влажности при работе ТЭ. Испарение и конденсация влаги сильно зависят от температуры и давления.

30.МБ.15. Исследование свойств протонообменной мембраны в растворе ванадия в батарее с ванадиевым потоком. *Tan Ning, Huang Ke-long, Liu Su-qin*(Central South University, Changsha Hunan 410083, China). *Dianyuan jishu=Chin. J. Power Sources.* 2004. 28, № 12, с. 775–778, 802. Библ. 11. Кит.; рез. англ.

Исследовали два основных свойства - проницаемость по ионам ванадия и сопротивление поверхности у 5 различных мембран (МБ) - Nafion, Japan-160, Japan-80, FYM, производимых в Японии, и гомог. МБ, и влияющие факторы. Выполнили некоторую модификацию FYM и гомог. МБ. Установлено, что гомог. МБ имеет низкую проницаемость, большое сопротивление поверхности и невысокую химич. стабильность. Повышение интенсивности электрич. поля увеличивает проницаемость и концентрацию ионов H^+ в растворе при снижении сопротивления поверхности. При использовании в гомог. МБ для образования поперечных связей дивинилбензола улучшаются различные свойства МБ.

30.МБ.16. Поверхностная модификация полипропиленовых микрофильтрационных мембран путем иммобилизации поли-N-винил-2-пирролидона: поверхностный плазменный подход. Surface modification of polypropylene microfiltration membranes by the immobilization of poly(N-vinyl-2-pyrrolidone): a facile plasma approach. *Liu Zhen-Mei, Xu Zhi-Kang, Wa Ling-Shu, Wu Jian, Ulbricht Mathias.* J. Membr. Sci.. 2005. 249, № 1–2, с. 21–31. Англ.

Описан облегченный подход к поверхн. модификации микрофильтрац. ПП-мембран (МБ) (ППММ) с помощью поли-N-винил-2-пирролидона(ПВП), который включает физ. адсорбцию ПВП с послед. плазменной обработкой, иммобилизующей ПВП на МБ-ПВ. Хим. и морфологич. изменения МБ-ПВ подробно характеризовали с помощью ИК-спектроскопии нарушенного полного внутреннего отражения с фурье-преобразованием, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и измерений контактных углов смачивания водой. Показано, что как продолжительность плазменной обработки, так и количество адсорбированного ПВП оказывают заметное влияние на степень иммобилизации ПВП. Контактный угол смачивания водой на МБ-ПВ понижается с увеличением степени иммобилизации, которая указывает на повышенную гидрофильность модифицированных МБ. Опыт по статич. адгезии кровяных пластинок на МБ-ПВ проводили, чтобы характеризовать гемосовместимость ПВП-модифицированных ППММ. Статич. количества прилипших

пластинок на единичную площадь МБ понижаются значительно, что до некоторой степени демонстрирует, что гемосовместимость ПВП-модифицированной МБ улучшается. Производительности пермеации по чистой воде и раствору альбумина сыворотки бычьей крови измеряли, чтобы оценить стойкость к загрязнению ПВП-модифицированных МБ; результаты измерений показали увеличение стойкости к загрязнению ППММ. Установлено, что этот плазменный подход с предв. адсорбцией является легким и полезным в плане улучшения гемосовместимости и стойкости к загрязнению ППММ.

30.МБ.17. Разделение разбавленных электролитов в микропористых мембранах, функционализированных полиаминокислотами: оценка модели и экспериментальные результаты. Separation of dilute electrolytes in poly(amino acid) functionalized microporous membranes: model evaluation and experimental results. *Hollman Aaron M., Scherrer Noah T., Cammers-Goodwin A., Bhattacharyya D.* J. Membr. Sci.. 2004. 239, № 1, с. 65–79. Англ.

Приводимый давлением транспорт разб. электролитов в микропористых мембранах (МБ), содержащих заряженные полиаминокислоты (ПАК) с блокированными концевыми группами, исследован через как эксперим. характеристику, так и модельную оценку. Пористая структура МБ модифицирована через односточечное ковалентное присоединение либо отрицательно заряженной поли-L-глутаминовой кислоты (ПГК), либо положительно заряженных полипептидов (поли-L-аргинин или поли-L-лизин), допускающих разделение с использованием микропористых материалов (напр., целлюлозные материалы, SiO₂/ПЭ-композиты). При этом эффективное исключение ионных соединений м. б. достигнуто в открытых МБ-платформах с значительно более низкими требованиями к давл., чем в случае традиц. нанофильтрации. Напр., задержание солята 0,5 мМ растворов экологически токсичных соединений, таких как двухвалентные оксианионы As(V) и Cr(VI), с использованием ПГК-функционализованной подложки (разм. пор 100 нм) составило >80% при 0,7 кГ/см³. Изучено влияние типа солята, концентрации, рН, загрузки полипептида и покрытия пор присоединенной макромолекулой на наблюдаемое задержание солята и гидравлич. проницаемость. Имобилизация ПГК обеспечивает основанное на конформации изменение разделит. свойств МБ при изменениях рН. Эти морфологич. переходы исследованы через приложение данных о проницаемости к двухзональной модели поры, описывающей транспорт растворителя. Это обеспечивает теор. оценку эффективной толщины полипептидсодержащей зоны поры. Смоделирован ионный транспорт с использованием 2-мерного подхода, основанного на расширенных уравнениях Нернста-Планка в сочетании с принципами равновесия Доннана. Требуемыми параметрами являются эффективная плотность заряда МБ-поверхности и ПАК-покрытие пор, как определено исследованиями проницаемости. Этот анализ позволяет оценить плотность фиксированного заряда МБ на базе данных о задерживании солята, а также оценить электростатич. свойства содержащей поры зоны.

30.МБ.18. Влияние сшивки и параметров процесса на разделительную способность полидиметилсилоксановых нанофильтрационных мембран. Influence of cross-linking and process parameters on the separation performance of poly(dimethylsiloxane) nanofiltration membranes. *Robinson John P., Tarleton E. Steve, Ebert Katrin, Millington Chris R., Nijmeijer Arian.* Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 9, с. 3238–3248. Англ.

Разделение орг. солятов в орг. растворителях оценено с использованием плотных мембран (МБ) из полидиметилсилоксана (ПДМС) с различными степенями сшивки и варьируемой толщиной плотного ПДМС-слоя. Показано, что преобладающий механизм задерживания орг.

солятов с низкой полярностью имеет место через исключение по размеру, причем задержание зависит, кроме того, от степени сшивки МБ, склонности МБ к набуханию в питающем потоке и трансмембранного давл. Предполагается, что механизм исключения по размеру возникает как следствие относительно большой степени набухания ПДМС (<300%), которое вызывает образование заметных областей между полимерными цепями, благодаря чему имеет место транспорт растворителя и солята. Степень набухания управляет относит. размером транспортных областей внутри МБ и, следовательно, общей производительностью по растворителю и характеристиками задерживания солята. Показано, что взаимодействие растворитель-солют играет главную роль в транспорте солята, причем конвективная составляющая течения солята возрастает, когда степень набухания увеличивается, а размер солята понижается. Несмотря на наличие механизма исключения по размеру, трудно исключить модель растворение-диффузия при интерпретации данных; однако продемонстрировано, что модели, основанные на поровом течении, могут адекватно интерпретировать эксперим. данные. Обсуждены сходства между двумя подходами; приведено потенциальное доказательство перехода между диффузией раствора и поровым течением.

30.МБ.19. Исследование состояния поверхности мембран на основе полиамидокислоты. Дьяконова О. В., Зяблов А. Н., Котов В. В., Елиссеева Т. В., Селеменов В. Ф., Фролова В. В.. Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 4, с. 501–506. Рус.

Методом сканирующей зондовой микроскопии исследованы полиамидокислотные (ПАК) МБ двух типов: ионообменные карбоксилсодержащие ПАК МБ и ПИ-МБ с различным содержанием порообразователя. Установлено, что размер пор ПИ-МБ близок к этому показателю в аналогичных микро- и ультрафильтрационных МБ. Это указывает на перспективность использования данных мембран в баромембранных процессах.

30.МБ.20. Взаимодействие воды и растворов этанола с полиамидокислотной мембраной. Белоглазов В. А., Нетесова Г. А., Котов В. В.. Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 4, с. 568–577. Рус.

Исследованы смачивание, сорбционные свойства и набухание полиамидокислотной МБ (ПАК) в водно-спиртовых смесях различной концентрации. Определен вид зависимости удельной работы смачивания от концентрации раствора этанола и установлено, что при содержании этанола более 10% ее величина не зависит от концентрации. Установлено, что сорбция воды ПАК-МБ является двухстадийным процессом. Предложена методика разделения наблюдаемых сорбционных процессов. Первая стадия представляет собой физ. сорбцию, происходящую в порах МБ. Определен коэф. диффузии молекул воды на этой стадии сорбции $0,31 \times 10^{-12}$ м²/с. Вторая, более медленная стадия, отнесена к капиллярной конденсации воды. Обнаружен колебательный характер изменения набухания ПАК-МБ в воде и растворах этанола. Предложен механизм, объясняющий такое поведение МБ, основанный на учете влияния менисковых сил и водородных связей, возникающих в системе.

30.МБ.21. Микробаланс осцилляции ленточных элементов: техника исследования сорбции протонообменных мембран. TEOM: A novel technique for investigating sorption in proton-exchange membranes. *Jalani Nikhil H., Choi Pyoungcho, Datta Ravindra.* J. Membr. Sci.. 2005. 254, № 1–2, с. 31–38. Англ.

Исследована равновесная сорбция и десорбция паров воды и метанола мембранами (МБ) Nafion при разных влажности и температуре. Показано, что сорбция воды МБ увеличивается при нагревании от 30 до 90°. Этот факт объясняют увеличением эластичности полимерной макромолекулы и соответственно уменьшением модуля Юнга МБ с увеличением температуры. Также исследовано влияние предварительной обработки МБ термообработкой, вакуумированием и горячим прессованием. Сделан вывод об перспективности способа для

характеристики равновесия сорбция-десорбция протоно-

30.МБ.22. Селективные по кислороду керамические полволоконистые мембраны. Oxygen selective ceramic hollow fiber membranes. *Liu Shaomin, Gavalas George R.* J. Membr. Sci.. 2005. 246, № 1, с. 103–108. Англ.

Проводящие ионы кислорода керамические полволоконистые мембраны (КПМ) брутто-формулы $\text{Ba}_{0,5}\text{Sr}_{0,5}\text{Co}_{0,8}\text{Fe}_{0,2}\text{O}_3$ изготавливают проведением последовательных экструзии, гелеобразования, нанесения покрытий и спекания. Исходные керамич. порошки получают комбинированием этилендиаминотетрауксусной кислоты и комплексов цитратов с последующей термообработкой при температурах до 900°. Порошки диспергируют в растворе полимера и экструдуют с вытягиванием волоконца. После набухания получаемые волокна обрабатывают по ПВ керамич. порошком и отжигают при 1190° с образованием КПМ, охарактеризованной методом сканирующей электронной микроскопии и по разделению воздушных смесей при давлении 1 кГ/см² и 700–950°. Максимальная проницаемость кислорода 5,1 мл/мин/см² при 950°.

30.МБ.23. Современные гидроизоляционные системы с применением полимерных мембран. *Нецадимов Н. А.* ТЭК: Топлив.-энерг. комплекс. 2005, № 1–2, с. 125–126. Рус.

Рассмотрены требования к гидроизоляц. материалам и предпосылки применения полимерных геомембран.

30.МБ.24. Фундаментальные исследования новой серии анионообменных мембран: мембрана, полученная из поли-2,6-диметил-1,4-фениленоксида и триэтиламина. Fundamental studies of a new series of anion exchange membranes: membrane prepared from poly(2,6-dimethyl-1,4-phenylene oxide) (PPO) and triethylamine. *Xu Tongwen, Liu Zhaoxing, Yang Weihua.* J. Membr. Sci.. 2005. 249, № 1–2, с. 183–191. Англ.

Получены анионообменные мембраны (МБ) с группой триэтилбензиламмония, изучена их относит. селективная проницаемость для моновалентных анионов по сравнению с хлорид-ионом. МБ получены из линейных конструкц. пластиков типа полифениленоксида (ПФО) путем проведения процессов бензилбромирования и затем четв. аминирования триэтиламмонием (I) в спирт. растворах различных составов. Ионообменная емкость, водосодержание, сопротивление площади поверхности МБ (МПС) и селективная проницаемость для моновалентных анионов исследованы и сравнены с МБ с группой триметилбензиламмония, которые серийно разработаны недавно в лаборатории. Показано, что характеристич. свойства МБ некоторым образом изменяются в зависимости от концентрации I в этаноле: ионообменная емкость (ИОЕ) сперва увеличивается с понижением концентрации I и затем понижается; при отношении I - этанол 1:1 ИОЕ достигает макс. величины 0,3 ммоль/г сухой МБ. Соотв. изменяются водосодержание и МПС. По сравнению с МБ с группой триметилбензиламмония полученные МБ имеют исключительно низкие водосодержания и ИОЕ, но высокое МПС. Селективная проницаемость для моновалентных анионов сильно зависит от гидрофобности и радиуса гидратированного иона. Гидратированный анион имеет гораздо более низкую величину селективной проницаемости по сравнению с хлорид-анионом в МБ с триэтилбензиламмонием, чем в случае МБ с триметилбензиламмонием и наоборот для гидрофобных анионов. Все это можно понять с учетом компромиссного эффекта ионного сродства к МБ и размера аниона в растворе.

30.МБ.25. Влияние поверхностных сопротивлений на диффузию бинарных смесей в силикалитной монокристаллической мембране. Effect of surface resistances on the diffusion of binary mixtures in the silicalite single crystal membrane. *Ahumbay M. Goktug, Elliott J. Richard (Jr), Talu Orhan.* J. Phys. Chem. B. 2005. 109, № 2, с. 923–929. Англ.

Изучена диффузия смеси метана и аргона через силикалитную монокристаллическую мембрану (МБ) с использованием метода молек. динамики в большом каноническом ансамбле с

обменных МБ.

целью выяснения, как поверхностные сопротивления изменяют селективность и проницаемость. Сравнение результатов моделирования внутрискристаллического переноса и входа для бинарных смесей CH_4 и Ar показало, что селективность силикалитных МБ по отношению к Ar усиливается в присутствии поверхностных сопротивлений. В обоих случаях, однако, диффузия более быстрых молекул Ar ингибируется более медленной диффузией молекул CH_4 , тогда как диффузия последних не подвергается влиянию.

30.МБ.26. Разделение следов тяжелых металлов из железной матрицы с использованием эмульсионной жидкой мембраны. Separation of traces of heavy metals from an iron matrix by use of an emulsion liquid membrane. *Kageyama Tomohiro, Matsumiya Hiroaki, Hiraide Masataka.* Anal. and Bioanal. Chem.. 2004. 379, № 7–8, с. 1083–1087. Англ.

Разработан метод использования эмульсионной жидкой мембраны для разделения следов тяжелых металлов из железной матрицы. Водный р-р $\text{Fe}(3+)$ объемом 1.0 мл был эмульгирован со смесью 0.6 мл толуола, 2.4 мл н-гептана и 80 мг моноолеата сорбитана (Span-80). Полученная эмульсия типа "вода-в-масле" была постепенно введена в 25 мл 1.5 М р-ра HCl , содержащего 30 мМ 8-хинолинола и 1.0 М сульфата аммония, и была диспергирована в виде крошечных глобул при перемешивании в течение 40 мин. Более 90% $\text{Fe}(3+)$ протифундировало через масляный слой к внешнему р-ру HCl с целью комплексообразования с 8-хинолинолом, тогда как следы тяжелых металлов, напр., $\text{Cr}(3+)$, $\text{Mn}(2+)$, $\text{Co}(2+)$, $\text{Ni}(2+)$, $\text{Cu}(2+)$ и $\text{Pb}(2+)$, количественно остались во внутренней водной фазе. После сбора диспергированных эмульсионных глобул они подвергались деэмульгированию и следы металлов в сегрегированной водной фазе были определены с помощью атомно-адсорбционной спектроскопии.

30.МБ.27. Проникновение газов через монокристаллические цеолитные мембраны. Gas permeation through zeolite single crystal membranes. *Ahumbay M. Goktug, Elliott J. Richard (Jr), Talu Orhan.* Adsorption. 2005. 11, прил. 1, с. 313–318. Англ.

Изучена диффузия метана и аргона через монокристаллические мембраны (МБ) с использованием метода молек. динамики в большом каноническом ансамбле. Исследование сфокусировано на понимании влияния кристаллической структуры на поверхностное сопротивление и св-ва МБ путем сравнения диффузии через силикалит, морденит, $\text{AlPO}_4\text{-5}$ и ZSM-12 . Результаты показали, что вклад поверхн. сопротивления в селективность МБ изменяется со структурой кристаллической решетки цеолита. Поверхностное сопротивление является наибольшим для силикалита и изменяется в ряду: силикалит > ZSM-12 > морденит > $\text{AlPO}_4\text{-5}$.

30.МБ.28. Электролитографические исследования гидрофильных каналов в мембранах Nafion. Electrolithographic investigations of the hydrophilic channels in Nafion membranes. *Chou Ju, McFarland Eric W., Metiu Horia.* J. Phys. Chem. B. 2005. 109, № 8, с. 3252–3256. Англ.

Мембраны (МБ) Nafion использовали в кач-ве полутвердых электролитов в метанольных и водородных топливных элементах. Прохождение ионов происходит через такие гидрофильные каналы Nafion, которые могут обеспечить непрерывный путь через МБ. Однако, имеется весьма ограниченная информация о плотности, размере и форме этих каналов. В данном исследовании разработано два электрохимических метода визуализации пористой структуры, которые включают создание литографических структур из металлов с использованием пор МБ в кач-ве темплатов. В этих экспериментах МБ закрепляли на плоскую тв. поверхность (ПВ) с одной стороны, а другую сторону вводили в контакт с электролитом. С использованием завершающейся водородом ПВ (111) п-легированного Si осуществляли осаждение золота из электролита, содержащего соль золота. У основания гидрофильных каналов осаждалось металлическое Au. В

другом методе МБ закрепляли на ПВ Pt и осаждали проволоки из серебра через гидрофильные каналы МБ. Изображения сканирующей электронной микроскопии этих проволок давали представление о размере и форме гидрофильных каналов.

30.МБ.29. Получение и исследование мембраны на основе сверхмелкокристаллического NaX. *Han Ling, Wang Jin-Qu.* Guocheng gongcheng xuebao=Chin. J. Process Eng.. 2005. 5, № 4, с. 403–406. Кит.; рез. англ.

Гидротермальным методом синтезирована непрерывная мембрана (МБ) на основе сверхмелкокристаллич. NaX на внешней стороне трубчатого носителя из α -оксида алюминия (12 мм внешний диам., 8 мм внутр. диам.). Поверхностная модификация трубки перед синтезом МБ была снабжена затравкой из сверхмелких кристаллов цеолита X. Молярный состав исходного геля МБ из NaX составлял $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3=3.85-4.2$; $\text{Na}_2\text{O}:\text{SiO}_2=1.2-1.5$; $\text{H}_2\text{O}:\text{Na}_2\text{O}=40-60$. Внешняя поверхность трубки была полностью покрыта кристаллами цеолита, которые имели размер 500-800 нм и около 10 мкм толщины МБ (по данным сканирующей электронной микроскопии). Проведены тесты на проникновение H_2 , N_2 и C_3H_8 для получения идеальной селективности разделения систем H_2/N_2 и $\text{H}_2/\text{C}_3\text{H}_8$. Измеренное проникновение H_2 составляло около 2.45×10^{-6} моль \cdot м²/с \times Па, а идеальная селективность разделения H_2/N_2 и $\text{H}_2/\text{C}_3\text{H}_8$ составляла 4.21 и 7.56, соотв., что выше, чем соотв. коэффициенты диффузии Кнудсена 3.74 и 4.09.

30.МБ.30. Моделирование перфузионного потока через гидрофильные мембраны. Modelling of the pervaporative flux through hydrophilic membranes. *Ortiz I., Gorn D., Casado C., Urtiaga A.* J. Chem. Technol. and Biotechnol.. 2005. 80, № 4, с. 397–405. Англ.

Представлена упрощенная модель широкого применения для определения перфузионного потока (ПП) через гидрофильные мембраны (МБ) в предположении, что изотерма адсорбции проникающего соединения на перфузионной МБ имеет линейную форму. Модель предсказывает ПП как функцию от активности проникающего соединения в жидкой фазе и рабочей температуры. Экспериментальные результаты, полученные при работе двух полимерных МБ (СМС-CF-23 и Pervar 2256), примененные для дегидратирования тетрагидрофурана (ТГФ) и отделения метанола от спиртоэфирных смесей, соответственно, удовлетворительно коррелировали, и были получены характеристические параметры. Модель была также тестирована по результатам, полученных на двух керамических МБ (Pervar SMS и цеолит NaA), примененных для дегидратирования смесей кетонов и ТГФ, соответственно.

30.МБ.31. Трековые лавсановые мембраны, модифицированные фуллеренами, и сорбция на них нитроксильного радикала. *Бирюлин Ю. Ф., Костецкий Ю. Ю., Кудояров М. Ф., Патрова М. Я., Сыкманов Д. А.* Письма в ЖТФ. 2005. 31, № 12, с. 32–38. Рус.

Созданы фуллеренсодержащие трековые мембраны на основе лавсановой пленки с физическим методом "закрепления фуллеренов" C_{60} на их поверхности. Мембраны охарактеризованы методами: ИК-спектроскопии, электронной сканирующей микроскопии, атомно-силовой микроскопии, электронного парамагнитного резонанса. Показано наличие агрегатов фуллерена C_{60} на поверхности таких мембран. Изучены сорбционные свойства фуллеренсодержащих трековых лавсановых мембран в экспериментах по сорбции нитроксильного радикала Темро. Установлено значительное превосходство сорбционной способности лавсановых мембран, модифицированных фуллеренами, по сравнению с исходными трековыми мембранами.

30.МБ.32. Влияние типа привода дозирочного насоса на технологический процесс. *Кузнецов Н. В.* Пиво и напитки. 2005, № 3, с. 62–63. Рус.

Приведены схема и описание работы различных типов привода мембранного насоса: электромагнитного,

асинхронного и шагового приводов.

30.МБ.33. Мембранное разделение в тупиковых полволоконных фильтрах при постоянном трансмембранном давлении. *Поляков Ю. С.* Теор. основы хим. технол.. 2005. 39, № 5, с. 499–506. Библ. 20. Рус.

Разработана физико-математическая модель процесса осадкообразования в тупиковых полволоконных аппаратах с наружной фильтрующей поверхностью, учитывающая поверхностно-объемный характер процесса фильтрования. В рамках модели рассмотрены два возможных механизма прироста массы осадка: традиционный (конвективный) и адсорбционно-пептизационный. Система уравнений, описывающих процесс осадкообразования, решена численно с помощью обобщенной конечно-разностной схемы Кранка-Николсона. Сравнение полученных численных решений с экспериментальными данными показало, что процесс осадкообразования в тупиковых полволоконных фильтрах подчиняется адсорбционно-пептизационному механизму.

30.МБ.34. Стабильность работы капиллярно-пористых стеклянных мембран. *Захаров С. Л.* Хим. пром-сть сегодня. 2005, № 2, с. 52–56, 2. Рус.

Проведены исследования по стабильности работы МБ с жесткой пористой структурой. Представлены характеристики разделения и пористости МБ. Даны рекомендации по изготовлению МБ с необходимой стабильностью и пористостью структуры.

30.МБ.35. Применение погружных мембран при очистке сточных вод. Immergees et multi-usages. *Lena P.* Hydroplus. 2004. 16, № 149, с. 44–45. Парал. фр., англ.

Рекламная публикация, рекламируются погружные мембранные системы на базе полволоконных мембран, этими мембранами обеспечивается фильтрование в процессах микро- и ультрафильтрации. Указывается, что при использовании мембран других типов значения трансмембранных давлений составляют не менее 2–4 бар, что обуславливает высокие энергозатраты, для полволоконных погружных мембран этот показатель находится в пределах 0,05–0,3 бар и обеспечивается при работе вакуумной линии отбора фильтрата. Сообщается, что крупнейшие в мире очистные сооружения с разделением иловой смеси на полволоконных погружных модулях эксплуатируются в ФРГ, производительность 48000 м³/сут. Мембраны этого типа обеспечивают более низкие значения трансмембранных потоков, это компенсируется увеличением общей фильтрующей поверхности. Сообщается, что под этими мембранами обычно размещаются пневмоаэраторы для удаления обрастаний с поверхности и т. д.

30.МБ.36. Очистка сточных вод, содержащих органические загрязнения и аммонийный азот, с использованием мембранного биореактора. Development of a membrane-assisted hybrid bioreactor for ammonia and COD removal in wastewaters. *Oyanedel V., Campos J. L., Garrido J. M., Lazarova V., Mendez R.* J. Chem. Technol. and Biotechnol.. 2005. 80, № 2, с. 206–215. Англ.

Сообщается об экспериментальной эксплуатации биореактора, в котором осветление выходящих СВ осуществлялось на модуле ультрафильтрации. При усовершенствовании реактора в нем была установлена нагрузка для фиксации биомассы и смонтирована система внутренней циркуляции иловой смеси. Биоценоз в реакторе представлен формами в составе биопленки, и в составе суспендированной части, оценивались компоненты в виде гетеротрофной и нитрифицирующей форм, нитрификанты в составе биопленок имели большую активность, чем в составе суспензий. В опытах отношение ХПК/ $\text{NH}_4\text{-N}$ изменялось от 0 до 4; при нагрузке 3,6 кгХПК/м³ сут и 0,92 кг $\text{NH}_4\text{-N}$ м³/сут эффективность удаления по обоим компонентам превышала 99%, содержание $\text{NH}_4\text{-N}$ в очищенных СВ менее 1 мг/л.

30.МБ.37. [Различные способы включения мембран в мембранных биореакторах]. A comparison of submerged and sidestream tubular membrane bioreactor configurations. *Le-Chech*

P., Jefferson B., Judd S. J. Desalination. 2005. 173, № 2, с. 113–122. Англ. Данные исследования связаны с расширяющимся применением мембранных биореакторов для очистки СВ, в этой технологии разделение иловой смеси производится на мембранах, проблемой является образование на них отложений. В экспериментах применялись мембраны погружные, находящиеся непосредственно в биореакторе (МП), и мембраны находящиеся вне реактора (МВ), иловая смесь на них подавалась насосом. В обоих вариантах использовались одинаковые трубчатые модули, для предотвращения отложений под МП устанавливался пневмоаэратор, а МВ включались в контур рециркуляции иловой смеси, в первом случае скорость воздушного потока у поверхности МП составляла 0,07–0,11 м/с (первая фаза опытов), и в варианте с МВ скорость тангенциального потока у мембраны изменялась от 0,25 до 0,55 м/с. Установлено, что вариант с применением МП более эффективен по сравнению с МВ, диапазон скоростей потока воздуха в следующих фазах был расширен, при этом с увеличением скорости с 0,02 до 0,2 м/с интенсивность образования отложений снизилась на 97% при трансмембранном потоке 29 л/м²ч.

30.МБ.38. Исследование свойств модифицированных цеолитовых мембран в процессах получения водорода. Modification of zeolite membranes for H₂ separation by catalytic cracking of methyl-diethoxysilane. *Hong Mei, Falconer John L., Noble Richard D.* Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 11, с. 4035–4041. Англ.

Выполнено исследование и определены селективные параметры мембран, выполненных из двух видов цеолитов - ZMS-5 и SAPO-34, подвергшихся силилированию с применением метилдиэтоксисиланов. Указанный процесс проводился с целью увеличения селективной способности мембран при выделении водорода из легких газов. Рассмотрен механизм протекания процессов силилирования и его влияние на размеры пор цеолитов. Рассмотрена методика и процедура проведения исследований. Обсуждены и проанализированы полученные при выполненных исследованиях результаты. Проведено сравнение селективных характеристик мембран, выполненных из цеолитов ZMS-5 и SAPO-34, и проанализирован механизм протекания процессов движения водорода, метана и диоксида углерода в мембранах.

30.МБ.39. Исследование процессов очистки водорода с использованием мембранных технологий. Prediction of hydrogen flux through sulfur-tolerant binary alloy membranes. *Kamakoti Preeti, Morreale Bryan D., Ciocco Michael V., Howard Bret H., Killmeyer Richard P., Cugini Anthony V., Sholl David S.* Science. 2005. 307, № 5709, с. 569–573, 4 ил. Библ. 34. Англ.

Выполнено теоретич. и экспериментальное исследование и определены требования, предъявляемые к металлич. полупроницаемым мембранам (МБ), используемым в процессах очистки водорода от примесей. Отмечено, что такие МБ должны обеспечивать высокую удельную пропускную способность и селективность, устойчивость к отравлению различными химич. соединениями, обеспечивать длительный срок их эксплуатации в сочетании со сравнительно невысокой их стоимостью. Указанным требованиям соответствуют МБ на основе сплавов, содержащих в своем составе палладий. Представлена методика моделирования процессов очистки водорода с применением бинарных металлич. МБ при различных составах материалов этих МБ, температурах и давлениях. Рассмотрен случай использования предложенного подхода при определении параметров процессов очистки водорода на МБ, выполненных из сплава меди и палладия. Показано, что такие МБ обладают высокой коррозионной устойчивостью при воздействии на них серосодержащих соединений, напр. сероводорода.

30.МБ.40. Колебания проводимости ионообменной мембраны в процессе диффузии и электромиграции ионов при стационарных внешних условиях. *Тихонов Н. А.* Ж. физ. химии. 2005. 79, № 8, с. 1514–1519. Рус. Исследовано явление, заключающееся в том, что при

стационарных внешних условиях в процессе электромиграции и диффузии ионов сквозь ионообменную мембрану могут возникать низкочастотные колебания проводимости мембраны. Это явление, наблюдаемое экспериментально в ряде работ, изучено на основе математического моделирования. Показано, что периодические колебания могут генерироваться в случае, когда в процессе участвуют ионы, у которых коэффициенты диффузии существенно различны.

30.МБ.41. Электрокинетические явления в сульфокатионитовых мембранах с ионами тетраалкиламмония. *Конonenko Н. А., Березина Н. П., Шкирская С. А.* Коллоид. ж.. 2005. 67, № 4, с. 485–493. Рус.

Исследовано явление электротранспорта ионов и молекул растворителя через мембранные системы, содержащие катионы тетраалкиламмониевых оснований. Установлена взаимосвязь электрокинетических характеристик сульфокатионитовых мембран при разной степени их насыщения ионами тетрабутиламмония с содержанием в них воды в равновесных условиях. Для насыщенных органическими противоионами гомогенных перфторированных мембран МФ-4СК обнаружен новый вид перколяционных переходов проводник-изолятор, который интерпретируется с учетом представлений об определяющей роли узких каналов в микроструктуре мембраны. Изучена электроосмотическая проницаемость мембран МФ-4СК в растворах хлоридов натрия и тетраэтиламмония, а также в их смесях. Наблюдающееся в эксперименте аномально высокое количество воды, переносимое ионами тетраэтиламмония, обсуждается с учетом динамических гидратационных характеристик ионов.

30.МБ.42. Использование сульфидселективных мембран в составе сенсоров на серосодержащие газы. *Калинина Л. А., Широкова Г. И., Ушакова Ю. Н., Фоминых Е. Г., Медведева О. В., Мури И. В.* Физ. и химия стекла. 2005. 31, № 3, с. 461–469. Библ. 11. Рус.

Исследована возможность использования сульфидпроводящих твердых электролитов систем MeS-Ln₂S₃ (Me-Ca, Ba; Ln-Y, Nd, Pr, Sm, Tm) в составе сенсоров для анализа серосодержащих сред. Выбраны конструктивные параметры и режимы работы датчиков. Исследовано влияние многокомпонентных примесей на селективность сенсоров.

30.МБ.43. Использование мембран при очистке производственных растворов и сточных вод. *Гиганов Г. П.* Ресурсы. Технол. Экон.. 2005, № 7, с. 5–9. Библ. 9. Рус.

Приведены результаты полупромышленных испытаний на установке обратного осмоса по очистке растворов производства медной фольги от сульфата и хлорида натрия, а также от хромата и пирофосфата калия. Показана возможность снижения содержания загрязняющих солей до норм для сброса в водоемы и концентрирования реагентов для возврата их в технологический цикл. Проведены полупромышленные испытания по очистке сточных вод от меди, никеля, мышьяка и серной кислоты. Показана возможность достижения санитарно-бытовых норм по тяжелым металлам в очищенной воде.

30.МБ.44. Удаление диоксида углерода из дымовых газов тепловых электростанций, работающих на природном, с использованием мембранной технологии. CO₂ capture from natural gas fired power plants by using membrane technology. *Hagg May-Britt, Lindbrathen Arne.* Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 20, с. 7668–7675. Англ.

Представлена методика математич. моделирования процессов очистки от примесей диоксида углерода дымовых газов тепловых электростанций, использующих в качестве топлива природный газ. Указанные процессы осуществляются с использованием мембранных технологий и обеспечивают высокую селективность при удалении диоксида углерода. Рассмотрены два альтернативных случая использования предложенного способа очистки: для газового потока при

давлении 16,5 кгс/см² при высоком содержании диоксида углерода (10%) и при давлении 1 кгс/см² при сравнительно низком содержании этого соединения (4%) в исходном очищаемом газе. Эффективность проведения указанных процессов определялась при расходе газа 700000 м³/ч. В этих процессах использовались мембраны на основе поливиниламина. Даны рекомендации и указаны возможные условия применения рассматриваемого процесса.

30.МБ.45. Влияние буферного слоя мезопористого диоксида кремния на ориентацию мембран из цеолита MFI. Effect of mesoporous silica buffer layer on the orientation of MFI zeolite membranes. *Zhang Fa-Zhi, Fuji Masayoshi, Takahashi Minoru* (Япония, Ceramics Research Lab., Nagoya Inst. of Technology, Tajimi, Gifu 507-0071). *J. Amer. Ceram. Soc.* 2005. 88, № 8, с. 2307–2309, 4 ил. Библ. 20. Англ.

Получение мембран из цеолита MFI на пористых субстратах из α -Al₂O₃ с предварит. покрытием буферным слоем мезопористого SiO₂ и без этого покрытия осуществлено кристаллизацией на месте. Преимущественно в-ориентированная мембрана типа MFI может быть получена на мезопористом субстрате, покрытом SiO₂. Мембрана с беспорядочно ориентированным верхним слоем получена на субстрате, не покрытом α -Al₂O₃. Химич. свойства субстрата, как предполагается, оказывают существенное влияние на ориентацию мембраны.

30.МБ.46. Характеристика предсказания турбулентного промотора, улучшающего нанофильтрацию раствора красителя. Performance prediction of turbulent promoter enhanced nanofiltration of a dye solution. *Auddy Kausick, De Sirshendu, DasGupta Sunando* (Department of Chemical Engineering, Indian Institute of Technology, Kharagpur 721302, India). *Separ. and Purif. Technol.* 2005. 43, № 1, с. 85–94. Библ. 25. Англ.

Предложена полуэмпирическая модель для предсказания проникновения жидкости с оценкой концентрации красителя при поперечной нанофильтрации раствора красителя. Модель включает ламинарный режим потока при участии турбулентного промотора. Согласованы разные типы устойчивости мембраны (гидравлическая, к осмотическому давлению и слоя-геля). Последний тип устойчивости слоя-геля коррелируется с условиями работы, а именно, с концентрацией потока питания, перепадом трансмембранного давления, скоростью поперечного потока. Скорость проникновения жидкости предсказана с использованием развитой корреляции и хорошо согласуется с экспериментом.

30.МБ.47. Структура и свойства композитных полиуретановых полволоконистых мембран. Structure and properties of composite polyurethane hollow fiber membranes. *Li Xian-feng, Xiao Chang-fa*. *Chin. J. Polym. Sci.* 2005. 23, № 2, с. 203–210. Англ.

Исследовано влияние содержания частиц SiO₂ в структуре полволоконистых ПУ-мембран (МБ). Показано, что в МБ присутствует множество микропустот, играющих важную роль в ответе МБ на воздействие давления. При этом с увеличением содержания частиц SiO₂ проницаемость МБ по воде увеличивается; режекция изменяется незначительно.

30.МБ.48. Получение мезоскопических золотых колец с использованием меченных частицами матриц. Preparation of mesoscopic gold rings using particle imprinted templates. *Yan Feng, Goedel Werner A.* *Nano Lett.* 2004. 4, № 7, с. 1193–1196. Англ.

Полимерные мембраны (МБ) с внутренними двумерно расположенными порами получают на водн. ПВ с использованием однослойной матрицы из колл. диоксида кремния. МБ используют в качестве матрицы при изготовлении золотых колец наполнением пор раствором доноров золота с послед. проведением кальцинирования. Размер получаемых колец легко контролируется регулированием размера пор МБ, образующих матрицу.

30.МБ.49. Структура плоских мембран, полученных в системе полиэфирсульфон-диметилацетамид-

нерастворитель-вода. *Laninovic V.* Высокомолекул. соед.. 2005. 47, № 7, с. 1196–1202. Библ. 22. Рус.; рез. англ.

Описан метод получения МБ на основе полиэфирсульфона методом отливки из раствора. Использована смешанная система растворителей, содержащая диметилацетамид, добавки нерастворителей (пропионовая кислота, пропионовый ангидрид, масляная кислота и ее ангидрид) и воду. Рассмотрено влияние указанных добавок на процесс разделения фаз и морфологию образующихся МБ. Как показали сканирующие электронные микрофотографии, добавки нерастворителя существенно влияют на структуру пористого слоя МБ. Введение добавок нерастворителя в раствор полимера ингибирует рост микропустот, что улучшает механические характеристики мембран. Поток воды через МБ уменьшается по сравнению с МБ, полученными из жидких систем без добавок нерастворителя.

30.МБ.50. Полимерные микрофильтры для биотехники. A microfabricated polymer filter device for bio-applications. *Atkin Micah, Poetter Karl, Catrall Robert, Harvey Erol*. *Proc. SPIE*. 2004. 5345, с. 138–146. Библ. 24. Англ.

Микрофильтрационные системы для биотехники изготавливают при обработке мембран из ПЭТФ лучами эксимерного лазера до получения вследствие модификации УФ-лучами пор диаметром ~1 мкм контактного угла 75–25° или химич. модификацией до достижения контактного угла 75–16°. Эффективность получаемых систем продемонстрирована на экстракции дезоксирибонуклеиновой кислоты из цельной крови. На основании проведенных испытаний сделан вывод, что модификация мембран обоими способами увеличивает энергию их ПВ, что улучшает неселектив. связывание и характеристики электроосмотич. течения.

30.МБ.51. Получение и характеристика сополилактидгликолидов и композитов из них со вспененными трубчатыми биостеклами для производства текстильных сетчатых структур. Preparation and characterisation of poly(lactide-co-glycolide) (PLGA) and PLGA/Bioglass® composite tubular foam scaffolds for tissue engineering applications. *Boccaccini A. R., Blaker J. J., Maquet V., Day R. M., Jerome R.* *Mater. Sci. and Eng. C*. 2005. 25, № 1, с. 23–31. Англ.

Композиты из сополилактидгликолидов и 1% вспененных трубчатых биостекол используют для изготовления пористых мембран разной толщины и пористости. Данные сканирующей электронной микроскопии свидетельствуют об образовании радиально ориентированных взаимосоединяющихся пор двух разных размеров: макропор диаметром ~100 мкм и взаимосоединяющихся микропор диаметром 10–50 мкм. Пены с включениями трубчатых биостекол содержат поры сложной трубчатой и сообщающейся структуры. Композиты определены как перспективные материалы для производства текстильных сетчатых структур.

30.МБ.52. Моделирование методом молекулярной динамики набухшей мембраны из перфторированного иономера. Molecular dynamic simulation of swollen membrane of perfluorinated ionomer. *Urata Shingo, Irisawa Jun, Takada Akira, Shinoda Wataru, Tsuzuki Seiji, Mikami Masuhiro*. *J. Phys. Chem. B*. 2005. 109, № 9, с. 4269–4278. Англ.

Осуществлено моделирование методом молекулярной динамики набухшей мембраны (МБ) из перфторированного иономера, содержащего поли(тетрафторэтиленовую) основную цепь и перфторсульфоновые боковые цепи, с целью анализа статических и динамических свойств воды и боковых цепей в МБ. Вычисления проведены при четырех различных содержаниях воды (5, 10, 20 и 40 вес.%) при 358.15 К и 0.1 МПа. Из полученных результатов сделано четыре основных вывода.

30.МБ.53. Массоперенос при мембранном разделенииводно-этанольных смесей. *Котов В. В., Белоглазов В. А., Нетесова Г. А.* Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 5, с. 659–666. Рус.

Исследованы закономерности массопереноса при разделении

водно-этанольных смесей мембранами различной химической определяющие его максимальную эффективность. Установлено, что концентрирование водно-спиртовых смесей является эффективным при молярном соотношении вода:спирт > 1 (массовая доля этанола в растворе < 72%). Получение более концентрированных растворов является невозможным вследствие низкой селективности мембран, даже различающихся по химической природе.

30.МБ.54. Структурно-кинетические особенности анионообменных мембран, сорбирующих органические вещества. *Перегончая О. В., Котов В. В.* Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 5, с. 736–741. Рус.

Контактно-разностным методом измерены концентрационные зависимости электропроводности анионообменных мембран МА-40 в хлоридной форме до и после сорбции карбоксилат-ионов, а также насыщенных карбоновой кислотой. Проанализированы механизм сорбции лаурата натрия и образования лауриновой кислоты, соотношение объемных долей гелевой и межгелевой фаз, подвижность ионов в мембране. Показано изменение структурных и кинетических параметров мембран в результате сорбции органических веществ.

30.МБ.55. Окислительно-восстановительные реакции без прямого контакта реагентов. Перенос комбинации электронов и ионов через полианилиновую мембрану. Redox reactions without direct contact of the reactants. Electron and ion coupled transport through polyaniline membrane. *Kocherginsky Nikolai M., Lei Wen, Wang Zheng.* J. Phys. Chem. A. 2005. 109, № 17, с. 4010–4016. Библ. 22. Англ.

Рассмотрен процесс восстановления Fe^{3+} в Fe^{2+} аскорбиновой кислотой в условиях разделения с помощью полианилиновой МБ с комбинированным переносом электронов и ионов через МБ. Показано, что по крайней мере один из растворов должен иметь кислое рН для осуществления трансмембранной окисл.-восст. реакции. Cl^- перемещаются в направлении, противоположном переносу электронов. Предложен возможный механизм электронно-ионного переноса с кинетич. моделью, моделирующей эксперим. результаты. Кажущееся значение коэф. диффузии окисл.-восст. эквивалентов в МБ, определяемое подвижностью Cl^- , для контактирующей с 1 М HCl мембраной равно $1,4 \times 10^{-8}$ см²/с. Константа скорости реакции полимера с аскорбиновой кислотой и $FeCl_3$ равна $\sim 2 \times 10^{-2}$ см⁴/М×с на границе раздела. Показано, что если МБ очень тонкая, скорость трансмембранной реакции ограничена процессами, происходящими на ПВ раздела, причем времена сравнимы с наблюдаемыми в МБ митохондрий.

30.МБ.56. Получение пористых полимерных мембран с помощью нано- и микро-колоночного порядка как шаблона. Preparation of porous polymer membranes using nano- or micro-pillar arrays as templates. *Yan Xiaohu, Liu Guojun, Dickey Michael, Willson C. Grant.* Polymer. 2004. 45, № 25, с. 8469–8474. Англ.

ZnO или полистирольный колоночный порядок формировали на твердых подложках и использовали как шаблон для приготовления пористых полимерных мембран. Мембраны готовили отливкой полимерного раствора в межколоночное пространство этих шаблонов и испарением растворителя. Полученные мембраны обнаруживают высокую проницаемость для воды и высокую избирательность к размерам.

30.МБ.57. К использованию совмещенного мембранно-десорбционного процесса для регенерации минеральных масел. *Дмитриев Е. А., Трушин А. М., Прохорова Т. В., Чайка Е. Н.* Хим. пром-сть сегодня. 2005, № 6, с. 7–10. Библ. 5. Рус. Предложен совмещенный мембранно-десорбционный процесс для регенерации технологических жидкостей на основе минеральных масел. В одном аппарате можно одновременно удалять из обрабатываемых сред микрочастицы, эмульсионную и растворенную влагу и газы.

30.МБ.58. Электрохимический способ гидрирования

природы. Выявлены условия процесса разделения, **соевого масла газообразным водородом.** Electrochemical hydrogenation of soybean oil with hydrogen gas. *Pintauro P. N., Gil M. P., Warner K., List G., Neff W.* (Department of Chemical Engineering, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio 44106). Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 16, с. 6188–6195. Англ.

Рассматривается электрохимический реактор с протонообменной мембраной. Газообразный H₂ поступает на анод. По своему дизайну реактор подобен тому, в котором используется топливная ячейка H₂/O₂. Мембранные электроды состоят из порошкообразного черного палладия, напыленного на катионообменные мембраны из Nafion 117. Условия гидрирования: 60–90°C; 1 атм. Эффективность гидрирования возрастает с температурой, снижается с плотностью тока и составляет величину от 45 до 97%. Частично гидрированный продукт характеризуется низким %-ным содержанием транс-изомеров жирных кислот и относительно высокой концентрацией насыщенной стеариновой кислоты. Улучшение избирательности гидрирования достигается увеличением скорости подачи масла и включением в подающий канал реактора промотера турбулентности. Использование биметаллических электродов (Pd/Co или Pd/Fe) увеличивает избирательность гидрирования.

30.МБ.59. CFD моделирование потока пермеата при перекрестно-точной мембранной микрофильтрации. CFD modeling of permeate flux in cross-flow microfiltration membrane. *Rahimi M., Madaeni S. S., Abbasi K.* J. Membr. Sci.. 2005. 255, № 1–2, с. 23–31. Англ.

Сообщается о результатах изучения моделирования пермеации воды через микрофильтрац. МБ методом трехмерного численного моделирования текучих фаз (CFD). Величины локальных потоков пермеатов рассчитаны на основе локальных давл. по уравнению Дарси. Общий проток определен интегрированием локальных потоков по всей поверхности МБ. Результаты расчетов методом CFD сравнивались с экспериментом. Показана их высокая точность.

30.МБ.60. Роль мембранных технологий в регенерации и повторном использовании муниципальных сточных вод. The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. *Wintgens T., Melin T., Schafer A., Khan S., Muston M., Bixio D., Thoye C.* Desalination. 2005. 178, № 1–3, с. 1–11. Англ.

Работа посвящена ключевой роли мембранных технологий (включая ультрафильтрацию и обратный осмос и системы с биореакторами) для регенерации и повторного использования муниципальных сточных вод в мировом масштабе. Обсуждаются перспективы применения метода.

30.МБ.61. Очистка сточных вод от производства пива в мембранном биореакторе. Rgwwo performances of submerged membrane bioreactor treating brewery wastewater: A laboratory study. *Zhang Li-qiu, Feng Li, Lv Bing-nan, Gu Ren-zheng, Jiang Jin.* J. Harbin Inst. Techn.. 2005. 12, № 4, с. 460–466. Библ. 10. Англ.

В лабораторных экспериментах изучался процесс очистки СВ от производства пива с использованием реактора с погружным модулем на базе полволоконных мембран, рабочий объем реактора 37 л, применялись мембраны для ультрафильтрации, поры 0,1 мкм, материал полипропилен, общая поверхность 3 м². Период адаптации составил 35 сут, установившаяся концентрация биомассы 10 г/л. Модельные СВ имели ХПК 864–1780 мг/л, на выходе не более 30 мг/л в том числе при залповых перегрузках, аммонийный азот на входе 35–64 мг/л, на выходе 1–10 мг/л, для общего фосфора эти показатели 6,7–13,4 и 6,1–9,1 мг/л.

30.МБ.62. Преимущества биомембранных технологий для биологической очистки стоков. *Швецов В. Н., Морозова К. М., Киристая А. В.* Экол. пр-ва. 2005, № 11, с. 76–80. Библ. 8. Рус.

В настоящее время до 95% всех обрабатываемых сточных вод

очищаются биологическим методом. Современные сооружения биологической очистки достаточно эффективны, однако они занимают большие площади, расходуют значительное количество электроэнергии на аэрацию, и поэтому вопросы их интенсификации, повышения глубины очистки и экономичности весьма актуальны. В то же время за последние годы достижения в области нанотехнологий привели к разработке принципиально новых типов ультра- и микрофильтрационных мембран, в частности полволоконных. Сочетание биологических и мембранных методов (для отделения очищенной воды от активного ила) в одном сооружении имеет большие перспективы.

30.МБ.63. Удаление цианидов из сточных вод. Fouling and cleaning of gas-filled membranes for cyanide removal. *Han Binbing, Shen Zhisong, Wickramasinghe S. Ranil.* *Separ. Sci. and Technol.*. 2005. 40, № 6, с. 1169–1189. Библ. 32. Англ.

Сообщается, что для удаления из промышленных СВ цианидов использовалась установка, которая включала 10 полволоконных модулей с общей эффективной поверхностью мембран 180 м², внешний диаметр мембран 450 мкм, толщина стенок 50-70 мкм, размер пор 0,05-0,2 мкм, пористость 30-40%, газопроницаемость 7,2 см³/см²× см Нг, трансмембранное давление 0,25 МПа. Цианидсодержащие СВ циркулировали через каналы мембран, в пространстве между ними циркулировал 10% раствор NaOH. Мембраны изготавливаются из гидрофобных материалов, например, полипропилена или политетрафторэтилена, благодаря высокой летучести HCN диффундирует через стенку мембраны и реагирует с NaOH с образованием NaCN и воды. Установка эксплуатировалась в течение 2 мес, сообщается о высокой эффективности удаления цианидов, данная технология также защищала поверхность мембран от отложений.

30.МБ.64. Микропористые аминосиликатные мембраны, полученные золь-гель методом для повышения [эффективности] удаления диоксида углерода [из газов]. Microporous sol-gel derived aminosilicate membrane for enhanced carbon dioxide separation. *Xomeritakis George, Tsai Chung-Yi, Brinker C. Jeffrey.* *Separ. and Purif. Technol.*. 2005. 42, № 3, с. 249–257. Англ.

Исследован процесс и рассмотрен механизм удаления из газовых смесей различного состава диоксида углерода. Отмечено, что такие процессы могут быть использованы для очистки пилотируемых космических аппаратов также при удалении диоксида углерода из природного газа, при очистке отходящих газов тепловых электростанций, использующих в качестве топлива каменный уголь. Исследования проводились применительно к мембранам, изготовленным из аморфных аминосиликатов с размером пор от 4 А до 5 А. Описана экспериментальная лабораторная установка, рассмотрена методика и процедура проведения исследования и сообщены полученные результаты. Оценено влияние уровня содержания диоксида углерода и влажности исходной газовой смеси, методики изготовления и интенсивности старения мембран на эффективность удаления диоксида углерода из очищаемого газового потока.

30.МБ.65. Узелковые отложения на тканях рукавных фильтров при улавливании промышленной пыли. *Казюта В. И.* *Сталь.* 2005, № 4, с. 124–126, 3 ил. Рус.

В процессе фильтрации на поверхности фильтровального материала имеется постоянно удерживаемый равновесный слой пыли, образованный узелковыми отложениями. Величины гидравлических сопротивлений пылевого слоя с узелковыми отложениями в прямом и обратном потоках воздуха различаются. Узелковые отложения "работают" как клапаны, которые закрываются в режиме фильтрации и открываются в режиме регенерации. Крупные отложения возникают на концах консолю торчащих волокон и могут образовывать сплошной слой, который может привести к полной закупорке фильтровального материала. Основными силами, способствующими образованию узелковых отложений,

следует считать статическое электричество и адгезию. Для предупреждения образования крупных узелковых отложений фильтровальные материалы после изготовления подвергают отделке - опалке, каландрированию, нанесению мембранного покрытия и др.

30.МБ.66. Влияние типа соли на массоперенос на тонкопленочной композитной мембране обратного осмоса. Effect of salt type on mass transfer in reverse osmosis thin film composite membranes. *Khayet M., Mengual J. I.* *Desalination.* 2004. 168, с. 383–390. Англ.

Исследовано разделение неорг. солей (одно- и двухвалентных) в водных растворах на тонкопленочной композитной Мб спиральной конфигурации. Для каждого типа соли определены коэф. массопереноса через Мб при высоком давл. со стороны подачи в спиральный модуль исходного раствора. Рассчитаны 3 энергетич. параметра для моновалентных катионов и анионов и двухвалентных катионов. Эти параметры использованы при оценке характеристик обратного осмоса неорг. солей в спиральном модуле. На основе найденных величин свободной энергии катионов и анионов сделан вывод о положительном заряде поверхности Мб.

30.МБ.67. Влияние частиц адсорбента на динамику мембраны в перекрестноточной фильтрации протеина. Influence of adsorbent particles on a dynamic protein membrane in cross flow filtration. *Miri Rachid, Dizene Rabah, Joulie Regis.* *Desalination.* 2004. 168, с. 329–339. Англ.

Работа посвящена изучению тангенц. микрофильтрации суспензий в растворах протеина и явлению адсорбции в системе жидкость/твердое. Использованы пористая минеральная Мб диам. пор 0,2 мкм и раствор протеина (концентрация β-лактоглобулина 10 мг/л) с суспензией различного содержания. Микрофильтрация чистых продуктов (ультрачистой воды, активного угля, протеина) позволила лучше понять роль каждого компонента в процессе сепарации. Исследована также адсорбция протеинов на порошке активного угля в микрофильтрац. петле ячейки с перемешиванием. Полученные результаты показали важность учета ионной силы жидкости и существования сильных взаимодействий между Мб и растворителем и Мб и протеином.

30.МБ.68. Мембранный модуль для фильтрации под давлением технологических жидкостей. *Станкевич В. М.* *Матер., технол., инструм.*. 2005. 10, № 2, с. 98–100. Рус.; рез. англ.

Разработан мембранный модуль для фильтрации больших объемов жидкостей при давлении до 0,5 МПа. Это соответствует режимам технологической очистки, используемым в промышленности при микро- и ультрафильтрации с помощью трековых мембран.

30.МБ.69. Влияние параметров продольного перемешивания на глубину очистки газов в мембранном элементе с рециклом выходного потока. *Воротынцев В. М., Кириллов Ю. П., Дроздов П. Н.* *Теор. основы хим. технол.*. 2005. 39, № 4, с. 420–425. Рус.

На основе вычислительных экспериментов с применением математической модели газоразделительного процесса определены параметры, при которых режим рецикла выходного потока целесообразно использовать для глубокой очистки газов. Показано, что теоретические расчеты достаточно хорошо согласуются с экспериментальными данными по глубокой очистке аргона от примеси пропана и воды.

30.МБ.70. Мембранная фильтрация с обратной адсорбцией: влияние на работу полволоконных фильтров трансмембранного давления, скорости потока исходной смеси и геометрии фильтров. *Поляков Ю. С., Казенин Д. А.* *Теор. основы хим. технол.*. 2005. 39, № 4, с. 426–431. Рус.

Для процесса объемного мембранного фильтрования с обратной адсорбцией теоретически исследовано влияние на работу полволоконных фильтров трансмембранного давления, скорости потока исходной смеси и геометрии

фильтров. С помощью математических моделей, прямоугольном и радиальном фильтрах, рассчитаны максимально возможные длительности процесса разделения при задерживающей способности фильтра не ниже 0,9 и постоянной производительности по осветленному продукту (пермеат плюс фильтрат) для непрерывного и периодического режимов работы. Показано, что максимальная длительность процесса разделения и, следовательно, наибольший объем продукта могут быть получены в условиях, когда скорость потока исходной смеси близка к начальной скорости потока пермеата. Показано также, что несколько фильтров с более низкой начальной скоростью потока пермеата позволяют добиться значительно большей длительности процесса разделения, чем один фильтр с такой же суммарной начальной скоростью потока пермеата.

30.МБ.71. Приготовление эмульсий масло/вода в аппарате с погружной керамической внешней мембраной. *Jing Wenheng, Xing Weihong, Zhang Wei, Bai Wenjing, Xu Nanping.* Huagong xuebao=J. Chem. Ind. and Eng. (China). 2004. 55, № 2, с. 0328–0330. Кит.; рез. англ.

Предложена погружная керамич. внешняя Мб для эмульгирования, которая привлекает простотой, низкими затратами энергии, легко встраивается в технол. схему и моделируется. Приготовлены эмульсии широкого диапазона дисперсности с использованием Мб различного размера пор. Эмульсии с уд. поверхностью 3,78 и 10,8 м²/г приготовлены на Мб диам. пор, соответственно, 0,69 мкм и 0,16 мкм, пригодны для экстрактивной и двухфазной реакций.

30.МБ.72. Использование ядерных мембран в процессах электролиза. *Ильин В. И., Колесников В. А., Паршина Ю. И.* Оборон. комплекс - науч.-техн. прогрессу России. 2005, № 2, с. 75–76. Рус.

Применение новых мембранных материалов - один из путей совершенствования электромембранной технологии. В статье представлен материал по использованию в процессах электролиза сточных вод пористых полимерных мембран - ядерных мембран (нуклеопоров), обладающих комплексом технологических преимуществ.

30.МБ.73. Селективный транспорт тройной ионной системы медь-никель-кобальт через катионообменные мембраны. Selective transport of a cupric-nickel-cobalt ion ternary system through cation ion-exchange membranes with a complexing agent by dialysis. *Wang Jau-Kai, Chang C.-P.* Desalination. 2004. 164, № 3, с. 269–280. Англ.

Изучен селективный транспорт через катионообменную мембрану ионов металлов тройной системы Cu²⁺-Ni²⁺-Co²⁺ в периодически встряхиваемом диализаторе. В качестве комплексообразующих агентов были выбраны малооновая, лимонная и щавелевая кислоты. Выявлено, что эффективность комплексообразования убывает в ряду лимонная кислота > малооновая кислота > щавелевая кислота. Показано, что на селективность влияют такие факторы, как соотношение комплексообразующий агент/лиганд и pH раствора. Оптимальное соотношение P_{Co-Na}:P_{Ni-Na}:P_{Cu-Na} составляет 5,40:3,75:0,75. Теоретическая модель системы разработана на основе уравнения Нернста-Планка и предположения о равновесии на границе раздела. Теоретический расчет отклоняется от экспериментальных данных на 15%.

30.МБ.74. Характеристики мембран для ультрафильтрации и их использование для очистки токсичных сточных вод. Preparation and characterization of ultrafiltration membranes for toxic removal from wastewater. *Saffaj N., Younssi S. Alami, Albizane A., Messouadi A., Bouhria M., Persin M., Cretin M., Larbot A.* Desalination. 2004. 168, с. 259–263. Англ.

Указывается, что СВ (преимущественно промышленные) могут иметь разброс pH во всем измеряемом диапазоне, содержать растворители и другие агрессивные и токсичные компоненты, иметь высокую температуру, обладать окрашенностью и т. д. Мембраны из органических материалов в этих случаях имеют низкую стабильность при высокой

описывающих процесс разделения латексной суспензии в стоимости. В этих условиях в качестве альтернативы предлагается использовать мембраны из керамики. Сообщается о разработке двухслойной керамической мембраны, подложка с крупными порами выполнялась из ZnAl₂O₄, на нее наносился собственно фильтрующий слой из TiO₂ толщиной 1,2 мкм с порами 4 нм, он обладал также каталитическими свойствами. Мембрана предназначена для ультрафильтрации, трансмембранный поток 6,4 л/м²ч бар, установлено, что с ее использованием эффективно удаляются тяжелые металлы, растворители, красители и т. д., стоимость мембраны невысока.

30.МБ.75. [Очистка сточных вод от производства текстиля]. Color and COD retention by nanofiltration membranes. *Lopes Cristiane N., Petrus Jose Carlos C., Riella Humberto G.* Desalination. 2005. 172, № 1, с. 77–83. Англ.

Сообщается, что СВ от производства текстиля отличались высоким уровнем загрязненности и имели интенсивную окрашенность. В пилотных экспериментах исследовалась возможность очистки этих СВ в процессе нанофильтрации, использовались спиральные мембраны трех типов, которые в схеме очистки включались параллельно. Фильтрация проводилась в перекрестноточном режиме, установлено, что максимальная эффективность удаления красителей составила 99% для мембран двух марок, однако загрязненность по ХПК удалялась неэффективно, мембраны третьей марки удаляли ХПК на 87%. Трансмембранный поток изменялся от 30,5 до 70 л/м²ч, скорость обрастания мембран всех типов была примерно одинаковой.

30.МБ.76. Применение борамембранной технологии в процессах водоочистки и водоподготовки. *Ильин В. И., Колесников В. А., Тертугов Г. В.* Экол. пр-ва. 2005, № 1, с. 67–71. Рус.

В РХТУ им. Менделеева разработана технология изготовления керамических мембранных фильтрующих элементов (КМФЭ) в виде пористых трубок с изотропной и анизотропной (многослойной) структурой. Для практического использования КМФЭ при очистке различных жидких сред разработаны и серийно выпускаются оригинальные конструкции аппаратов: фильтры ФМКэ, установки мембранной очистки и бактерицидные установки мембранной очистки.

30.МБ.77. Мембранный транспорт неорганических кислот α-аминофосфорильными соединениями. *Гарифзянов А. Р., Ширизова Н. В., Черкасов Р. А.* (Казанский государственный университет, Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18). Ж. общ. химии. 2005. 75, № 4, с. 575–578. Рус.

Изучен транспорт ряда неорганических кислот (HCl, HBr, HClO₄, HNO₃, H₂SO₄, H₃PO₄) через гидрофобные импрегнированные мембраны с использованием в качестве переносчиков ряда аминокислотных соединений общей формулы R₂¹P(O)CH₂NR²R³ [R¹=C₄H₉(C₂H₅)CHCH₂O, R²=C₄H₉, R³=C₈H₁₇; R¹=R³=C₈H₁₇, R²=H; R¹=C₁₀H₂₁, R²=R³=C₂H₅; R¹=C₁₀H₂₁, R²+R³=(CH₂)₂O(CH₂)₂; R¹=C₈H₁₇, R²=H, R³=NH-хинол-2-ил] и дидодециламина. Мембранная фаза представляла собой растворы переносчиков в фенилциклогексане и тридекане. Установлены основные закономерности, связывающие строение аминокислотных соединений и их транспортные свойства по отношению к неорганическим кислотам. Наибольшие величины потоков характерны для переноса хлорной, азотной и бромоводородной кислот.

30.МБ.78. Электростатическая емкость нанопроволоки TiO₂ в пористом Al₂O₃ темплате. Electrostatic capacitance of TiO₂ nanowires in a porous alumina template. *Lee Jaeyoung, Choi Jinsub, Lee Jeakwang, Choi Sang Kyo, Chun Hee Dong* (Fuel Cell Research Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul 136-791, Korea). Nanotechnology. 2005. 16, № 9, с. 1449–1453. Англ.

Для использования в электролитич. конденсаторах изготовили из TiO₂ нанопроволку способом автоматич. погружения с

применением пористого Al_2O_3 темплата. При этом строго контролировалась скорость погружения, чтобы получить гомог. инфильтрацию нанопроволоки в пористую мембрану из Al_2O_3 через очень кислый раствор. По данным TEM, SEM и XRD, нанопроволока из анатазной фазы TiO_2 хорошо инфильтруется в пористый темплат из Al_2O_3 . Измерили электростатич. емкость нанопроволоки и сравнили с вычисленной. Установлено, что эффективная толщина соответствует среднему радиусу нанопроволоки и данные эксперим. измерений хорошо согласуются с расчетными.

30.МБ.79. Первапорация смесей фторэтанол-вода и метакриловая кислота-вода через композитные мембраны на основе поливинилового спирта. Pervaporation of fluoroethanol/water and methacrylic acid/water mixtures through PVA composite membranes. *Ahn Sang-Man, Ha Jong-Wook, Kim Jeong-Hoon, Lee Yong-Taek, Lee Soo-Bok.* J. Membr. Sci.. 2005. 247, № 1–2, с. 51–57. Англ.

2,2,2-трифторэтилметакрилат (I) используют при получении функциональных водоотталкивающих красок и ПК для оптич. волокон; его получают этерификацией 2,2,2-трифторэтанола (II) и метакриловой кислоты (III) через процесс дегидратации с использованием азеотропной дистилляции. Чтобы найти замену опасному процессу дегидратации, композитные первапорац. мембраны (МБ) на основе ПВС получены с использованием глутарового альдегида на пористой полиэфирсульфоновой подложке, а их основные первапорац. характеристики определены для II - водн. и III - водн. смесей. Определено влияние степени шивки, исходной концентрации и рабочей температуры на первапорац. характеристики МБ. Композитные ПВС-МБ обнаружили дегидратац. способность, которая делает их пригодными для этерификации I.

30.МБ.80. Влияние кристаллизации и термообработки на полиакрилонитрильные мембраны для ультрафильтрации. Effect of crystallization and annealing on polyacrylonitrile membranes for ultrafiltration. *Jung Bumsuk, Yoon Joon Ki, Kim Bokyoung, Rhee Hee-Woo.* J. Membr. Sci.. 2005. 246, № 1, с. 67–76. Англ.

Полиакрилонитрильная мембрана (МБ) известна как одна из гидрофильных МБ для ультрафильтрации. Однако, МБ не пригодна для универсальных применений, потому что полукрист. МБ являются настолько хрупкими, что не могут быть повторно использованы, если МБ была высушена. Исследовано влияние крист. доменов в асимм. ПАН-МБ, когда МБ подвергали термообработке в гор. воде и когда МБ высушивали. Асимм. ПАН-МБ получали через процесс фазовой инверсии в вод. ванне и исследовали влияние добавки (поливинилпирролидона), добавляемой к литьевому раствору, на морфологию, производительность по воде и задерживание МБ. Когда МБ подвергали термообработке в гор. воде (80°), размер пор снижался и производительность по воде также снижалась. С использованием широкоугольного рентгеновского рассеивания исследовано влияние абсорбированной воды на ПАН-МБ. Абсорбция воды в ПАН-МБ имела место благодаря, гл. обр., аморф. фазе, такой как пластификатор, и индуцировала изменение крист. структуры. Размер кристаллита и степень кристалличности изменялись, когда МБ подвергали термообработке в гор. воде. Когда асимм. ПАН-МБ высушивают, влага также играет решающую роль в трансформировании крист. структуры. Кинетика сушки сильно влияет на размер кристаллита и на кристалличность.

30.МБ.81. Исследования гидрофобных и мультипористых органических-неорганических гибридных мембран из поливинилового спирта и диоксида кремния. *Wang Hua-lin, Shi Tie-jun, Zhai Lin-feng, Gaofenzi cailiao kexue yu gongcheng=Polym Mater. Sci. Technol..* 2005. 21, № 3, с. 250–252, 257. Библ. 9. Кит.; рез. англ.

Гидрофобные и мультипористые органич.-неорганич. гибридные мембраны (МБ) формируют золь-гель-способом из тетраэтоксисилана, метилэтоксисилана и поливинилового спирта. Сделан вывод об образовании органич.-неорганич. гибридных сетчатых структур, что приводит к увеличению

прочности и жесткости МБ. Присутствие ориентированных метильных групп на ПВ МБ и мультипор в массе МБ придает им гидрофобность и проницаемость для воздуха, что делает МБ перспективными для изготовления функциональных композитов (хорошо совместимые с окружающей средой упаковочные и мульчирующие пленки).

30.МБ.82. Первапорационное разделение смесей вода-уксусная кислота через гибридные мембраны типа поливинилового спирт-кремнийорганическое соединение. Pervaporation separation of water-acetic acid mixtures through poly(vinyl alcohol)-silicone based hybrid membranes. *Kariduraganavar Mahadevappa Y., Kulkarni Srikant S., Kittur Arjumand A.* J. Membr. Sci.. 2005. 246, № 1, с. 83–93. Англ.

Гибридные мембраны (МБ) получены с использованием ПВС и тетраэтилортосиликата (ТЭОС) через гидролиз с послед. конденсацией. Полученные МБ характеризовали с помощью ИК-спектроскопии с фурье-преобразованием, широкоугольной рентгеновской дифракции и ДСК. Заметное понижение в степени набухания наблюдали с увеличением ТЭОС-содержания в МБ; оно отнесено на счет образования водородных и ковалентных связей в МБ-матрице. Первапорац. производительность этих МБ в плане разделения смесей вода-уксусная кислота исследовано через концентрацию исходного раствора и содержание ТЭОС, использовавшегося в качестве сшивающего агента. МБ, содержащая массовое отношение ПВС:ТЭОС=1:2, дала наивысшую селективность разделения 1116 с производительностью $3,33 \times 10^2$ кг/м²×ч при 30° для содержания воды в исходном растворе 10%. Наблюдавшиеся величины производительности по воде близки к величинам общей производительности в исследованном интервале состава; это означает, что разработанные МБ высоко селективны к воде. Из температурной зависимости величин диффузии и пермеации вычислены кажущиеся параметры активации по Аррениусу. Вычисленные величины энергии активации для пермеации воды ниже, чем соответствующие величины для пермеации уксусной кислоты, что подтверждает, что МБ имеют повышенную эффективность разделения. Величины энергии активации, вычисленные для общей пермеации и пермеации воды, близки друг к другу для всех МБ. Величины энергии активации для пермеации воды и диффузии воды почти эквивалентны, подтверждая, что диффузия и пермеация вносят почти одинаковый вклад в процесс первапорации. Отриц. теплота величин сорбции для воды во всех МБ подтверждает моду сорбции по Лэнгмюру.

30.МБ.83. Состояние воды в полиамидокислотных мембранах и его влияние на разделение водно-спиртовых смесей. *Нетесова Г. А., Котов В. В., Белоглазов В. А.* Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 2, с. 273–283. Рус.

Одной из проблем в химической и пищевой технологии является необходимость эффективного разделения компонентов водных растворов, в частности, водно-спиртовых смесей. Современными методами, позволяющими проводить концентрирование и осушку спиртов, служат первапорация и мембранная дистилляция. Конкретные технологические задачи при этом решаются применением различных симметричных и асимметричных мембран с высокой гидрофобностью и пористой структурой. В последние годы получены и исследованы ионообменные сульфосодержащие мембраны на основе ароматических полиамидов. Выявлено, что они имеют структуру с жесткими транспортными каналами, подвижность молекул воды в которых на два порядка выше подвижности молекул этанола. Это свойство делает данные мембраны перспективными для применения в процессах разделения водно-спиртовых смесей.

30.МБ.84. Получение и изучение тонкопленочных кислородных мембран на основе $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_{3-\delta}$. *Муйдинов Р. Ю., Попова М. Н., Кауль А. Р.* Докл. РАН. 2005 402, № 2, с. 208–211. Рус.

Изучена возможность увеличения селективной проницаемости путем перехода от керамических к пленочным мембранам, полученным на субстратах с различной структурой пор и

газопроницаемостью. Впервые были получены смешанного проводника $Ba_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}$ (BSCF) и измерена их кислородная проницаемость. Показано, что на величину потока $J(O_2)$ через такие асимметрические мембраны влияют газоплотность пленки BSCF, газопроницаемость пористого субстрата и скорость реакции выхода кислорода из BSCF. Добиться более высоких потоков кислорода через пленочные мембраны BSCF по сравнению с керамическими можно при высоких температурах (выше 1123 К), используя более газопроницаемые пористые субстраты.

30.МБ.85. Наночистка неионных поверхностно-активных веществ: влияние отсечения по молекулярному весу и краевого угла на поведение потока. Nanofiltration of nonionic surfactants: effect of the molecular weight cutoff and contact angle on flux behavior. *Cornelis Geert, Boussu Katleen, Van der Bruggen Bart, Devreese Ilse, Vandecasteele Carlo.* Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 20, с. 7652–7658. Англ.

Поведение потока при наночистке (НФ) в процессе очистки сточных вод, содержащих неионные ПАВ (н-ПАВ), недостаточно выявлено. В данной работе приведено исследование процесса НФ как для синтетич. р-ров, так и для реальных сточных вод, содержащих н-ПАВ. При выборе мембраны (МБ) с относит. высоким отсечением по молек. весу (MWCO) поток уменьшается до более низкого уровня, или для большинства НФ-МБ. При выборе низкого MWCO поток или возрастает выше потока чистой воды (если выбрана относит. гидрофобная МБ), или уменьшается (если выбрана относит. гидрофильная МБ). НФ-поток регулируется тремя механизмами: сужением пор МБ при адсорбции (АД) мономеров, если MWCO сравнимо или больше размера мономера; повышенной смачиваемостью поверхности МБ при АД мономеров на гидрофобных группах, приводя к возрастанию потока выше потока чистой воды; пониженной смачиваемостью при АД мономеров на гидрофильных группах, приводя к снижению потока. Концентрация н-ПАВ, MWCO и гидрофильность МБ определяют, какой механизм является преобладающим.

30.МБ.86. Вибрационные первапорационные модули: влияние конструкции модуля на характеристики. Vibrating pervaporation modules: Effect of module design on performance. *Vane Leland M., Alvarez Franklin R.* J. Membr. Sci.. 2005. 255, № 1–2, с. 213–224. Англ.

Создан и испытан для выделения летучих орг. соединений (VOC_s) из водных растворов вибращ. мембранный модуль промышл. масштаба. Проведены эксперименты на 4 гидрофобных имитаторах растворов - (1,1,1-трихлорэтан, трихлорэтилен, тетрахлорэтилен и метил-трет.бутиловый эфир). Параметры удаления VOC_s для модуля сравниваются с опубликованными данными по 2 полномасштабным модулям близкой конструкции. Три модуля различались материалом и толщиной МБ, величинами мембранной поверхности, жидкостного потока и проницаемости по паре. Лучшие характеристики получены для наиболее тонкой МБ, с меньшими ограничениями по проницаемости и высокой скоростью перекрестного потока.

30.МБ.87. Мембранные процессы на службе качества. Les procedes membranaires au service de la qualite. *Nys Jacques, Rouillet Robert, Vivier Michel.* Liq. et cond.. 2004. 35, № 311, с. 16–19. Фр.

Представлена история применения МБ и их разработки, перечислены разделительные мембранные процессы и их промышленное применение. Рассмотрены 3 основных направления использования фильтрации - микрофильтрация (МФ), ультрафильтрация, нанофильтрация и обратный осмос. Приводятся примеры различных видов фильтрации. Представлена схема выбора метода фильтрации в зависимости от дисперсности систем.

30.МБ.88. Золотые нанотрубки мембраны: приготовление, характеристика и применение для энантиосепарации. Gold nanotube membranes: Preparation, characterization and application for enantioseparation. *Shao P., Ji*

тонкопленочные кислородные мембраны на основе *G., Chen P.* J. Membr. Sci.. 2005. 255, № 1–2, с. 1–11. Англ.

Золотые МБ из нанотрубок синтезированы неэлектрохим. темплатным методом нанесения покрытия. Полученные МБ охарактеризованы сканирующей электронной микроскопией, подтвердившей круглое поперечное сечение золотых нанотрубок переменного диам. (меншого - у концов, большего - посередине). Нанотрубки ориентированы не перпендикулярно к мембранной поверхности, на основе чего оценена их извилистость. Средний внутр. диам. нанотрубок определен методами газовой диффузии и пермеации воды. Приготовлены трубки внутр диам. 1–100 нм. На внутр. поверхности нанотрубки с помощью тиола иммобилизован человеческий сывороточный альбумин, действующий для разделения энантиомеров.

30.МБ.89. Основные технологии для приготовления пористых металлических мембран (металлокерамических). *Li Zhonghong, Qiu Nongxue, Yang Gongming, Fan Fangjuan.* Nongye gongcheng xuebao=Trans. Chin. Soc. Agr. Eng.. 2005. 21, № 1, с. 177–181. Библ. 42. Кит.; рез. англ.

Мембранная фильтрация относится к высоким технологиям разделения, успешно применяемым в различных областях промышленности и защиты окружающей среды. Дальнейшего изучения требуют различные материалы для изготовления МБ, в т. ч. органические и металлические. Органические МБ характеризуются низким протоком, высокой селективностью, хим. и термич. стабильностью. Керамич. МБ из-за особенностей их изготовления, имеют широкое распределение размеров пор, обуславливающее низкую разделит. способность. Металлич. МБ - новый вид МБ (впервые разработаны в США в 1990 г.), представляют собой композиты с порами 316 L, подложкой из нерж. стали и верхним слоем из керамич. TiO_2 . Подложка изготавливается методом порошковой металлургии, верхний слой - методом золь-гель.

30.МБ.90. Математическое моделирование мембранного дистиллятора. Mathematical modeling of membrane distiller with liquid gap. *Ugrozov Valeri V., Kataeva Ljubov I.* Desalination. 2004. 168, с. 347–353. Англ.

Одна из основных задач разделительного процесса - создание установок с минимальным расходом энергии. Рассмотрены 3 возможные схемы мембранного дистиллятора небольшой производительности, состоящего из МБ модуля, нагревателя и теплообменника. Выполнен анализ затрат энергии при получении чистой воды, выведены уравнения для оценки. Показано, что во всех случаях модулей мембранной дистилляции (МД) затраты энергии увеличиваются прямо пропорционально произведению объемной скорости и разности температур потоков при входе в МБ модуль. Выбрана одна из 3 схем МД с оптим. затратами энергии. Численное моделирование процесса МД для оптим. МБ дистиллятора показало, что производительность уменьшается с ростом поверхности МБ.

30.МБ.91. Очистка "серых" сточных вод фильтрацией через мембрану. Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration. *Ramona Guy, Green Michal, Semiat Raphael, Dosoretz Carlos.* Desalination. 2004. 170, № 3, с. 241–250. Англ.

Исследованы потенциал прямой мембранной фильтрации и ультрафильтрационных и нанофильтрационных мембран как методов обработки сточных вод с целью повторного использования. Отбор проб проводили в стоках общественных душевых спортивного центра. ХПК составляла 170,3 мг/л, а общее количество взвешенных частиц - 29,8 мг/л. Показано, что прямая фильтрация является наилучшим способом обработки сточных вод.

30.МБ.92. Электромембранные процессы при утилизации концентрированных солевых растворов. *Ильин В. И., Колесников В. А., Варакин С. О., Паршина Ю. И.* Экол. пр-ва. 2005. № 5, с. 49–52. Рус.

В РХТУ им. Д. И. Менделеева ведутся работы по усовершенствованию процессов мембранного электролиза солевых растворов. Результатом стало создание конструкции мембранного электролизера, предназначенного для утилизации концентрированных солевых растворов в целях получения растворов кислоты и щелочи, снижения соледержания и регулирования величины pH. Использование электромембранной технологии и оборудования для утилизации концентрированных солевых растворов поможет не только решить экологические проблемы, связанные с переработкой концентрированных жидких отходов, но и дополнительно получить химические продукты (кислоту, щелочь), которые можно использовать в производственном цикле.

30.МБ.93. Применение мембранных биореакторов. Membranbelebungsverfahren VRM. KA - Abwasser, Abfall. 2005. 52, № 1, с. 95–96. Нем.

Рекламная публикация, рекламируются системы для очистки СВ, в которых разделение иловой смеси производится посредством мембран (реакторы типа МБР). Сообщается о различных их преимуществах, например это возможность накапливать в реакторах большие количества биомассы, при этом происходит удержание видов с большим периодом генерации, в результате обеспечивается повышение глубины очистки и одновременно увеличивается скорость процесса. Очищенная СВ отличается низким выносом взвешенных веществ, при фильтровании происходит ее обеззараживание, это делает возможным возврат СВ в качестве технической воды и др. Представленные модели имеют ступень предварительной денитрификации, они снабжаются модулями мембранного фильтрования с площадью поверхности 540 м² и т. д.

30.МБ.94. Проблемы подбора насосов в системах мембранной фильтрации. Энергослужба предприятия. 2005, № 1, с. 46–47. Рус.

В настоящее время актуален вопрос об очистке сточных вод и их многократном использовании в процессах промышленного производства. Кроме того, нехватка пресной питьевой воды в целом ряде регионов заставляет заниматься поисками способов эффективного опреснения и очистки морской и соленой скважинной воды. Одним из таких, ныне широко применяемых способов является мембранная фильтрация. Процессы баромембранной фильтрации широко применяются во многих областях промышленности. В основном это такие отрасли, как химическая и нефтехимическая промышленность, очистка сточных вод, водоподготовка, опреснение морской воды. Для разных конечных целей используют разные варианты компоновки мембран и насосов. Так, для систем опреснения незагрязненной морской воды требуются одинарные схемы, где необходимый расход напор обеспечивает один насос. После прохождения мембраны пермеат покидает систему под атмосферным давлением, а концентрат остается под избыточным давлением за счет клапана. Мембрана не загрязняется из-за скорости потока перед ней. В подобных системах иногда бывает недостаточно расхода, обеспечиваемого питающим насосом, и в схему встраивают дополнительный агрегат с большой подачей. Такой насос называется "рециркуляционным". Обычно его использование оправдано в системах с более загрязненной водой для целей макро- и ультрафильтрации. Для больших объемов очень загрязненных жидкостей применяется схема "петля". Она состоит из последовательности "петель" - параллельных звеньев, следующих друг за другом. В каждой из параллелей установлен свой рециркуляционный насос. Обычно на одну насосную станцию приходится несколько (3–5) подобных "петель". А для очень больших объемов (водоподготовка при обработке слабосоленой скважинной воды) применяется схема "рождественской елки", состоящая из сочетания параллельных и последовательных модулей. Так как сейчас все больше внимания уделяется энергоэффективности установок обратного осмоса, разработаны способы использования потенциальной энергии

концентрата, остающегося под давлением после отделения пермеата. Современные системы рекуперации, основанные на принципах обмена давления, могут возвращать до 90% энергии концентрата. Излишек давления передается на турбину, которая снабжает энергией или отдельный питающий насос, или передает вращение на вал основного насоса. Особенно выгодно использование систем рекуперации при высоконапорном обратном осмосе (напр., при опреснении морской воды). Поскольку расчет таких систем очень сложен, производители поставляют так называемые контейнерные системы обратного осмоса, то есть установку в сборе. В подобных контейнерах уже смонтирован высоконапорный бустерный модуль с рекупационной турбиной (напр., GRUNDFOS типа ВМЕТ).

30.МБ.95. Технично-экономическая оценка мембранной технологии получения азота. Тертышный О. А., Тертышная Е. В. (Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепропетровск). Вопр. химии и хим. технол.. 2005, № 2, с. 198–200, 228, 234. Библ. 3. Рус.; рез. укр., англ.

Приведены результаты технико-экономич. анализа процесса получения технологич. азота с использованием мембранной технологии, которые подтвердили преимущества мембранных процессов по сравнению с традиционными методами производства азота на криогенных установках.

30.МБ.96. Композитные мембраны с интегральным тонким плотным поверхностным слоем: получение, структурные и первапорационные характеристики. Composite membranes with an integrated skin layer: preparation, structural characteristics and pervaporation performance. Shao P., Huang R. Y. M., Feng X., Anderson W., Pal R., Burns C. M. J. Membr. Sci.. 2005. 254, № 1–2, с. 1–11. Англ.

Композитные мембраны (МБ) с интегральным тонким плотным поверхн. слоем (ТППС) получены с использованием метода "сплавания", где ТППС композитной МБ получен предварительно, и полимерный раствор, полученный растворением полимера в смеси растворителей, содержащей 0,2% 1-метил-2-пирролидона (хороший растворитель для ТППС), был затем нанесен на ТППС [сульфированный полиэфирэфиркетон (СПЭЭК)], чтобы получить пористый субстрат мокрым фазоинверсионным процессом. Найдено, что СПЭЭК-ТППС частично растворим и полностью интегрирован в субстрат благодаря образованию материала СПЭЭК - субстрат (бинарная смесь) типа тройной смеси. Структурную стабильность композитной МБ анализировали через особенности тройного смешанного слоя, который, кроме того, действует как барьерный слой для пермеации. Повышенная первапорац. разделит. способность композитной МБ, продемонстрированная через дегидратацию этиленгликоля, приписана подавленному набуханию ТППС вследствие эффективного усиления субстрата. Стабильность МБ испытана также при продолжит. дегидратации этиленгликоля в периодич. режиме.

30.МБ.97. Мембраны для разделения газов на основе нанокompозитов типа поли-1-триметилсилил-1-пропина и диоксид кремния. Membranes for gas separation based on poly(1-trimethylsilyl-1-propyne) - silica nanocomposites. Gomes Dominique, Nunes Suzana P., Peinemann Klaus-Viktor. J. Membr. Sci.. 2005. 246, № 1, с. 13–25. Англ.

Нанокompозитные мембраны (МБ) на основе поли-1-триметилсилил-1-пропина (ПТМСП) - диоксид кремния синтезированы золь-гель сополимеризацией тетраэтоксисилана с различными органоалкоксисиланами в ТГФ-растворах ПТМСП. Исследовано и обсуждено влияние параметров синтеза (тип и концентрация органоалкоксисиланов, температура и продолжительность) на SiO₂-конверсию и газопермеац. характеристики нанокompозитных МБ типа ПТМСП-SiO₂. Нанокompозитные МБ охарактеризованы одинарной и смешанной пермеацией газов, ТГА и сканирующей электронной микроскопией. Проницаемость бутана и бутан-метан селективность возрастали одновременно, когда была получена высокая SiO₂-

конверсия, а размер частиц был в интервале 20-40 нм. Для диспергированием SiO₂-частиц с различными функциональными группами в литевом ПТМСП-растворе. Добавление наполнителей к полимерной матрице м. б. выполнено вплоть до повышенного содержания SiO₂ (30%-ный SiO₂-наполненный ПТМСП по сравнению с 6% для in situ генерированным SiO₂. В этом случае одновременное увеличение проницаемости бутана и бутан-метан селективности было значительно выше по сравнению с нанокомпозитными МБ, полученными по золь-гель процессу. Оказалось, что добавление наполнителей с 50%-ной поверхн. модификацией гидрофобными группами (Si-C₈H₁₇ и Si-C₁₆H₃₃) не приводит к значит. увеличению бутан-метан селективности и проницаемости бутана, когда сравнивали с гидрофильными поверхн. группами, вероятно из-за неблагоприятного полимер-наполнитель взаимодействия, приводящего к агломерации длинных n-алкильных групп на ПВ полимера. Получено увеличение проницаемости бутана в 6 раз по сравнению с ненаполненными полимерами.

30.МБ.98. Новые газоразделительные мембраны, содержащие ковалентно связанные фуллерены. Novel gas separation membranes containing covalently bonded fullerenes. Sterescu Dana M., Bolhuis-Versteeg Lydia, van der Vegt Nico F. A., Stamatiadis Dimitrios F., Wessling Matthias. *Macromol. Rapid Commun.* 2004. 25, № 19, с. 1674–1678. Библ. 12. Англ.

Представлено получение новых мембран, содержащих ковалентно связанные фуллерены C₆₀ и поли(2,6-диметил 1,4-фениленоксид), обладающие существенно более высоким газоразделением (до 80%) по сравнению с чистым полимером, без изменения селективности. Описан синтез материала (бромирование полимера, реакция с азидом Na и C₆₀), а также исследование свойств мембран различными методами.

30.МБ.99. Влияние состава внутренних коагулянтов на структуру и свойства ультрафильтрационных мембран из полого полиэфиримидного волокна. Wang Zhen-Gang, Shen Li-Qiang, Wang Jian-qin, Xu Zhi-Kang, Wang Shu-Yuan, Xu You-Yi. *Gongneng gaofenzi xuebao=J. Funct. Polym.* 2005. 18, № 2, с. 190–193, 5 ил.. Библ. 6. Кит.; рез. англ.

Исследовали структуру и свойства полиэфиримидного полого волокна, полученного с использованием N,N-диметилацетамида в качестве растворителя и этанола в качестве коагулянта. Показано, что с повышением содержания коагулянта снижается образование пальцевидных полостей и внутренняя поверхность мембраны. Водопроницаемость мембран при этом снижается, удержание воды остается постоянным.

30.МБ.100. Мембраны из молекулярных сит на основе углерода для разделения газов, приготовленные методом плазмохимического парофазного осаждения с использованием индуктивно-связанной плазмы. Carbon-based molecular sieve membranes for gas separation by inductively-coupled-plasma chemical vapor deposition. Wang Liang-Jun, Hong Franklin Chau-Nan. *Microporous and Mesoporous Mater.* 2005. 77, № 2–3, с. 167–174. Англ.

Разработан новый метод изготовления мембран для разделения газовых смесей. Пленки из молекулярных сит на основе углерода осаждали на дисках из пористого Al₂O₃ из удаленной индуктивно-связанной плазмы разряда в парах гексаметилдисилоксана (I). Далее пленки подвергали бомбардировке ионами I с высокой энергией и пиролизу при температуре 823 К. Селективность разделения смеси H₂/N₂ составляет величину 30–45 при проницаемости мембраны ~2×10⁻⁶ моль/(м²×с×Па) при температуре 423 К. Селективность разделения смеси O₂/N₂ равна 3,8 при проницаемости мембраны для O₂ ~2×10⁻⁷ моль/(м²×с×Па) при 298 К..

30.МБ.101. Влияние отношения Si/Al на проницаемость MFI-мембран. Influence of the Si/Al-ratio on the permeation properties of MFI-membranes. Noack M., Kolsch P., Seefeld V., Toussaint P., Georgi G., Caro J.-J. *Microporous and Mesoporous Mater.* 2005. 79, № 1–3, с. 329–337. Англ.

Наиболее часто изготавливаемыми мембранами (МБ)

сравнения нанокомпозитные МБ на основе ПТМСП получены являются силикалитные MFI-МБ, свободные от Al. Сообщается, что для этого типа МБ характерны высокие значения коэф-та разделения по смесям технич. веществ: изомеры ксилола, водород/алканы или n/изо-углеводороды. Другие молек. ситовые МБ, типа LTA, ERI, FAU, обладают низким разделением, за исключением смеси вода - растворитель, которое основано на гидрофильно-гидрофобных взаимодействиях скорее, чем на молек. ситовой эксклюзии. Внедрение Al в кристаллич. решетку МБ типа MFI возможно в широком диапазоне отношений Si/Al от 30, для типа ZSM-5, до ∞, для МБ изоморфного силикалитного типа. Возрастание содержания Al в кристаллах MFI-МБ изменяет гидрофильно-гидрофобные свойства проницания, устойчивость против кислот, концентрационный межкристаллич. дефект пор и каталитич. активность создаваемых центров Бренстеда. Проведено систематич. изменение отношения Si/Al. МБ охарактеризованы с помощью проникающей способности по одному из газов, порозиметрич. измерениями и степенью проницания по газовым смесям. С увеличением содержания Al в МБ, т.е. с уменьшением отношения Si/Al, проникновение воды и селективность по воде увеличиваются, но одновременно происходит увеличение конц-ии межкристаллич. дефектов пор. В результате взаимодействия этих эффектов селективность по воде проходит через максимум в зависимости от отношения Si/Al. С помощью методов EDX и ICP/OES было исследовано влияние отношения Si/Al на Al-содержащие носители и содержимое шаблона синтетич. геля в обоих слоях МБ и в свободных седиментах кристаллов. Показано, что все Al-содержащие МБ (ZSM-5) образованы из массы силикалита, свободного от Al путем р-рения Al, в особенности из γ-формы, и в меньшей степени из α-формы.

30.МБ.102. Компьютерное моделирование динамических свойств жидкой среды из тейлоровских пузырьков в трубчатых мембранах. Оценка возможностей модели и ее применение к системам с ламинарным потоком. Computational fluid dynamics simulations of Taylor bubbles in tubular membranes. Model validation and application to laminar flow systems. Ndinisa N. V., Wiley D. E., Fletcher D. F.. *Chem. Eng. Res. and Des.* 2005. 83, № 1, с. 40–49. Англ.

Было показано, что использование двухфазного потока газ-жидкость улучшает характеристики некоторых мембранных процессов, благодаря уменьшению концентрационной поляризации и возможных загрязнений. Однако, понимание механизма протекающих процессов ограничено. Применяли компьютерное моделирование для описания динамических свойств жидкой среды из тейлоровских пузырьков с использованием различных численных методов. Получено хорошее соответствие эксперим. и расчетных данных для модели Эйлера с двумя жидкими средами, в которой использовали решение для размера адаптивного пузырька, чтобы избежать необходимости численного перемешивания. Эту модель затем использовали для изучения влияния жидкостной экстракции у стенки мембраны на напряжение стеночного сдвига (НСС), поскольку происходит усиление НСС при прохождении пузырька. Показано, что этот эффект пренебрежимо мал для обычных рабочих условий в мембранных системах. Кроме того, показано, что, для рассмотренных систем НСС хорошо описывается профилем "верхушки шляпы".

30.МБ.103. Изготовление сетки из диоксида кремния с нанокapиллярами для переноса высокозаряженных ионов. Fabrication of silicon dioxide nanocapillary arrays for guiding highly charged ions. Rajendra Kumar R. T., Badel X., Vikor G., Linnros J., Schuch R.. *Nanotechnology.* 2005. 16, № 9, с. 1697–1700. Англ.

Изготовлены проницаемые мембраны из диоксида кремния с нанокapиллярами для управления высокозаряженными ионами в наномасштабе. Метод производства включает: образование пор наноразмеров литографическим методом с

использованием электрохимич. травления; термич. окисление; объемное травление кремния; травление оксида с использованием кремниевой микротехнологии. Параметры электрохимич. травления выбраны таким образом, чтобы образовать в сетке прямые поры диаметром около 250 нм, длиной 30 мкм и расстоянием между порами 1 и 1.4 мкм. Задняя сторона пор сетки протравлена в гидрооксиде калия и гидрооксиде тетраметиламмония. Окончательно, внутренняя поверхность пор окислена до образования капиллярной сетки из SiO₂. Данный метод позволит изготавливать сетки с капиллярами меньших размеров путем увеличения толщины оксида при термич. росте.

30.МБ.104. Получение эмульсий М/В с использованием мембран из пористого стекла Shirasu, керамических мембран из α -оксида алюминия, микрофлюидизатора и кремниевой микроканальной пластины - сравнительное исследование. Production of O/W emulsion using SPG membranes, ceramic α -aluminium oxide membranes, microfluidizer and a silicon microchannel plate: A comparative study. *Vladislavjevic G. T., Lambrich U., Nakajima M., Schubert H.* Colloids and Surfaces. A. 2004. 232, № 2–3, с. 199–207. Англ.

Эмульсии типа М/В из рапсового масла в качестве дисперсной фазы и 2%-го раствора ПАВ (Tween-80) в деминерализованной воде были приготовлены с использованием различных методов эмульгирования (Эм), таких как Эм на мембране из пористого стекла Shirasu (SPG) и из α -Al₂O₃, микрофлюидизация и микроканальное Эм. Рассмотрено влияние условий Эм и строения Мб на свойства эмульсий. При одних и тех же условиях и одинаковом размере пор Мб из SPG дает более однородные по размеру капли, чем Мб из α -Al₂O₃. Метод микрофлюидизации позволяет получать эмульсии с самым малым размером капель (0,085-0,3 мкм), что не достигается при использовании мембранных методов.

30.МБ.105. Полимерные нанокомпозиты: барьерные свойства и применение мембран. Polymeric nanocomposites: barrier properties and membrane applications. *Aminabhavi T. M., Mallikarjuna N. N.* Polym. News. 2004. 29, № 6, с. 193–195. Библ. 1. Англ.

Описаны свойства мембран и области их использования - упаковка пищевых продуктов, изготовление прозрачных пленок, ультрафильтрация, нанокомпозит. материалы и перспективы.

30.МБ.106. Перспективы применения мембранных методов ультрафильтрации и нанофильтрации на крупных водопроводных станциях. Проекты развития инфраструктуры города: Сборник научных трудов. Вып. 4. Комплексные программы и инженерные решения в области экологии городской среды. *Андрианов А. П., Первов А. Г.* М.: Прима-Пресс-М. 2004, с. 101–109. Рус.; рез. англ.

Предложенные технологии позволяют значительно улучшить качество воды при применении их на действующих станциях или проектировании новых сооружений, сократить потребление реагентов, повысить барьерную роль системы очистки воды. Основными направлениями проводимых исследований являются: изучение работы ультрафильтрационных мембран на поверхностных водах различного состава и генезиса; определение параметров проведения процесса предварительной коагуляции; анализ эффективности и экономической целесообразности интеграции ультрафильтрационной установки в различные звенья существующей технологической цепочки; разработка рекомендаций по выбору типа мембран для различных случаев очистки.

30.МБ.107. Комплексные технологии очистки нефтесодержащих сточных вод. 4 Международный конгресс по управлению отходами (ВэйстТэж-2005), Москва, 31 мая-3 июня, 2005: Сборник докладов. *Поворов А. А., Павлова В. Ф., Ерохина Л. В., Шиненкова Н. А.* М.: СИБИКО Инт.. 2005, с. 337–338. Рус.

В ЗАО "Мембраны" разработаны конструкции фильтров и

фильтрующих элементов, в том числе, на основе модифицированного эластичного пенополиуретана - "Уремикс-913". Применение фильтра с этой загрузкой позволяет при исходной концентрации загрязнений в стоках до 150-200 мг/л достигать после их очистки остаточной концентрации не более 3 мг/л. Доочистку до нормативных показателей слива в водоем рыбохозяйственного назначения возможно проводить с использованием известных методов, которые предусматриваются в комплексных системах разработки ЗАО "Мембраны".

30.МБ.108. Pervaporation properties of polyphenylene oxide membranes modified by fullerene. 7 Biennial International Workshop in Russia "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFA'2005), St. Petersburg, June 27-July 1, 2005: Book of Abstracts. *Polotskaya G. A., Penkova A. V., Kuznetsov V. M., Toikka A. M.* St. Petersburg. Ioffe Phys.-Techn. Inst.. 2005, с. 189. Англ.

Диффузионное испарение (ДИ), как процесс мембранного (МБ) разделения, имеет широкую область применения для разделения органических или водно-органических жидких смесей, компоненты которых имеют близкие т-ры кипения или образуют азеотропы, трудно разделяемые дистилляцией или другими методами. При ДИ исходная жидкая смесь адсорбируется на ПВ МБ, диффундирует через МБ, после чего десорбируется с противоположной стороны МБ в виде пара при низком давлении, создаваемом с помощью вакуумирования. Эффективность полимерной МБ зависит от ее структуры и специфических свойств. Фуллерен (Ф) может улучшить свойства полимерного материала МБ. Исследовано влияние внедрения Ф C₆₀ в полифениленоксид (ПФО) на транспортные характеристики МБ при ДИ двух-, трех- и четырехкомпонентных смесей, включающих реакционные смеси синтеза этилацетата (ЭАЦ) путем этерификации. Крайне важна проблема сдвига реакционного равновесия и выделения ЭАЦ. Были приготовлены композиции из Ф - ПФО (C₆₀-ПФО), содержащие до 2% (вес) C₆₀, путем смешивания р-ров в толуоле ПФО и Ф в необходимых количествах. Получены гомогенные МБ толщиной ~60 мкм в результате испарения толуола из р-ра C₆₀-ПФО на целлофановой ПВ при 40°C. МБ, содержащие Ф, исследованы при ДИ смесей, включающих этанол, уксусную кислоту, ЭАЦ и воду в различных комбинациях. Показано, что продукт, получающийся в результате проникновения через МБ, обогащен ЭАЦ по сравнению с исходной равновесной смесью. Уксусная кислота, главным образом, не проходит через МБ на основе ПФО. Высокая селективность в отношении ЭАЦ установлена при ДИ двухкомпонентных смесей ЭАЦ/вода. Например, величина α_{EA} равна 1116 для 10% водного р-ра ЭАЦ. Более сложно протекает процесс ДИ двухкомпонентной смеси этанол/вода. В этом случае продукт проникновения обогащен водой. Добавление C₆₀ к МБ из ПФО приводит к увеличению как проницаемости, так и селективности относительно воды. Эти результаты м. б. связаны с сорбционными свойствами и поверхностным натяжением МБ.

30.МБ.109. Electrochemical properties of C₆₀ doped polyaniline membrane. 7 Biennial International Workshop in Russia "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFA'2005), St. Petersburg, June 27-July 1, 2005: Book of Abstracts. *Kocherginsky N. M., Wang Z., Syckmanov D. A.* St. Petersburg. Ioffe Phys.-Techn. Inst.. 2005, с. 177. Англ.

Использование C₆₀ в качестве акцептора электронов привлекает широкое внимание, поскольку комплексы с C₆₀, переносящие заряд, обладают такими замечательными свойствами как сверхпроводимость, ферромагнетизм, фотопроводимость и др. Исследована добавка полианилина C₆₀ (ПА-C₆₀) в связи с высоким сродством к электронам, приводящая к возникновению полимерных полупроводников р-типа. Внимание сосредоточено на электрохимич. св-вах мембран (МБ) с добавкой ПА-C₆₀ в водных электролитах, которые тесно связаны с уровнем ПА-C₆₀. МБ химич. синтезированы с использованием сублимационной сушки из

смеси на основе р-ра эмералдина в N-метил-2-пирролидоне и р-ра ПА-С₆₀ в толуоле при конц-иях ПА-С₆₀: 0,2, 0,5, 1, 2, 3% (мольных, анилина). Св-ва МБ оценивали с помощью спектроскопии электрохимического импеданса с FTIR, FESEM, EPR, XPS. Представлены и исследованы результаты объединенного переноса электрон/ион из растворенного восстанавливающего агента к окислителю через свободно установленную МБ ПА-С₆₀. Спектр XPS свидетельствует об образовании положительно заряженного азота (N⁺) на атомах азота амина при использовании добавки ПА-С₆₀. Наличие большей конц-ии поляронов в образце пленки с ПА-С₆₀, по сравнению с пленкой ЕВ, подтверждается данными EPR-измерений. Поляризонный потенциал оказывает слабое влияние на кривые импеданса в координатах Найквиста. Пропорциональное увеличение количества N⁺ с общим содержанием азота достигает максимума при концентрации ПА-С₆₀ 0,5% (мольных). Соответствующий максимум удельной проводимости МБ ПА-С₆₀, рассчитанный из импеданса в р-ре 0,1 М КСl, достигает $2,0 \times 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$. При 3% ПА-С₆₀ проводимость через пробу составляет почти $1,8 \times 10^{-8} \text{ ом}^{-1} \times \text{см}^{-1}$. Дальнейшая обработка с помощью HCl первоначальной МБ ПА-С₆₀ может привести к большей конц-ии N⁺. Увеличение конц-ии ПА-С₆₀ выше оптимальной может привести к образованию кристаллов ПА-С₆₀, разрушению структуры полимера и увеличению расстояний между цепями. В этом случае перенос заряда может быть затруднен. Показано, что возможно протекание новой редокс-реакции внутри МБ между FeCl₃+HCl, в качестве окисляющего агента в одном из р-ров, и аскорбиновой к-той, в качестве восстанавливающего агента в другом р-ре, разделенных МБ с добавкой ПА-С₆₀. Максимум скорости реакции по МБ достигает $3 \times 10^{-8} \text{ моль} \times \text{с}^{-1} \times \text{см}^{-2}$ при 0,5% ПА-С₆₀.

30.МБ.110. Исследование сорбционно-осадительных и мембранных методов для очистки жидких радиоактивных отходов. Физико-химические основы новейших технологий XXI века: Международная конференция, посвященная 60-летию создания Института физической химии Российской академии наук, Москва, 30 мая-4 июня, 2005: Сборник тезисов. Т. 1. Ч. 2. *Гелис В. М., Милотин В. В., Козлитин Е. А.* М.: Граница. 2005, с. 28. Рус.

Целью настоящей работы являлось создание современных технологий очистки жидких радиоактивных отходов различного уровня активности. Были исследованы методы селективной сорбции долгоживущих радионуклидов на селективных сорбентах, осадках различного состава и ионообменных смолах. Для разделения жидкой и твердой фаз использован метод микрофльтрации через металлокерамические мембраны "Трумем". В результате исследований разработан способ очистки жидких радиоактивных отходов от радионуклидов цезия, на два порядка превышающий эффективность ранее использовавшегося сорбционного метода на ферроцианидных сорбентах. Предложена комплексная схема очистки отходов химико-металлургического производства ПО "Маяк", содержащих альфа-активные радионуклиды.

30.МБ.111. Особенности радиационно-химического модифицирования пористых полимерных материалов. Физико-химические основы новейших технологий XXI века: Международная конференция, посвященная 60-летию создания Института физической химии Российской академии наук, Москва, 30 мая-4 июня, 2005: Сборник тезисов. Т. 1. Ч. 2. *Баннова Е. А., Китаева Н. К., Жданов Г. С.* М.: Граница. 2005, с. 97. Рус.

На примере трековой мембраны исследованы закономерности радиационной прививочной полимеризации метакриловой кислоты из ее водных растворов, определены оптимальные параметры и условия модифицирования, изучены свойства модифицированной мембраны.

30.МБ.112. Электропроводящие свойства мембраны МА-41 в водных растворах NaOH+Gly. Физико-химические основы новейших технологий XXI века: Международная

конференция, посвященная 60-летию создания Института физической химии Российской академии наук, Москва, 30 мая-4 июня, 2005: Сборник тезисов. Т. 1. Ч. 2. *Дьячкова Н. Г., Загорных Л. А., Бобрешова О. В.* М.: Граница. 2005, с. 215. Рус.

Использование высокоэффективных, экологически безопасных электрохимических методов разделения и очистки аминокислот, в частности электродиализа, обуславливает необходимость исследования электропроводящих свойств ионообменных мембран в аминокислотных формах. В данной работе исследовалась электропроводность анионообменной мембраны МА-41, проведенной в равновесие с водными растворами 10^3 М NaOH+Gly , контактным методом полосы с подвижным электродом. Концентрация аминокислоты в растворе составляла от 10^3 до 0,1 моль/л. Ионный состав равновесных растворов рассчитывался по данным потенциометрии. Экспериментально была получена зависимость электропроводности фазы мембраны МА-41 от количества аминокислоты в растворе NaOH+Gly.

30.МБ.113. Preparation and characterization of polysulfone anion-exchange membranes. 55 Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry "Electrochemistry: From Nanostructures to Power Plants", Thessaloniki, 19-24 Sept., 2004. *Vico S., Buess-Herman C.* Lausanne. Int. Soc. Electrochem.. 2004, с. 306. Англ.

Отмечается, что мембраны находят широкое применение при очистке СВ (преимущественно промышленных), одной из проблем является то, что мембраны как правило отличаются низкой термической устойчивостью, низкой стойкостью по отношению к агрессивным средам и невысокой селективностью. Сообщается об исследованиях, в которых было установлено, что мембраны из полисульфона обладают весьма высокой термической, механической и химической стабильностью. Также установлено, что селективность во многом определяется степенью гидрофобности материала мембраны и может регулироваться путем соотношения компонентов, которые применяются при изготовлении исходных материалов.

30.МБ.114. Новые свинецселективные электроды на основе сложнооксидных материалов. Проблемы теоретической и экспериментальной химии: Тезисы докладов 15 Российской студенческой научной конференции, посвященной 85-летию Уральского государственного университета им. А. М. Горького, Екатеринбург, 19-22 апр., 2005. *Колотыгин В. А., Устюгова И. С., Соколова Е. В., Подкорытов А. Л.* (Россия, Уральский государственный университет, Екатеринбург). Екатеринбург. Изд-во УрГУ. 2005, с. 49–50. Рус.

Для создания ионоселективных электродов исследовали оксиды $\text{Sr}_{2,75}\text{Pb}_{0,25}\text{La}(\text{VO}_4)_3$, $\text{Ba}_{3,8}\text{Pb}_{0,2}\text{Nb}_2\text{O}_9$, $\text{Ba}_{3,5}\text{Pb}_{0,5}\text{Nb}_2\text{O}_9$, $\text{Pb}_3\text{NiNb}_2\text{O}_9$, $\text{Pb}_2\text{Nb}_2\text{O}_7$. Твердофазный синтез данных веществ проведен по стандартной керамич. технологии. Образцы аттестованы методом РФА (ДРОН-2.0, Cu K α -излучение), что позволило выявить однофазные твердые растворы. При электрохимич. аттестации изучены основные характеристики электродов: рабочая область рН, область линейности и крутизна электродной функции, время отклика. При сравнении полученных характеристик электродов следует вывод о предпочтительности мембран на основе составов $\text{Ba}_{3,5}\text{Pb}_{0,5}\text{Nb}_2\text{O}_9$ и $\text{Pb}_3\text{NiNb}_2\text{O}_9$. В частности, время отклика таких ионоселективных электродов не превышает 6 мин, интервал линейности для них составляет 10^{-4} - 10^{-1} моль/л при рН 3-3,5. Крутизна электродной функции с достаточно высокой воспроизводимостью близка к теоретич. значению для двухзарядных ионов. Интерес вызывает анионный характер электродной функции.

30.МБ.115. Изучение возможности создания ионоселективных электродов на основе полимерно-солевых мембран. Проблемы теоретической и экспериментальной химии: Тезисы докладов 15 Российской студенческой научной

конференции, посвященной 85-летию Уральского государственного университета им. А. М. Горького, Екатеринбург, 19-22 апр., 2005. *Герасимова Е. Л., Сеников М. Ю., Остроушко А. А.* Екатеринбург. Изд-во УрГУ. 2005, с. 224–225. Рус.

Изучена возможность использования полимерно-солевых ПЛ, в качестве МБ для твердотельных ионселективных электродов. Были изготовлены электроды из стеклянных трубок, с подведенным контактом из легкоплавкого припоя и проволоочного токоподвода. Полимерно-солевые композиции наносились в виде гелей или пленок, которые после термической обработки и УФ-облучения переходили в нерастворимое состояние. Солевой компонент иммобилизован в полимерно-солевых комплексах и не переходит в раствор даже в горячей воде. Полученные молибдатные электроды чувствительны к изменению концентрации молибдат-ионов в растворе при значении pH=5–6.

30.МБ.116. Механизмы ионного и молекулярного транспорта в ионпроводящих мембранных материалах для топливной энергетики (по данным ЯМР). Структура и динамика молекулярных систем: Сборник тезисов докладов и сообщений на 12 Всероссийской конференции "Яльчик - 2005", Яльчик, 27 июня-2 июля, 2005. *Волков В. И.* Йошкар-Ола. Изд-во МарГТУ и др., 2005, с. 43. Рус.

Представлены результаты исследования состояния, подвижности и самодиффузии воды, метанола и ионов лития, выполненные методами ЯМР релаксации, ЯМР с импульсным градиентом магнитного поля и ЯМР высокого разрешения. Исследованы сульфосодержащие МБ и мембранные материалы на основе перфторполимеров, стиролдвинилбензола, ароматических полиамидов и полиимидов. Выявлена взаимосвязь между факторами, управляющими электро-массопереносом: химической природой полимерной матрицы и структурой транспортных каналов; строением гидратных оболочек подвижных катионов и сетки водородных связей; трансляционной подвижностью диффузанта в различных пространственных масштабах.

30.МБ.117. Особенности проницаемости двухкомпонентных и трехкомпонентных липидных мембран. Структура и динамика молекулярных систем: Сборник тезисов докладов и сообщений на 12 Всероссийской конференции "Яльчик - 2005", Яльчик, 27 июня-2 июля, 2005. *Дестяникова И. Ю., Рудакова М. А., Филиппов А. В.* Йошкар-Ола. Изд-во МарГТУ и др., 2005, с. 66. Рус.

Исследованы смеси липидов, состоящие из одной, двух и трех ("rafts") компонент. Коэффициенты латеральной диффузии липидов, диффузии воды вдоль и поперек бислоя определялась методом ЯМР с импульсным градиентом магнитного поля в температурном диапазоне, содержащем жидкокристаллические одно- и двухфазную (упорядоченную и неупорядоченную) области фазовой диаграммы. Оценены проницаемости бислоев. Показано, что между проницаемостью и фазовым состоянием жидкокристаллического бислоя наблюдается корреляция.

30.МБ.118. Модель переноса кислорода через полимерную мембрану. Структура и динамика молекулярных систем: Сборник тезисов докладов и сообщений на 12 Всероссийской конференции "Яльчик - 2005", Яльчик, 27 июня-2 июля, 2005. *Рыков С. В., Иванов А. В., Скаковский Е. Д., Тычинская Л. Ю., Павлинова И. И.* Йошкар-Ола. Изд-во МарГТУ и др., 2005, с. 180. Рус.

Методами ЯМР - спектроскопии ^1H , ^{13}C , ^{29}Si , ^2D , с использованием методик 1Д и 2Д спектроскопии высокого разрешения в растворах и твердом теле, ЯМР широких линий и релаксационных измерений исследована возможность изучения структуры, конформации, молекулярной динамики и степени упорядоченности низкомолекулярных и высокомолекулярных кремнийорганических соединений. На примере поливинилтриметилсилаана, не содержащего атомов кремния в основной цепи, разработана и реализована оптимальная последовательность пробподготовки и

радиоспектроскопических экспериментов. Оценена доля изотактических диад, отнесены линии в спектрах, оценены характерные частоты колебаний сегментов полимерной цепи. Показано, что ~10% метильных групп имеют короткие времена релаксации. Предложена модель "избирательной диффузии" кислорода через кремнийорганические пленки.

30.МБ.119. Мембрана из неорганического материала и способ ее применения. Структура и динамика молекулярных систем: Сборник тезисов докладов и сообщений на 12 Всероссийской конференции "Яльчик - 2005", Яльчик, 27 июня-2 июля, 2005. *Лопатюк Ю. Ю., Комягин Е. А., Мышин В. Н., Терпугов Г. В., Кабанов О. В., Кацерева О. В.* Йошкар-Ола. Изд-во МарГТУ и др., 2005, с. 263. Рус.

Отмечено, что перспективным направлением развития мембранных процессов являются процессы разделения растворов методом обратного осмоса с наложением электрического поля. В этом случае можно добиться значительной экономии энергии за счет снижения рабочего давления, скорости движения рабочего раствора и регулируемых значений коэффициентов разделения.

30.МБ.120. Разделение газов и низших углеводородов новыми композиционными мембранами на основе ПТМСР. Научная сессия МИФИ - 2005, Москва, 24-28 янв., 2005: Сборник научных трудов. Т. 9. Молекулярно-селективные и нелинейные явления и процессы. Перспективные наукоемкие технологии. Физика. химия и компьютерная разработка материалов. Физическая химия растворов. Ультрадисперсные (нано-) материалы. М. Изд-во МИФИ. 2005, с. 40–41. Рус.

В качестве объекта исследований выбрана композиционная мембрана на ультрафильтрационной подложке из полиакрилонитрила (ПАН) с нанесенным селективным слоем из 7% раствора поли(1-триметилсилпропина) (ПТМСР) в толуоле. Изучены разделительные свойства мембран на основе ПТМСР для простых газов и низших углеводородов: водорода, кислорода, азота, диоксида углерода, метана, этана, пропана, бутана, изобутана, пропилена, α -бутилена, изобутилена, аллена, метилацетилена. Показано, что полученная мембрана обладает высокими идеальными селективностями по всем изученным низшим углеводородам относительно метана.

30.МБ.121Д. Глубокая очистка газов методом мембранного газоразделения. докт. техн. наук. *Дроздов П. Н.* Нижегород. гос. техн. ун-т, Нижний Новгород, 2005, 39 с., ил. Библ. 62. Рус.

Патенты

30.МБ.122П. Усовершенствованная мембрана спирального типа. Spiral wound element with improved feed space: Пат. 6881336 США, МПК $^7\text{C} 02\text{F} 1/44$, В 01 D 63/00. Filmtec Corp., Johnson Jon E.. №10/138775; Заявл. 02.05.2002; Опубл. 19.04.2005; НПК 210/321.76. Англ.

Рассматриваются различные типы мембран и способы их изготовления, указывается, что при обессоливании воды и подготовке воды особо чистой целесообразным является применение мембран для нанофильтрации и обратного осмоса, к недостаткам этих методов относится необходимость работы при высоких трансмембранных давлениях. Предлагается конструкция мембранного модуля спирального типа, позволяющая производить фильтрование при пониженных давлениях, при его изготовлении вначале формируется пакет из полос, в котором чередуются мембраны, распределительная сетка (РС) и сетка сепаратора, затем они наворачиваются на перфорированную трубу. Исходная вода подается в торец рулона (труба с этой стороны заглушена), концентрат отводится со стороны противоположного торца, а фильтрат из незаглушенного конца трубы. Эффект снижения необходимого давления

обеспечивается за счет использования в РС тонких нитей относительно друг к другу под определенным углом, обеспечивающим минимальное гидравлическое сопротивление при протекании воды.

30.МБ.123П. Способ очистки газовых смесей, содержащих гексафторид серы. Verfahren zur Reinigung von Schwefelhexafluorid-Gasgemischen: Заявка 10344738 Германия, МПК⁷ В 01 D 53/38, В 01 D 53/74. Solvay Fluor und Derivate GmbH. *Belt Heinz-Joachim, Schwarze Thomas.* №10344738.5; Заявл. 26.09.2003; Опубл. 14.04.2005. Нем.

Предложен способ очистки газовых смесей, содержащих неядовитый инертный газ SF₆, используемый в качестве защитного газа в высоковольтных переключателях, для гашения электрич. дуги и т. д., от токсичных примесей, в частности, от S₂O₁₀. Способ отличается тем, что наряду с комбинацией методов промывки, адсорбции и мембранного разделения газ дополнительно подвергается фотолитич. обработке, способствующей селективному разложению токсичных примесей. Фотолитич. обработка заключается в воздействии на газ ультрафиолетового света с длиной волны 130-255 нм, например, монохроматического света с длиной волны 253,7 нм, генерируемого ультрафиолетовыми лампами, или полихроматич. света с длиной волны 130-255 нм, генерируемого лазером.

30.МБ.124П. Очистка раствора металлата аммония. Reinigung von Ammoniummetallat-Lösungen: Заявка 10341727 Германия, МПК⁷ С 01 G 1/00, С 01 G 39/00. Н.С. Staarck GmbH. *Stoller Viktor, Olbrich Armin, Meese-Marktscheffel Juliane, Erb Michael, Gille Gerhard.* №10341727.3; Заявл. 10.09.2003; Опубл. 28.04.2005. Нем.

Предлагается способ очистки растворов металлата аммония, используемого для получения соответствующих металлов или их оксидов, в частности, раствора молибдатов аммония от примесей соединения щелочных металлов, особенно калия. Способ заключается в мембранной фильтрации растворов, причем раствор, прошедший через мембранный фильтр на основе полупроницаемых полимеров или керамики, подвергается действию катионообменных веществ, напр., цеолитов и объединяется с материалом, не прошедшим через фильтр. Приведена схема установки для реализации предлагаемого способа и описан механизм ее работы.

30.МБ.125П. Газоразделительные мембраны на основе блоксополимеров типа сложный полиэфир - простой полиэфир. Block polyester-ether gas separation membranes: Пат. 6860920 США, МПК⁷ В 01 D 53/22, В 01 D 71/48. L'Air Liquide-SA a l'Etude et l'Exploitation des Procédés George Claude, Simmons John W.. №10/388970; Заявл. 13.03.2003; Опубл. 01.03.2005; НПК 95/49. Англ.

Процесс выделения газ. компонентов из газовой смеси включает: а) получение проницаемой мембраны (МБ), содержащей блок-СПЛ, имеющий повторяющиеся звенья полимерного мягкого сегмента формулы [O(PE)OCOR^aCO] и полимерного жесткого сегмента формулы [OR^dOCOR^bCO], где R^a - алифатич. или ароматич. радикал; (PE) - ПЭФ-сегмент; R^d - линейный или разветвленный алифатич. радикал; б) контактирование первой стороны МБ с питающей газовой смесью; в) побуждение компонента питающей газовой смеси селективно проникать через проницаемую МБ, благодаря чему на второй стороне МБ образуется композиция пермеата, которая имеет большую концентрацию компонента, чем концентрация в питающей смеси. Процесс включает, кроме того, стадию удаления от второй стороны МБ композиции пермеата, а также стадию отведения от первой стороны МБ газовой композиции, обедненной компонентом. R^b является ≥1 алифатич. или ароматич. радикалом, содержащим 2-18 С. ПЭФ-сегмент имеет молек. вес 600-8000. R^d является линейным или разветвленным алифатич. радикалом, содержащим 2-18 С. Молек. вес полимерного жесткого сегмента находится в интервале 200-3000. Молек. вес материала МБ составляет 23000-400000. Отношение кислород-углерод в ПЭФ-сегменте 0,2-0,5. Газовая смесь содержит

(0,25-1,0 мм), расположенных полярный газ (CO₂, H₂S, SO₂, вода и их смеси). Полярный газ выделяют при 0-120°. Проницаемая МБ имеет толщину 0,00005-0,3 мм.

30.МБ.126П. Разделение газов с использованием мембран, сформированных из смесей перфторированных полимеров. Gas separation using membranes formed from blends of perfluorinated polymers: Пат. 6723152 США, МПК⁷ В 01 D 53/22. Praxair Technology, Inc., Bikson Benjamin, Ding Yong, Leroux Johann Katz, Nelson Joyce Katz. №10/187124; Заявл. 01.07.2002; Опубл. 20.04.2004; НПК 95/45. Англ.

Процесс для выделения "быстрого" газа из газ. смеси, которая включает "быстрый" газовый компонент, включает: а) приведение газ. смеси в контакт с питающей стороной газоразделит. мембраны (МБ), б) обеспечение перепада парц. давл. между питающей и пермеатной стороной МБ, так что часть газ. смеси пермеатирует через МБ, в) сбор части газ. смеси в виде пермеатного газа, причем пермеатный газ обогащен "быстрым" газовым компонентом, и г) сбор части газ. смеси в виде непрмеатного газа, причем непрмеатный газ обеднен "быстрым" газовым компонентом. Газоразделит. МБ имеет селективный слой, состоящий из смеси полимера на основе 2,2-бис(трифторметил)-4,5-дифтор-1,3-диоксола (I) с растворимым перфторированным полимером, выбираемым из группы, состоящей из полимеров на основе перфторметоксидиоксола и полимеров на основе перфторциклич. простого эфира. Полимер на основе I представляет собой статистич. СПЛ с тетрафторэтиленом (II), причем содержание I находится в интервале 50-90%. Полимер на основе I является смесью СПЛ, причем каждый из компонентных СПЛ смеси имеет различное отношение I и II. Смесью содержит 20-95 (40-80)% СПЛ I и II.

30.МБ.127П. Способ очистки масла: Пат. 2255795 Россия, МПК⁷ В 01 D 61/14. ОАО "Моск. нефтемаслозавод", ЗАО НТЦ "Владипор". *Козлов М. П., Дубяга В. П., Бон А. И., Горлова Г. Л., Мельников Н. В., Хайлова Н. В., Бицалов О. М., Атаева О. В., Шумаков М. Г.* №2003116183/15; Заявл. 03.06.2003; Опубл. 10.07.2005. Рус.

Способ очистки масла, включающий его циркуляцию над поверхностью армированной мембраны, отличается тем, что микрофильтрацию масла осуществляют через наполненную кизельгуром или бентонитом фторполимерную мембрану с размером пор 0,1-0,5 мкм при скоростях 2-3 м/с под давлением 0,05-0,3 МПа и температурах 20-60°C. Рассмотрены варианты.

30.МБ.128П. Избирательная мембрана, имеющая высокую стойкость к загрязнению. Selective membrane having a high fouling resistance: Пат. 6913694 США, МПК⁷ В 01 D 39/00. Saehan Ind. Inc., Koo Ja-Young, Hong Sung Pyo, Kang Jin Woo, Kim Howon. №09/992578; Заявл. 06.11.2001; Опубл. 05.07.2005; НПК 210/500.38. Англ.

Описывается процесс изготовления композиционной полиамидной мембраны для обратного осмоса, обладающей высокой задерживающей способностью, пригодной, например, для обессоливания морской или солоноватой воды. Мембрана включает микропористую подложку, слой полиамида на подложке и гидрофильное покрытие на слое полиамида. Покрытие образуется путем наложения на слой полиамида полифункционального эпоксидного соединения, включающего, по крайней мере, две эпоксидных группы, и последующего сшивания этого соединения с тем, чтобы образовать водонерастворимый полимер.

30.МБ.129П. Способ и устройство для фильтрации воды. Laminated modular water filter: Пат. 6866777 США, МПК⁷ В 01 D 25/164. Kuo Joseph. №10/287170; Заявл. 31.10.2002; Опубл. 15.03.2005; НПК 210/225. Англ.

Способ предназначен для подготовки воды в процессе фильтрации. В соответствии со способом устройство имеет модульное исполнение, модули включаются параллельно, их количество в фильтре может варьироваться, что делает возможным регулирование производительности в зависимости от требуемых значений. Модули имеют круглую в плане

форму, на периферии выполнены отверстия, через которые проходят шпильки, стягивающие набор модулей при сборке. В состав модуля входят мембраны, сепараторы и разделительные элементы, обеспечивающие схему гидравлической коммутации для одновременной подачи на все модули исходной воды и также для одновременного отведения фильтрата в один канал.

30.МБ.130П. Способ и устройство для подготовки воды. Procédé et dispositif de maturation du PH D'une eau: Заявка 2860783 Франция, МПК⁷ C 02 F 1/66, B 01 D 61/20. Odost Lab. SA. *Lascombes Jean Jacques*. №0311856; Заявл. 10.10.2003; Оpubл. 15.04.2005. Фр.

Способ предназначен для подготовки питьевой воды в процессе ультрафильтрации (УФ). Модуль УФ выполняется на базе полволоконных мембран, которые находятся в вертикально расположенном корпусе, исходная вода подается на внешнюю поверхность волокон, трансмембранное давление 0,1-1,2 бар (максимальное значение 4 бар), производительность до 1,75 м³/ч. Для удаления обрастаний с поверхности мембран в нижнюю часть модуля через барботер подается сжатый воздух. Перед подачей на модуль УФ вода подвергается предварительному фильтрованию, вода в системе находится в состоянии рециркуляции. В контур помимо входной емкости и модуля УФ включена еще одна промежуточная емкость.

30.МБ.131П. Способ удаления ионов тяжелых металлов из растворов с помощью адсорбции и диализа. Method for the removal of heavy metals from aqueous solution by means of silica as an adsorbent in counter-flow selective dialysis: Пат. 6858147 США, МПК⁷ B 01 D 11/00. Dispersion Technology, Inc., Dukhin Andrei S., Dukhin Stanislav, Goetz Philip J.. №09/928014; Заявл. 03.08.2001; Оpubл. 22.02.2005; НПК 210/644. Англ.

Способ предполагает удаление ионов без перемешивания адсорбента SiO₂ со сточной водой. Это обеспечивается разделением диализной мембраной, поры которой по размеру меньше размера частиц SiO₂, но пропускают ионы тяжелых металлов. Ионы металлов, прошедшие через мембрану, сорбируются на поверхности диспергированных SiO₂. Двуокись кремния находится в коллоидном состоянии, что обеспечивает большую сорбционную поверхность. Мембрана изготовлена из полых волокон. Коллоидную SiO₂ с адсорбированными ионами металлов подвергают тепловой обработке для отверждения.

30.МБ.132П. Частицы ферроксанов (органическая кислота-Fe-ООН), керамика, полученная из ферроксанов, и керамические мембраны. Organic acid-Fe-OOH (ferroxane) particles and ferroxane-derived ceramics and ceramic membranes: Пат. 6770773 США, МПК⁷ C 07 F 15/02. William Marsh Rice Univ., Rose Jerome, Wiesner Mark, Barron Andrew. №10/350759; Заявл. 24.01.2003; Оpubл. 03.08.2004; НПК 556/138. Англ.

Патентуется ферроксан с общей формулой [Fe(O)_x(OH)_y(O₂CR)_z]_n, где 2x+y+z=3, n - любое целое число, при этом ферроксан включает по крайней мере одну карбоксильную группу, выбранную из ацетата, метоксиацетата, этоксиацетата, диэтоксиацетата, аминоацетата, или их комбинацию. Метод получения ферроксана включает взаимодействие минерала, содержащего железо, и по крайней мере одной органич. кислоты в подходящих условиях с получением смеси продуктов, содержащих ферроксан. Также патентуется керамика, включающая по крайней мере один оксид железа (α-Fe₂O₃, γ-Fe₂O₃, Fe₃O₄, α-FeO или их сочетание) и имеющая пористость 5-80 об.% при среднем размере пор 10-20 нм. Дополнительно, керамика может содержать 0,0001-50 мол.% по крайней мере одного элемента из переходных (в частности, Zr, Ce, Mg и Mo). Керамику получают термообработкой чистых или легированных ферроксанов. Патентуемая керамич. мембрана содержит по крайней мере один оксид железа и имеет средний диаметр пор 5-1000 нм и толщину 1-1000 мкм.

30.МБ.133П. Система очистки газообразного водорода с использованием полупроницаемых мембран. Hydrogen

purification apparatus: Пат. 6866698 США, МПК⁷ B 01 D 53/22. Johnson Matthey Public Ltd Co., Erickson Albert William, Paczewski Richard Mark. №10/392144; Заявл. 19.03.2003; Оpubл. 15.03.2005; НПК 95/56. Англ.

Патентуется система очистки водорода с использованием полупроницаемых мембран и конструкция аппаратов для осуществления этого процесса. Система включает мембранный аппарат, в конструкции которого используется полупроницаемая мембрана, выполненная из палладия или сплавов, содержащих помимо палладия золото, серебро, ртуть, платину, иридий, рутений и осмий, а также вольфрам и тантал. В рабочем пространстве этого аппарата установлены подогреватели очищаемого газа, подаваемого через запорные клапаны с пневмоприводом и диафрагму, ограничивающую расход подаваемого в аппарат водорода. В этот же аппарат предусматривается подача инертного газа (азота) через аналогичную систему. Представлена схема и описан принцип действия системы и даны рекомендации по выбору материалов, используемых для изготовления ее конструктивных элементов. Иллюстрируется график, характеризующий изменение технологич. параметров этой системы (давления и температуры в мембранной камере) во времени при проведении процесса очистки водорода.

30.МБ.134П. Композитные мембраны. Kompositmembran: Заявка 10322715 Германия, МПК⁷ B 01 D 71/02, C 23 F 15/00. Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE, Dechema e. V., 60486 Frankfurt. *Dittmeyer Roland, Hock Martin, Huang Yan, Haring Wolfgang, Hollein Volker, Klapper Klaus*. №10322715.6; Заявл. 20.05.2003; Оpubл. 09.12.2004. Нем.

Предлагаются проницаемые для водорода мембраны, предназначенные для дегидрирования пропана, состоящие из трех слоев - несущего, промежуточного и мембранного слоя. Несущий слой изготавливается из пористого металлич. сплава, напр., FeCrAlY, на который наносится методом термич. напыления промежуточный пористый керамич. слой из ZrO₂, а на него тем же методом мембранный слой толщиной 0,5-25 мкм из палладия или его сплавов с серебром или медью.

30.МБ.135П. Мембраны с электронной проводимостью и проводимостью ионов кислорода со слоем смешанного оксида V и Mg. Membranes de conduction electronique et oxygene ionique comprenant une couche d'oxyde mixte de vanadium et de magnesium: Заявка 2859115 Франция, МПК⁷ B 01 D 71/02. Centre nat de la recherche scientifique cnrs - fr. *Farruseno David, Mirodatos Claude, Rebeilleau Michael, Van Veen Andre, Rushworth Simon, Rousset Jean Luc*. №0310258; Заявл. 28.08.2003; Оpubл. 04.03.2005. Фр.

Предлагаются мембраны с плотным слоем из мультиметаллич. оксида, напр. Ва_{0,5}Sr_{0,5}Co_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-z}, со смешанной проводимостью, одна из сторон которого покрыта диспергированными частицами на основе оксида Mg или благородного металла. Установлено, что мембраны с некоторым количеством катализатора на основе оксида Mg или благородного металла, обладают высокими селективной и конверсионной способностями. Также модификация поверхности обеспечивает значительное возрастание потока кислорода через мембрану и/или снижение температуры процесс на 10-20%. Также частицы оксида Mg или благородного металла изменяют окислительно-восстановительный потенциал мембраны, и также способствуют рекомбинации ионов кислорода в O₂ и десорбции молекул O₂.

30.МБ.136П. Органический топливный элемент с ионообменной мембраной. Organic fuel cell with ion exchange membrane: Заявка 1508930 ЕПВ, МПК⁷ H 01 M 8/10, H 01 M 8/02. The University of Southern California, California Inst. of technology. *Surampudi Subbarao, Narayanan Sekharipuram R., Vamos Eugene, Frank Harvey A., Halpert Gerald, Olah George A., Prakash G. K.* №04019946.5; Заявл. 18.10.1994; Оpubл. 23.02.2005. Англ.

Патентуется жидкостной органич. ТЭ, содержащий органич. топливо, свободное от кислоты, анод, катод и твердую

электролитную мембрану между ними, выполненную из группы, содержащей метанол, формальдегид, муравьиная кислота, диметоксиметан, триметоксиметан и триоксан. Анод пропитан гидрофильной протонпроводящей добавкой нерастворимой в воде.

30.МБ.137П. Твердая полимерная электролитная мембрана и топливный элемент. Solid polymer electrolyte membrane and fuel cell: Заявка 1513212 ЕПВ, МПК⁷ Н 01 М 8/10. JAPAN GORE-TEX, INC.. *Suzuki Kenji*. №04254731.5; Заявл. 06.08.2004; Опубл. 09.03.2005: Приор. 07.08.2003, №2003288854(Япония). Англ.

Патентуется твердая полимерная электролитная мембрана, изготовленная из ионообменного полимера. Пленка твердого полимерного электролита характеризуется распределенным в нем диоксидом кремния. Отношение ионообменного полимера к диоксиду кремния в слое составляет от 1 до 50%. Размеры частиц диоксида кремния равны 50 нм; их измерение проведено методом БЭТ либо методом динамич. рассеянием света.

30.МБ.138П. Композиция на основе поликарбосианов для изготовления мембраны и способ изготовления мембраны на основе этой композиции: Пат. 2263691 Россия, МПК⁷ С 08 L 83/16. Ин-т нефтехим. синтеза РАН. *Волков В. В., Бузин О. И., Ушаков Н. В., Финкельштейн Е. Ш., Хотимский В. С., Литвинова Е. Г.*. №2003133700/04; Заявл. 21.11.2003; Опубл. 10.11.2005. Рус.

Композиция для изготовления МБ для перапорационного разделения жидкостей включает политриметилсилпропин общей формулы $(\text{CH}_3\text{C}=\text{C})_n\text{Si}(\text{CH}_3)_3$, где $n=1000-5000$ с молекулярным весом 112 000-560 000 и полидиметилсилметилметил общей формулы $[(\text{CH}_3)_2\text{SiCH}_2]_n$, где $n=1200-17 000$ с молекулярным весом 86 000-1 200 000.

30.МБ.139П. Объединение фильтрования и очистки фильтра. Joint filtering and filter cleaning: Заявка 13823777 ЕПВ, МПК⁷ В 01 D 65/04. TUCHENHAGEN GmbH. *Raspe Onno J. A.*. №020157780; Заявл. 15.07.2005; Опубл. 21.01.2004. Англ.

Описывается процесс перекрестного микрофильтрации через МБ в замкнутом контуре ферментированных жидкостей или воды, например, пива или вина. В подаваемую жидкость вводятся очищающие частицы, например, из стекла, керамики или силикогидрогеля, чтобы в процессе микрофильтрации механически очищать МБ. В контур циркуляции могут вводиться стабилизаторы, например, полифенольные комплексные соединения, чтобы связать, например, дубильные вещества.

30.МБ.140П. Способ и устройство для деионизации воды. Dispositif de desionisation de solutions salines: Заявка 2859990 Франция, МПК⁷ С 02 F 1/469, С 02 F 1/48. Sci rhodes Innovation. *Riera Michel*. №0311128; Заявл. 23.09.2003; Опубл. 25.03.2005. Фр.

Способ предназначен для использования в различных технологиях подготовки воды, представлен ряд вариантов реализации. В основном варианте устройство представляет собой проточную прямоугольную ячейку, катионо- и анионообменными мембранами разделенную на 3 объема, на вход центрального канала подается исходная вода, с его выхода удаляется вода деионизованная. Между мембранами и стенками находятся катод и анод, в устройстве также присутствует источник магнитного поля, силовые линии которого перпендикулярны направлению анод-катод. При протекании воды через канал катионы/анионы проходят через соответствующие мембраны, при этом катионы накапливаются в катодной зоне, а анионы в анодной.

30.МБ.141П. Способ предотвращения кольматации мембран при фильтровании воды. Procédé pour éviter le colmatage des membranes de filtration: Заявка 2860169 Франция, МПК⁷ В 01 D 37/02, В 01 D 65/08. DEGREMONT SA. *Langlais Chrystelle*. №0311452; Заявл. 30.09.2003; Опубл. 01.04.2005. Фр.

Способ предназначен для подготовки воды методами микро-

материала Nafion. Органическое топливо выбирается из ультра-, нанофильтрации и обратного осмоса. Указывается, что проблемой при этом является кольматация мембран. Предлагается метод уменьшения интенсивности кольматации при содержании в исходной воде взвешенных веществ до 2 г/л, он состоит в том, что исходная вода предварительно обрабатывается флокулянтom биологической природы. В соответствии со способом представлены 2 варианта исполнения. В одном из них погружной мембранный модуль размещается в закрытой емкости, в которую подается исходная вода и дозируется флокулянт; по второму - флокулянт дозируется непосредственно в воду на входе модуля.

30.МБ.142П. Способ и устройство для мембранного фильтрования. Membrantrennvorrichtung für Klaranlagen: Заявка 1516856 ЕПВ, МПК⁷ С 02 F 3/12, С 02 F 3/00. Baumann Markus. *Howener Jens*. №03020934.0; Заявл. 16.09.2003; Опубл. 23.03.2005. Нем.

Способ предназначен для разделения иловой смеси в мембранном биореакторе. В соответствии со способом в реакторе находится погружной мембранный модуль (ММ), из которого фильтрат удаляется вакуумированием. Вакуумный насос через обратный клапан соединяется с ММ, насос приводится от двигателя с изменяемой скоростью вращения, фильтрование ведется при постоянном отрицательном давлении, которое измеряется датчиком давления, при уменьшении его величины производительность насоса увеличивается. Из насоса фильтрат поступает в выходную емкость, снабженную датчиком уровня, при ее переполнении насос отключается. Насос замкнут на байпасную петлю рециркуляции с клапаном, который открывается в аварийных ситуациях, работа всей системы управляется компьютером.

30.МБ.143П. Многослойный фильтровальный материал. Mehrlagiges Filtermaterial: Заявка 10335696 Германия, МПК⁷ А 62 D 5/00. Texplorer GmbH. *Hexels Gerd*. №10335696.7; Заявл. 05.08.2003; Опубл. 10.03.2005. Нем.

Предложен гибкий многослойный материал, предназначенный, в частности, для изготовления защитных костюмов, предохраняющих человека от воздействия химич. и биологич. веществ. Фильтровальный материал состоит из нескольких слоев, включающих гибкую мембрану, угольный слой и защитные облицовочные слои. Микропористая мембрана изготавливается, например, из политетрафторэтилена, угольный слой толщиной 0,4-0,8 мм - из волокнистого или зернистого активированного угля с удельной поверхностью 800-1200 м²/г, импрегнированного соединениями серебра, меди и хрома, облицовочные слои - из текстильного материала. Приведены рисунки конструкции предлагаемого фильтровального материала и изготовленного из него защитного костюма.

30.МБ.144П. Высокоэффективные разделительные мембраны из молекулярных сит для газов и паров и способ их изготовления. Hochtrennende Molekularsiebmembran für Gase und Dampfe und Verfahren zu ihrer Herstellung: Заявка 10318372 Германия, МПК⁷ В 01D 71/02. Inst. für Angewandte Chemie Berlin-Adlershof e. V., 12489 Berlin, DE. *Noack Manfred, Schafer Ronald, Kolsch Peter, Toussaint Petra, Stelzer Jean Boris, Ballschuh Detlef*. №10318372.8; Заявл. 14.04.2003; Опубл. 18.11.2004. Нем.

Предлагаются высокоэффективные цеолитовые мембраны, предназначенные для разделения газовых смесей, для проведения процессов каталитич. изомеризации, циклирования, окисления и т. д. без использования внешних катализаторов. Мембраны состоят из силикатных цеолитов с отношением Si/A=1-300. Способ изготовления предлагаемых мембран заключается в том, что на поверхность пористого носителя, напр., из $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ с порами размером 60 нм наносится слой цеолитного геля, который подвергается кристаллизации при температуре 50-250°C в присутствии водорастворимых химически и термически стабильных алифатич. или ароматич. полиаммониевых солей (формулы

приводятся). Решетка SiO₂ в цеолитовом геле может содержать в качестве обменных гетероатомов алюминий, бор, титан, ванадий и германий.

30.МБ.145П. Топливный элемент с полимерным мембранным электролитом. PEM-Brennstoffzelle: Заявка 10315758 Германия, МПК⁷ Н 01 М 8/02, Н 01 М 8/22. Viessmann Werke GmbH and Co KG. *Martin Udo, Britz Peter, Dahlmanns Frank.* №10315758.1; Заявл. 04.04.2003; Оpubл. 21.10.2004. Нем.

Патентуется конструкция ТЭ на полимерной электролитной мембране с нанесенными на ее стороны анодным и катодным катализатором и газодиффузионными слоями. К газодиффузионным слоям примыкает соответственно анодная и катодная пластины с входом рабочих газов и выходом отработанной газовой смеси. Пластины включают каналы для прохождения охлаждающей жидкости. Между каталитич. слоями мембраны и электродными газораспределительными пластинами образуются соответственно анодная и катодная зона увлажнения электродов.

30.МБ.146П. Способ изготовления катализаторных слоев на полимерной электролитной мембране. Verfahren zur Herstellung einer katalysatorbeschichteten Polymerelektrolyt-Membran: Заявка 1492184 ЕПВ, МПК⁷ Н 01 М 4/88, Н 01 М 8/10. Umicore AG and Co. KG. *Hohenthanner Claus-Rupert Dr., Kuhnhold Heike, Barth Bernhardt, Seipel Peter.* №03014405.9; Заявл. 27.06.2003; Оpubл. 29.12.2004. Нем.

Патентуется способ получения многослойных каталитич. слоев на полимерной электролитной мембране, используемой в ТЭ. Способ заключается в том, что при нанесении катализатора на одну сторону поверхности, вторая герметично закрывается пленкой. После высыхания катализаторного слоя его поверхность герметично закрывается пленкой, и катализатор наносят с другой стороны. Этим методом на каждую сторону мембраны наносят по три слоя. При изготовлении ТЭ с полимерной электролитной мембраной нанесение катализаторных слоев приводится достаточно быстро и не лимитирует производства.

30.МБ.147П. Микропористые полволоконные мембраны из перфторированных термопластичных полимеров. Microporous hollow fiber membranes from perfluorinated thermoplastic polymers: Пат. 6802973 США, МПК⁷ В 01 D 71/26. Mykrolis Corp., *Cheng Kwok-Shun, Patel Rajnikant B., Gates T. dean.* №10/436944; Заявл. 13.05.2003; Оpubл. 12.10.2004; НПК 210/500.36. Англ.

Способ получения полволоконной пористой мембраны (МБ) из перфторированного термопластичного полимера (ПТП), практически не имеющей тонкого плотного поверхн. слоя на ≥1 ПВ, включающий: а) растворение ПТП в растворителе, который образует раствор с верхней критич. температурой растворения (ВКРТ), б) экструдирование раствора через мундштук с кольцеобразным соплом, причем часть мундштука погружена в охлаждающую ванну и поддерживается при температуре, достаточно высокой, чтобы предотвратить преждевременное охлаждение раствора, в) экструдирование раствора в охлаждающую ванну, г) охлаждение раствора до температуры, которая ниже ВКРТ, чтобы вызвать разделение на две фазы с помощью фазовой сепарации типа жидкость-жидкость, причем фазы являются достаточно богатой полимером тв. фазой и достаточно богатой растворителем жидк. фазой, чтобы образовать гелеобразное волокно, д) экстрагирование растворителя из гелеобразного волокна с образованием пористой полволоконной МБ, е) сушку пористой полволоконной МБ под натяжением. Погружаемая часть мундштука является кончиком мундштука. ПТП растворяют при концентрации 12-35% в растворителе, который имеет т. кип. ниже, чем температура гелеобразного волокна на выходе из кончика мундштука. Растворитель является низкомолек. насыщ. хлортрифторуглеводородным полимером, полихлортрифторэтиленовым маслом, выбираемым из Tragerlvies: Заявка 10347569 Германия, МПК⁷ В 01 D 71/02.

HaloVac[®] 60 или Halocarbon Oil 56 или их смесей. ПТП является СПЛ тетрафторэтилена и перфторалкилвинилэфира (алкил-пропил, метил или смеси метила и пропила) или гексафторпропилена.

30.МБ.148П. Методы и аппаратура для возрастающего и расширяющегося производства нефти из подземных формаций с практически истощенным [содержанием] природного газа [в качестве средства] для вытеснения. Methods and apparatus for increasing and extending oil production from underground formations nearly depleted of natural gas drive: Пат. 680893 США, МПК⁷ С 09 К 7/00. Hydrotreat, Inc., *Arnaud Johnny, Beard Franklin.* №10/317009; Заявл. 11.12.2002; Оpubл. 26.10.2004; НПК 423/212. Англ.

В системе извлекаемый с тяжелой нефтью попутный природный газ используется в ДВС для энергоснабжения компрессоров и электродвигателей, используемых в системе. Отходящие из ДВС газы очищаются в мокрой скрубберной системе, снабженной ионообменными смолами для удаления из воды NO_x, сепарируются в мембранных сепараторах для выделения концентрированных CO₂ и N₂; CO₂ инжектируются в формацию для снижения вязкости нефти, а N₂ - для выдавливания облегченной нефти на поверхность с применением поочередной инъекции газов через одну скважину. Предложена система сепарации природного газа из сырой нефти путем прокачки нефти через диафрагмы.

30.МБ.149П. [Способ и устройство для подготовки воды методом фильтрации]. Membrane separation device and membrane separation method: Заявка 1512456 ЕПВ, МПК⁷ В 01 D 69/06, В 01 D 63/08. Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd. *Tanida Katsuyoshi, Nonaka Shinichi, Shimada Mitsushige, Matsuda Tsutomu, Hirai Kiyoshi, Uemura Masahiro, Takata Kazutaka, Ito Yutaka, Hasegawa Susumu.* №03723361.6; Заявл. 14.05.2003; Оpubл. 09.03.2005; Приор. 16.05.2002, №2002141248(Япония). Англ.

Способ предназначен для обработки воды из различных источников путем фильтрации на мембранах. В соответствии со способом собственно фильтрующий блок выполняется в виде набора фильтровальных мембранных элементов (ФЭ) прямоугольной формы, в блоке они разделены сепараторами. В каждом ФЭ по оси выполнены 4 отверстия для отведения фильтрата, при сборке блока через них пропускается соответственно 4 цилиндрических элемента для его сбора и удаления. Эти блоки размещаются в круглом реакторе, через который под давлением пропускается поток исходной воды, концентрат уходит через противоположный конец реактора, фильтрат удаляется по отдельной линии.

30.МБ.150П. Процесс очистки газов из резервуаров углеводородных топлив. Cyclic membrane separation process: Пат. 6887300 США, МПК⁷ В 01 D 53/22. CMS Technology Holdings, Inc., *Nemser Stuart M.* №10/760169; Заявл. 16.01.2004; Оpubл. 03.05.2005; НПК 95/45. Англ.

Патентуется мембранный сепаратор, предназначенный для монтажа на резервуарах жидких углеводородов и обеспечивающий очистку сбрасываемых в атмосферу газов от примесей легколетучих фракций указанных видов химич. соединений. Отмечена возможность использования патентуемой системы в хранилищах бензина, а также на бензонаправочных станциях и в др. аналогичных комплексах. Приведены схемы нескольких модификаций патентуемой системы и рассмотрен принцип ее действия. Сообщены виды полимерных материалов, из которых могут быть изготовлены полупроницаемые мембраны, используемые для селективного выделения легколетучих фракций углеводородов из потока сбросных газов. Рассмотрено пять примеров систем и представлена информация о проведенных исследованиях, позволяющих оценить эффективность способа очистки сбросных газов от указанных видов углеводородов.

30.МБ.151П. Керамическая гибкая мембрана с улучшенной адгезией к подложке. Keramische, flexible Membran mit verbesserter Haftung der Keramik auf dem Degussa AG. *Hennige Volker, Hying Christian, Horpel Gerhard.*

№10347569.9; Заявл. 14.10.2003; Опул. 02.06.2005. Нем.
Предлагается способ изготовления фильтровальных мембран в виде полимерной ткани с осажденным на нее тонким слоем частиц из Al_2O_3 , ZrO_2 , TiO_2 и (или) SiO_2 , отличающихся гибкостью и стойкостью при изломе. Способ отличается определенным гранулометрическим составом осажденных из суспензии частиц и содержанием в них адгезивов в виде,

например, 3-аминопропилтриэтоксисилана и 3-глицидилокситриэтоксисилана. Полимерная ткань изготавливается из полиэфирных, полиэтиленовых, полипропиленовых и (или) полиамидных волокон. Суспензия перед осаждением подвергается подогреву до 50-350°C и последующему после осаждения ультрафиолетовому облучения для затвердевания адгезива.

Предметный указатель

абсорбенты

растворы; газы отходящие очистка **30.МБ.4**

абсорбция

углерод диоксид; газы отходящие очистка **30.МБ.4**

адсорбенты

частицы, влияние; мембраны **30.МБ.67**

адсорбция

металлы тяжелые, удаление, из растворов; диализ **30.МБ.131**

обратимая; фильтрация **30.МБ.70**

азот

аммонитный, удаление; органические соединения, удаление

30.МБ.36

мембранная технология, анализ, технико-экономический

30.МБ.95

мембраны, цеолиты, на основе сверхмелкокристаллического NaX,

получение, свойства; алюминий оксид, носители **30.МБ.29**

алюминий

отношение, влияние; кремний **30.МБ.101**

алюминий оксид

носители; мембраны, цеолиты, на основе

сверхмелкокристаллического NaX, получение, свойства **30.МБ.29**

пористые диски, подложки; молекулярные сита **30.МБ.100**

темплат; электрические свойства **30.МБ.78**

эмульсии, М/В, получение, свойства; мембраны, использование

30.МБ.104

аммоний

тетраалкил-, ионы; транспорт, электро **30.МБ.41**

аммоний молибдаты

растворы; аммоний соединения **30.МБ.124**

аммоний соединения

аммоний молибдаты, растворы; очистка **30.МБ.124**

анионный обмен

мембраны, структура; органические соединения **30.МБ.54**

аргон

смеси, бинарные; метан **30.МБ.25**

барий-стронций кобальтиты-ферриты; мембраны

30.МБ.84

белки

мембраны; фильтрация, перекрестная **30.МБ.67**

удаление; масла, пищ., очистка, способ **30.МБ.2**

ванадий

мембраны, протонообменные, исследование свойств; растворы,

батарея с ванадиевым потоком **30.МБ.15**

вода

использование, повторное; мембраны **30.МБ.10**

смеси; этиловый спирт **30.МБ.53, 30.МБ.83**

состояние; мембраны, полиамидокислотные **30.МБ.83**

вода очистка

вода технология, баромембранная; мембраны, использование

30.МБ.76

фильтрация; мембраны, кольматация, предотвращение

30.МБ.141

вода питьевая

подготовка; вода технология **30.МБ.8**

вода технология

баромембранная; вода очистка **30.МБ.76**

вода питьевая, подготовка; мембраны, использование **30.МБ.8**

деминерализация, деионизация **30.МБ.140**

наночистка; осмос, обратимый **30.МБ.122**

способ, устройство; ультрафильтрация **30.МБ.130**

фильтрация, способ, устройство **30.МБ.129**

- мембраны, использование **30.МБ.149**

водопроводы

станции, крупные; ультрафильтрация **30.МБ.106**

водород

газообразный; гидрирование, электрохим. **30.МБ.58**

мембраны, цеолиты, на основе сверхмелкокристаллического NaX,

получение, свойства; алюминий оксид, носители **30.МБ.29**

очистка; мембранная технология **30.МБ.39**

- мембраны, полупроницаемые **30.МБ.133**

воздух очистка

мембраны, аминосилкатные, применение; углерод диоксид,

удаление **30.МБ.64**

волокна

попы, диализ, механический; мембраны **30.МБ.10**

- использование; мембраны **30.МБ.11**

-- фильтры **30.МБ.33**

- полиимидоэфир **30.МБ.99**

- фильтры **30.МБ.70**

пустотелые, применение; мембраны полимерные **30.МБ.4**

газы

мембраны полимерные; политетрафторэтилен, смеси

фторсодержащих полимеров **30.МБ.126**

проницаемость; мембраны **30.МБ.27**

разделение; углеводороды, низкие **30.МБ.120**

газы анализ

сульфиды определение; мембраны, использование **30.МБ.42**

газы дымовые очистка

углерод диоксид, удаление, ТЭС на природном газе; мембраны

полимерные, использование **30.МБ.44**

газы отходящие очистка

мембраны, аминосилкатные, применение; углерод диоксид,

удаление **30.МБ.64**

углерод диоксид; абсорбция **30.МБ.4**

газы очистка

глубина; перемешивание, продольное, влияние **30.МБ.69**

глубокая; модели **30.МБ.121**

углеводороды, летучие, удаление; сепараторы, мембранные

30.МБ.150

газы природные

для вытеснения нефти; нефть, извлечение из подземных формаций

30.МБ.148

гели

мембраны полимерные; электроды **30.МБ.115**

гидрирование

электрохим.; соевое масло **30.МБ.58**

гидроизоляционные материалы

мембраны полимерные; полиэтилен, композиции **30.МБ.23**

давление

трансмембранное, влияние; влияние скорости потока и геометрии

фильтров **30.МБ.70**

деминерализация

деионизация; вода технология **30.МБ.140**

десорбция

масла минеральные, регенерация, совмещенный мембранно-

десорбционный процесс; микрофильтрация **30.МБ.57**

мембраны ионообменные; сорбция **30.МБ.21**

диализ

металлы тяжелые, удаление, из растворов; адсорбция **30.МБ.131**

динамика

жидкости; пузырьки, тейлоровские **30.МБ.102**

транспорт, электро; аммоний, тетраалкил-, ионы **30.МБ.41**

дистилляционные колонны
мембраны, использование; моделирование математическое
30.МБ.90

диффузия
смеси, бинарные; метан **30.МБ.25**
электромиграция; при стационарных внешних условиях **30.МБ.40**

донные отложения
ил, смеси; разделение **30.МБ.142, 30.МБ.93**

железо
матрицы; разделение **30.МБ.26**

жидкости
пузырьки, тейлоровские; динамика **30.МБ.102**
технологические; мембраны **30.МБ.68**

загрязняющие вещества
удаление; сера гексафторид, очистка **30.МБ.123**

защитная одежда
фильтрующие материалы, состав **30.МБ.143**

золото
кольца; мембраны полимерные **30.МБ.48**
нанотрубки, получение, свойства, использование; мембраны
30.МБ.88

ионный обмен
мембраны; электропроводность, колебания **30.МБ.40**

ионный перенос
ионы, высокозаряженные; капилляры, нано **30.МБ.103**
транспорт, молекулярный; мембраны, ион проводящие **30.МБ.116**
электронный перенос; полианилины **30.МБ.55**

иономеры
перфторирование; набухание **30.МБ.52**

ионы
высокозаряженные; ионный перенос **30.МБ.103**

испарение
диффузионное; мембраны **30.МБ.108**

капилляры
нано; ионный перенос **30.МБ.103**

катализаторы
топливные элементы; мембраны, протонообменная **30.МБ.13**

катиониты
сульфо-; транспорт, электро **30.МБ.41**

керамика
мембраны; полимеры, получение **30.МБ.22**
погружные, использование; мембраны **30.МБ.71**
состав; частицы, ферроксаны $_{(Fe(O)[x](OH)[y](O[2]CR)[z]_{[n]}$
30.МБ.132
фильтры; вода очистка **30.МБ.76**
эмульсии, М/В, получение, свойства; мембраны, использование
30.МБ.104

керамические изделия
мембраны, гибкие, способ изготовления **30.МБ.151**

кислород
мембраны; оксиды, мультиметаллические **30.МБ.135**
переноса процесс; мембраны **30.МБ.118**

кислоты
неорганические, транспорт; мембраны, растворимые **30.МБ.77**

коагулянты
волокна, полые; полиимидоэфир **30.МБ.99**

кобальт
медь, ионные, тройные, системы; никель **30.МБ.73**

кобальтиты-барий-стронций
ферриты; мембраны **30.МБ.84**

композиционные материалы
полилактид, биостекла, структура; мембраны **30.МБ.51**
трехслойные; мембраны **30.МБ.134**

краевой угол
влияние; нанофильтрация **30.МБ.85**

красители
раствор; фильтрация, нано- **30.МБ.46**

кремний
алюминий, отношение, влияние; мембраны, MFI **30.МБ.101**

кремний диоксид
влияние; мембраны **30.МБ.45**
использование; металлы тяжелые, удаление, из растворов
30.МБ.131
сетки, изготовление; ионный перенос **30.МБ.103**

кремний соединения
- ультрафильтрация **30.МБ.106**

мембраны полимерные; золото, кольца **30.МБ.48**

лавсан
модифицированный; мембраны, трековые **30.МБ.31**

летучие вещества
выделение; из водных растворов **30.МБ.86**

липиды
мембраны, двух-и трехкомпонентные; проницаемость **30.МБ.117**

литография
электро-; мембраны, гидрофильные каналы **30.МБ.28**

лучи УФ
действие облучения; сера гексафторид, очистка **30.МБ.123**

магний оксид
мембраны; оксиды, мультиметаллические **30.МБ.135**

масла
микрофильтрация; мембраны, фторполимерные **30.МБ.127**
пищ., очистка, способ; белки, удаление **30.МБ.2**

масла минеральные
регенерация; совмещенный мембранно-десорбционный процесс
30.МБ.57

массоперенос
мембраны; пленки, тонкие, осмос обратный **30.МБ.66**
разделение; мембраны, использование **30.МБ.53**

материалы
наноструктуры, получение, свойства; металлы **30.МБ.3**
сложнооксидные; электроды, новые свинецселективные
30.МБ.114

медь
ионные, тройные, системы; никель **30.МБ.73**

мембранная технология
анализ, технико-экономический; азот **30.МБ.95**
водород; очистка **30.МБ.39**
газы дымовые очистка; углерод диоксид, удаление, ТЭС на
природном газе **30.МБ.44**
газы отходящие очистка; углерод диоксид **30.МБ.4**
газы очистка, глубокая, модели; моделирование математическое
30.МБ.121
- углеводороды, летучие, удаление **30.МБ.150**

мембраны
MFI; проницаемость **30.МБ.101**
аминосиликатные; применение **30.МБ.64**
белки; фильтрация, перекрестная **30.МБ.67**
включение, разные способы; реакторы, био **30.МБ.37**
волокна, полые, диализ, механический; вода, использование,
повторное **30.МБ.10**
-- использование; сточные воды очистка **30.МБ.11**
гибкие, способ изготовления; керамические изделия **30.МБ.151**
гидрофильные каналы; нафион **30.МБ.28**
гидрофильные, перфузионные; моделирование математическое
30.МБ.30
двух-и трехкомпонентные; липиды **30.МБ.117**
для разделения газов, получение; молекулярные сита **30.МБ.100**
жидкие, эмульсионные; разделение **30.МБ.26**
золото; нанотрубки, получение, свойства, использование
30.МБ.88
избирательные, изготовление, имеющие высокую стойкость к
загрязнению; осмос обратный **30.МБ.128**
интегрирование; фильтры **30.МБ.9**
ион проводящие; ионный перенос **30.МБ.116**
ионный обмен; электропроводность, колебания **30.МБ.40**
использование; вода очистка **30.МБ.76**
- вода питьевая, подготовка **30.МБ.8**
- вода технология **30.МБ.149**
- дистилляционные колонны **30.МБ.90**
- массоперенос **30.МБ.53**
- насосы, подбор **30.МБ.94**
- органические соединения, удаление **30.МБ.36**
- пиво, производство **30.МБ.61**
- при постоянном трансмембранном давлении **30.МБ.33**
- сера гексафторид, очистка **30.МБ.123**
- соли, растворы, концентрированные утилизация **30.МБ.92**
- сорбция **30.МБ.110**
- сточные воды очистка, муниципальные, повторное
использование **30.МБ.60**
-- серые **30.МБ.91, 30.МБ.93**
- сульфиды определение **30.МБ.42**
- фильтрация **30.МБ.70**

- фильтрация **30.МБ.139, 30.МБ.142**
 - эмульсии, М/В, получение, свойства **30.МБ.104**
 керамика, погружные, использование; эмульсии, М/в, приготовление **30.МБ.71**
 - полимеры, получение **30.МБ.22**
 керамические; масла минеральные, регенерация, совмещенный мембранно-десорбционный процесс **30.МБ.57**
 кольматация, предотвращение; фильтрация **30.МБ.141**
 композиционные материалы, трехслойные; сплавы, FeCrAlY **30.МБ.134**
 - полилактид, биостекла, структура **30.МБ.51**
 композиционные; поли(1-триметилсилпропин), использование **30.МБ.120**
 МА-11; электропроводность **30.МБ.112**
 модули, вибрационные; перапарация, модули, вибрационные **30.МБ.86**
 - полволоконные, использование; цианиды, удаление **30.МБ.63**
 монокристаллы; силикалит **30.МБ.25**
 набухание; иономеры, перфторирование **30.МБ.52**
 оксиды, мультиметаллические; покрытия **30.МБ.135**
 очистка; сточные воды очистка, производственные **30.МБ.43**
 пленки, тонкие, осмос обратный; массоперенос **30.МБ.66**
 -- получение, свойства; барий-стронций кобальтиты-, ферриты **30.МБ.84**
 погружные, использование; сточные воды очистка **30.МБ.35**
 полиамидокислотные; вода, состояние **30.МБ.83**
 полианилины, легирование; фуллерены, использование **30.МБ.109**
 - электронный перенос **30.МБ.55**
 полимеры; переноса процесс **30.МБ.118**
 диффузионное **30.МБ.108**
 полволоконные, использование; сточные воды очистка био **30.МБ.62**
 полупроницаемые; водород **30.МБ.133**
 получение; полимеры, пористые **30.МБ.56**
 потоки; микрофильтрация **30.МБ.59**
 протонообменная; топливные элементы **30.МБ.13**
 протонообменные, исследование свойств; ванадий **30.МБ.15**
 - моделирование математическое **30.МБ.14**
 процессы, на службе качества **30.МБ.87**
 растворимые; фосфорил соединения **30.МБ.77**
 спирального типа; нанофильтрация **30.МБ.122**
 спиральные, использование; сточные воды очистка **30.МБ.75**
 способ применения; неорганические материалы **30.МБ.119**
 стекло; пористые материалы, капиллярные, стабильность работы **30.МБ.34**
 сточные воды очистка; морепродукты, производство **30.МБ.12**
 структура; анионный обмен **30.МБ.54**
 транспорт, электро; аммоний, тетраалкил-, ионы **30.МБ.41**
 трековые; лавсан, модифицированный **30.МБ.31**
 трубчатые; жидкости **30.МБ.102**
 ультрафильтрационные, структура, свойства; волокна, полые **30.МБ.99**
 ультрафильтрация; масла, пищ., очистка, способ **30.МБ.2**
 упаковка; пленки, прозрачные **30.МБ.105**
 фильтрация, нано-; красители, раствор **30.МБ.46**
 - под давлением; жидкости, технологические **30.МБ.68**
 фторполимерные; микрофильтрация **30.МБ.127**
 характеристики, использование; полисульфоны **30.МБ.113**
 - ультрафильтрация **30.МБ.74**
 цеолитные, способ изготовления **30.МБ.144**
 цеолиты, MFI; ориентация **30.МБ.45**
 - на основе сверхмелкокристаллического NaX, получение, свойства; алюминий оксид, носители **30.МБ.29**
 - монокристаллы **30.МБ.27**
 - силирование, механизм **30.МБ.38**
 частицы, ферроксаны $-(Fe(O)[x](OH)[y](O[2]CR)[z])_n$; керамика, состав **30.МБ.132**
 элементы, с рециклом выходного потока; перемешивание, продольное, влияние **30.МБ.69**
 ядерные, использование; электролиз **30.МБ.72**
мембраны анионообменные
 полифениленоксиды; проницаемость, получение **30.МБ.24**
мембраны ионообменные
 сорбция; десорбция **30.МБ.21**
мембраны полимерные
 волокна, пустотелые, применение; газы отходящие очистка **30.МБ.4**
 гели; электроды **30.МБ.115**
 использование; газы дымовые очистка **30.МБ.44**
 кремний соединения; золото, кольца **30.МБ.48**
 полиакрилонитрил; ультрафильтрация **30.МБ.80**
 полиамидокислоты; полиимиды **30.МБ.19**
 - сорбция **30.МБ.20**
 полибензимидазолы; топливные элементы **30.МБ.1**
 поливиниловый спирт, перапарация **30.МБ.79**
 - полисиланы, получение **30.МБ.81**
 - полисилоксаны **30.МБ.82**
 полипропилен; модифицирование **30.МБ.16**
 полисиланы; разделение **30.МБ.138, 30.МБ.97**
 полисилоксаны; разделение **30.МБ.18**
 полисульфоны, получение **30.МБ.49**
 политетрафторэтилен, получение **30.МБ.147**
 - смеси фторсодержащих полимеров; разделение **30.МБ.126**
 полиуретаны; структура-свойства взаимосвязь **30.МБ.47**
 полифениленоксиды; фуллерены **30.МБ.98**
 полиэтилен, композиции; гидроизоляционные материалы **30.МБ.23**
 - разделение **30.МБ.6**
 полиэтилентерефталат; микрофильтрация **30.МБ.50**
 полиэферы сложные; полиэферы простые **30.МБ.125**
 полиэфирэфиркетоны; разделение **30.МБ.96**
 применение; газы очистка **30.МБ.150**
 разделение **30.МБ.5**
 целлюлоза; разделение **30.МБ.17**
металлокерамические материалы
 металлы; пористые материалы, мембраны, приготовление **30.МБ.89**
металлы
 пористые материалы, мембраны, приготовление; металлокерамические материалы **30.МБ.89**
 сплавы; материалы **30.МБ.3**
металлы тяжелые
 разделение; железо, матрицы **30.МБ.26**
 удаление, из растворов; адсорбция **30.МБ.131**
метан
 аргон; смеси, бинарные **30.МБ.25**
микрофильтрация
 масла минеральные, регенерация, совмещенный мембранно-десорбционный процесс; десорбция **30.МБ.57**
 масла; мембраны, фторполимерные **30.МБ.127**
 мембраны полимерные; полиамидокислоты **30.МБ.19**
 - полиэтилентерефталат **30.МБ.50**
 мембраны, потоки; моделирование математическое, потока пармеата **30.МБ.59**
 сточные воды очистка био; ультрафильтрация **30.МБ.62**
 фильтрация; вода очистка **30.МБ.141**
модели
 полуэмперическая; фильтрация, нано- **30.МБ.46**
моделирование
 водород; очистка **30.МБ.39**
моделирование математическое
 газы дымовые очистка; углерод диоксид, удаление, ТЭС на природном газе **30.МБ.44**
 дистилляционные колонны; мембраны, использование **30.МБ.90**
 жидкости; пузырьки, тейлоровские **30.МБ.102**
 мембранная технология; газы очистка, глубокая, модели **30.МБ.121**
 мембраны, гидрофильные, перфузионные **30.МБ.30**
 набухание; мембраны **30.МБ.52**
 перемешивание, продольное, влияние; газы очистка, глубина **30.МБ.69**
 переноса процесс; кислород **30.МБ.118**
 потока пармеата; микрофильтрация **30.МБ.59**
 топливные элементы; мембраны, протонообменные **30.МБ.14**
модифицирование
 мембраны полимерные; полипропилен **30.МБ.16**
 радиационно-химическое; полимеры **30.МБ.111**
молекулярные сита
 углерод, ПЛ, осаждение; плазмохимическая реакция **30.МБ.100**
молекулярный вес
 влияние; нанофильтрация **30.МБ.85**

молибдаты*аммонийрастворы; аммоний соединения **30.МБ.124****монокристаллы**мембраны; цеолиты **30.МБ.27**силикалит; мембраны **30.МБ.25****морепродукты**производство; сточные воды очистка **30.МБ.12****набухание**мембраны полимерные; полиамидокислоты **30.МБ.20**мембраны; иономеры, перфторирование **30.МБ.52****наноструктуры**нанопроволока; электрические свойства **30.МБ.78**получение, свойства; материалы **30.МБ.3****нанотрубки**получение, свойства, использование; мембраны **30.МБ.88****нанофильтрация**осмос, обратимый; мембраны, спирального типа **30.МБ.122**ПАВ, неионные; молекулярный вес, влияние **30.МБ.85**сточные воды очистка, серые; фильтрация **30.МБ.91**- морепродукты, производство **30.МБ.12**- текстильная промышленность **30.МБ.75**ультрафильтрация; мембраны, использование **30.МБ.106**фильтрация; вода очистка **30.МБ.141****наночастицы**топливные элементы; мембраны, протонообменная **30.МБ.13****насосы**

дозировочный, привод, тип, влияние; пиво, приготовление,

технол. процесс **30.МБ.32**подбор; фильтрация, системы **30.МБ.94****нафион**мембраны, гидрофильные каналы; литография, электро- **30.МБ.28****неорганические материалы**мембраны, способ применения **30.МБ.119****нефтепродукты**удаление; нефть, удаление **30.МБ.107****нефть**

извлечение из подземных формаций; газы природные, для

вытеснения нефти **30.МБ.148**удаление; нефтепродукты, удаление **30.МБ.107****никель**кобальт; медь, ионные, тройные, системы **30.МБ.73****носители**топливные элементы; мембраны, протонообменная **30.МБ.13****обессоливание**нанофильтрация; осмос, обратимый **30.МБ.122****обзоры**библ. 25; фильтрация, нано- **30.МБ.46**библ. 67; газы отходящие очистка **30.МБ.4**материалы; наноструктуры, получение, свойства **30.МБ.3**

эмульгирование, мембранное; эмульсии, двойные, приготовление

30.МБ.7**окислительно-восстановительная реакция**без прямого контакта реагентов; полианилины **30.МБ.55****оксиды**мультиметаллические; мембраны **30.МБ.135****органические соединения**испарение, диффузионное; мембраны **30.МБ.108**сорбированные вещества; кинетика **30.МБ.54**удаление; азот, аммонитный, удаление **30.МБ.36****ориентация**мембраны; золото **30.МБ.88**- цеолиты, MFI **30.МБ.45****осаждение**сорбция; мембраны, использование **30.МБ.110****осмос**обратимый; нанофильтрация **30.МБ.122****осмос обратный**

мембраны, избирательные, изготовление, имеющие высокую

стойкость к загрязнению; полиамиды **30.МБ.128**

сточные воды очистка, муниципальные, повторное использование;

мембраны, использование **30.МБ.60**фильтрация; вода очистка **30.МБ.141****очистка**аммоний соединения; аммоний молибдаты, растворы **30.МБ.124**водород; мембранная технология **30.МБ.39**получение; мембраны полимерные **30.МБ.147**- мембраны, полупроницаемые **30.МБ.133****ПАВ**неионные; нанофильтрация **30.МБ.85****палладий сплавы**мембраны; композиционные материалы, трехслойные **30.МБ.134****первапорация**

модули, вибрационные; летучие вещества, выделение, из водных

растворов **30.МБ.86****перемешивание**продольное, влияние; газы очистка, глубина **30.МБ.69****переноса процесс**кислород; мембраны **30.МБ.118****пиво**

приготовление, технол. процесс; насосы, дозировочный, привод,

тип, влияние **30.МБ.32**производство; сточные воды очистка **30.МБ.61****плазмохимическая реакция**молекулярные сита; углерод, ПЛ, осаждение **30.МБ.100****пленки**буферные; мембраны **30.МБ.45**прозрачные; мембраны **30.МБ.105**тонкие, осмос обратный; мембраны **30.МБ.66**

- получение, свойства; барий-стронций кобальтиты-, ферриты

30.МБ.84**поверхности**сопротивление, влияние; диффузия **30.МБ.25****покрытия**мембраны; оксиды, мультиметаллические **30.МБ.135****поли(1-триметилсилилпропин)**использование; мембраны, композиционные **30.МБ.120****полиакрилонитрил**мембраны полимерные; ультрафильтрация **30.МБ.80****полиамидокислоты**мембраны полимерные; полиимиды **30.МБ.19**- сорбция **30.МБ.20****полиамиды**

мембраны, избирательные, изготовление, имеющие высокую

стойкость к загрязнению; осмос обратный **30.МБ.128****полианилины**легирование; мембраны **30.МБ.109**мембраны; электронный перенос **30.МБ.55****полибензимидазолы**мембраны полимерные; топливные элементы **30.МБ.1****поливинилловый спирт**мембраны полимерные; полисиланы, получение **30.МБ.81**- полисилоксаны **30.МБ.82**первапорация; мембраны полимерные **30.МБ.79****поливинилпирролидон**мембраны полимерные; полипропилен **30.МБ.16****полиимидоэфир**

волокна, полые; мембраны, ультрафильтрационные, структура,

свойства **30.МБ.99****полиимиды**мембраны полимерные; полиамидокислоты **30.МБ.19****полилактид**биостекла, структура; композиционные материалы **30.МБ.51****полимеры**мембраны; переноса процесс **30.МБ.118**получение; мембраны **30.МБ.22**

пористые материалы; модифицирование, радиационно-

химическое **30.МБ.111**пористые; мембраны, получение **30.МБ.56****полипропилен**мембраны полимерные; модифицирование **30.МБ.16****полисиланы**мембраны полимерные; разделение **30.МБ.138, 30.МБ.97**получение; мембраны полимерные **30.МБ.81****полисилоксаны**мембраны полимерные; поливинилловый спирт **30.МБ.82**- разделение **30.МБ.18****полисульфоны**

мембраны, характеристики, использование; сточные воды очистка

30.МБ.113получение; мембраны полимерные **30.МБ.49****политетрафторэтилен**

- смеси фторсодержащих полимеров; мембраны полимерные **30.МБ.126**
- полиуретаны**
мембраны полимерные; структура-свойства взаимосвязь **30.МБ.47**
- полифениленоксиды**
мембраны анионообменные; проницаемость, получение **30.МБ.24**
- мембраны полимерные; фуллерены **30.МБ.98**
- модифицированные; мембраны **30.МБ.108**
- полиэтилен**
композиции; мембраны полимерные **30.МБ.23**
- мембраны полимерные; разделение **30.МБ.6**
- полиэтилентерефталат**
мембраны полимерные; микрофильтрация **30.МБ.50**
- полиэфир простые**
мембраны полимерные; полиэфир сложные **30.МБ.125**
- полиэфир сложные**
мембраны полимерные; полиэфир простые **30.МБ.125**
- полиэфирэфиркетоны**
мембраны полимерные; разделение **30.МБ.96**
- пористые материалы**
капиллярные, стабильность работы; стекло **30.МБ.34**
- мембраны, приготовление; металлы **30.МБ.89**
- полимеры; модифицирование, радиационно-химическое **30.МБ.111**
- электрические свойства; наноструктуры, нанопроволока **30.МБ.78**
- промоторы**
турбулентные; фильтрация, нано- **30.МБ.46**
- проницаемость**
газы; мембраны **30.МБ.27**
- липиды; мембраны, двух-и трехкомпонентные **30.МБ.117**
- мембраны, MFI; кремний **30.МБ.101**
- цеолиты, на основе сверхмелкокристаллического NaX, получение, свойства; алюминий оксид, носители **30.МБ.29**
- получение; мембраны анионообменные **30.МБ.24**
- увеличение; мембраны **30.МБ.84**
- пропан**
мембраны, цеолиты, на основе сверхмелкокристаллического NaX, получение, свойства; алюминий оксид, носители **30.МБ.29**
- процессы и аппараты химической технологии**
эмульсии, M/v, приготовление; мембраны **30.МБ.71**
- пузырьки**
тейлоровские; жидкости **30.МБ.102**
- пыль**
промышленная, улавливание; фильтры, рукавные **30.МБ.65**
- радикалы свободные**
нитроксил; мембраны, трековые **30.МБ.31**
- радиоактивные отходы**
жидкие, очистка; сорбция **30.МБ.110**
- разделение**
вода, состояние; мембраны, полиамидокислотные **30.МБ.83**
- газы; углеводороды, низкие **30.МБ.120**
- донные отложения, ил, смеси; сточные воды очистка **30.МБ.93**
- фильтрация **30.МБ.142**
- испарение, диффузионное; мембраны **30.МБ.108**
- массоперенос; мембраны, использование **30.МБ.53**
- мембраны полимерные **30.МБ.5**
- поливиниловый спирт **30.МБ.82**
- полисиланы **30.МБ.138, 30.МБ.97**
- полисилоксаны **30.МБ.18**
- политетрафторэтилен, смеси фторсодержащих полимеров **30.МБ.126**
- полифениленоксиды **30.МБ.98**
- полиэтилен **30.МБ.6**
- полиэфир сложные **30.МБ.125**
- полиэфирэфиркетоны **30.МБ.96**
- целлюлоза **30.МБ.17**
- металлы тяжелые; железо, матрицы **30.МБ.26**
- фазы; материалы **30.МБ.3**
- фильтры; волокна, полые, использование **30.МБ.33**
- растворы**
батарея с ванадиевым потоком; мембраны, протонообменные, исследование свойств **30.МБ.15**
- расщепление оптическое**
мембраны; золото **30.МБ.88**
- реакторы**
био, использование; органические соединения, удаление **30.МБ.36**
- сточные воды очистка, муниципальные, повторное использование **30.МБ.60**
- мембраны, включение, разные способы **30.МБ.37**
- пиво, производство **30.МБ.61**
- сточные воды очистка **30.МБ.93**
- фильтрация **30.МБ.142**
- резервуары**
углеводородное; топливо **30.МБ.150**
- сенсоры**
сульфиды определение; газы анализ **30.МБ.42**
- сепараторы**
мембранные; газы очистка **30.МБ.150**
- сера гексафторид**
очистка; загрязняющие вещества, удаление **30.МБ.123**
- силикалит**
мембраны; монокристаллы **30.МБ.25**
- силилирование**
механизм; мембраны **30.МБ.38**
- слизи**
удаление; масла, пищ., очистка, способ **30.МБ.2**
- смеси**
бинарные; метан **30.МБ.25**
- соевое масло**
гидрирование, электрохим.; водород, газообразный **30.МБ.58**
- соли**
растворы, концентрированные утилизация; мембраны, использование **30.МБ.92**
- тип, влияние; массоперенос **30.МБ.66**
- сополимеры блок**
мембраны полимерные; полиэфир сложные **30.МБ.125**
- сорбенты**
использование; сера гексафторид, очистка **30.МБ.123**
- сорбированные вещества**
органические соединения; кинетика **30.МБ.54**
- сорбционная способность**
мембраны, трековые; лавсан, модифицированный **30.МБ.31**
- сорбция**
мембраны ионообменные; десорбция **30.МБ.21**
- мембраны полимерные; полиамидокислоты **30.МБ.20**
- мембраны; оксиды, мультиметаллические **30.МБ.135**
- осаждение; мембраны, использование **30.МБ.110**
- сплавы**
FeCrAlY; мембраны **30.МБ.134**
- металлы; материалы **30.МБ.3**
- стекло**
Shirasu, использование; эмульсии, M/v, получение, свойства **30.МБ.104**
- мембраны; пористые материалы, капиллярные, стабильность работы **30.МБ.34**
- сточные воды очистка**
мембраны, погружные, использование **30.МБ.35**
- волокна, полые, использование **30.МБ.11**
- морепродукты, производство; ультрафильтрация **30.МБ.12**
- муниципальные, повторное использование; мембраны, использование **30.МБ.60**
- нефть, удаление; нефтепродукты, удаление **30.МБ.107**
- органические соединения, удаление; азот, аммонитный, удаление **30.МБ.36**
- пиво, производство; реакторы, био **30.МБ.61**
- полисульфоны; мембраны, характеристики, использование **30.МБ.113**
- производственные; мембраны, очистка **30.МБ.43**
- реакторы, био; мембраны, включение, разные способы **30.МБ.37**
- использование **30.МБ.93**
- серые; фильтрация **30.МБ.91**
- текстильная промышленность; нанофильтрация **30.МБ.75**
- ультрафильтрация; мембраны, характеристики **30.МБ.74**
- цианиды, удаление; мембраны, модули, волоконные, использование **30.МБ.63**
- электролиз; мембраны, ядерные, использование **30.МБ.72**
- сточные воды очистка био**
городские; фильтры **30.МБ.9**
- ультрафильтрация; микрофильтрация **30.МБ.62**
- стронций кобальтита-^{*}барий-ферриты; мембраны **30.МБ.84****
- структура-свойства взаимосвязь**

- мембраны полимерные; полиуретаны **30.МБ.47**
сульфиды определение
 газы анализ; мембраны, использование **30.МБ.42**
текстильная промышленность
 сточные воды очистка; наночистота **30.МБ.75**
технология
 комплексная; нефть, удаление **30.МБ.107**
 металлы; пористые материалы, мембраны, приготовление **30.МБ.89**
титан диоксид
 электрические свойства; наноструктуры, нанопроволока **30.МБ.78**
ткани
 отложения, узелковые; фильтры, рукавные **30.МБ.65**
токсичность
 ультрафильтрация; мембраны, характеристики **30.МБ.74**
топливные элементы
 аноды, катоды, органические топлива, твердые мембраны Nafion **30.МБ.136**
 мембраны полимерные; полибензимидазолы **30.МБ.1**
 мембраны, протонообменная; катализаторы **30.МБ.13**
 моделирование математическое; мембраны, протонообменные **30.МБ.14**
 полимерные электролитные мембраны, катализаторные слои, защитные пленки **30.МБ.146**
 - электродные катализаторные слои, газодиффузионные электродные слои, электродные пластины, охлаждающие жидкости **30.МБ.145**
 твердые электролитные мембраны, ионообменные полимерные пленки, частицы диоксида кремния, методы определения дисперсности **30.МБ.137**
топливо
 хранение; резервуары, углеводородное **30.МБ.150**
транспорт
 молекулярный; ионный перенос **30.МБ.116**
 селективный; медь, ионные, тройные, системы **30.МБ.73**
 электро; аммоний, тетраалкил-, ионы **30.МБ.41**
углеводороды
 летучие, удаление; газы очистка **30.МБ.150**
 низкие; разделение **30.МБ.120**
углерод
 ПЛ, осаждение; молекулярные сита **30.МБ.100**
 топливные элементы; мембраны, протонообменная **30.МБ.13**
углерод диоксид
 абсорбция; газы отходящие очистка **30.МБ.4**
 удаление; мембраны, аminosиликатные, применение **30.МБ.64**
 - ТЭС на природном газе **30.МБ.44**
ультрафильтрация
 вода технология, способ, устройство **30.МБ.130**
 композиционные материалы, нано-; мембраны **30.МБ.105**
 мембраны полимерные; полиакрилонитрил **30.МБ.80**
 - полиамидокислоты **30.МБ.19**
 мембраны, использование; ультрафильтрация **30.МБ.106**
 - характеристики; сточные воды очистка **30.МБ.74**
 - масла, пищ., очистка, способ **30.МБ.2**
 пиво, производство; сточные воды очистка **30.МБ.61**
 сточные воды очистка био; микрофильтрация **30.МБ.62**
 сточные воды очистка, муниципальные, повторное использование; мембраны, использование **30.МБ.60**
 - серые; фильтрация **30.МБ.91**
 - морепродукты, производство **30.МБ.12**
 ультрафильтрация; мембраны, использование **30.МБ.106**
 фильтрация; вода очистка **30.МБ.141**
упаковка
 мембраны; пленки, прозрачные **30.МБ.105**
фазы
 разделение; материалы **30.МБ.3**
фильтрация
 адсорбция, обратимая; мембраны, использование **30.МБ.70**
 нано-; красители, раствор **30.МБ.46**
 перекрестная; мембраны **30.МБ.67**
 под давлением; мембраны **30.МБ.68**
 системы; насосы, подбор **30.МБ.94**
 сточные воды очистка, серые; мембраны, использование **30.МБ.91**
фильтрация
 вода очистка; мембраны, коагуляция, предотвращение **30.МБ.141**
 вода технология; мембраны, использование **30.МБ.149**
 реакторы, био; донные отложения, ил, смеси **30.МБ.142**
 способ, устройство; вода технология **30.МБ.129**
 фильтрация; реакторы, био **30.МБ.142**
 фильтры, очистка, объединение; мембраны, использование **30.МБ.139**
фильтрующие материалы
 состав; защитная одежда **30.МБ.143**
фильтры
 волокна, полые, использование; разделение **30.МБ.33**
 -- фильтрация **30.МБ.70**
 керамика; вода очистка **30.МБ.76**
 мембраны, интегрирование; сточные воды очистка био, городские **30.МБ.9**
 очистка; объединение **30.МБ.139**
 рукавные; ткани, отложения, узелковые **30.МБ.65**
фосфорил соединения
 мембраны, растворимые; кислоты, неорганические, транспорт **30.МБ.77**
фуллерены
 использование; испарение, диффузионное **30.МБ.108**
 - мембраны **30.МБ.109**
 мембраны полимерные; полифениленоксиды **30.МБ.98**
 мембраны, трековые; лавсан, модифицированный **30.МБ.31**
хранение
 резервуары, углеводородное; топливо **30.МБ.150**
целлюлоза
 мембраны полимерные; разделение **30.МБ.17**
целлюлоза ацетаты
 сточные воды очистка; морепродукты, производство **30.МБ.12**
цеолиты
 MFI; мембраны **30.МБ.45**
 мембраны; силирование, механизм **30.МБ.38**
 монокристаллы; мембраны **30.МБ.27**
цианиды
 удаление; сточные воды очистка **30.МБ.63**
цирконий диоксид
 мембраны; композиционные материалы, трехслойные **30.МБ.134**
частицы
 влияние; адсорбенты **30.МБ.67**
 мембраны; оксиды, мультиметаллические **30.МБ.135**
 ферроксаны $_{(Fe(O)[x](OH)[y](O[2]CR)[z])_n}$; керамика, состав **30.МБ.132**
ЭВМ применение
 жидкости; пузырьки, тейлоровские **30.МБ.102**
электрические свойства
 наноструктуры, нанопроволока; титан диоксид **30.МБ.78**
электроды
 мембраны полимерные; гели **30.МБ.115**
 новые свинецселективные; материалы, сложнокислотные **30.МБ.114**
электрокинетические явления
 транспорт, электро; аммоний, тетраалкил-, ионы **30.МБ.41**
электролиз
 мембраны, ядерные, использование; сточные воды очистка **30.МБ.72**
электронный перенос
 ионный перенос; полианилины **30.МБ.55**
электропроводность
 колебания; мембраны **30.МБ.40**
 мембраны, MA-11; этиленгликоль, растворы водно-щелочные **30.МБ.112**
электрохимическая реакция
 использование; соли, растворы, концентрированные утилизация **30.МБ.92**
электрохимические свойства
 мембраны; полианилины, легирование **30.МБ.109**
эмульгирование
 мембранное; эмульсии, двойные, приготовление **30.МБ.7**
эмульсии
 двойные, приготовление; эмульгирование, мембранное **30.МБ.7**
 M/V, получение, свойства; мембраны, использование **30.МБ.104**
 M/V, приготовление; процессы и аппараты химической технологии **30.МБ.71**

энергетикатопливная; ионный перенос **30.МБ.116****этиленгликоль**растворы водно-щелочные; мембраны, МА-11 **30.МБ.112****этиловый спирт**вода, смеси; вода, состояние **30.МБ.83**-- массоперенос **30.МБ.53****ЯМР**ионный перенос; транспорт, молекулярный **30.МБ.116****Авторский указатель**

- Abbasi K. **30.МБ.59**
 Ahn Sang-Man **30.МБ.79**
 Ahunbay M. Goktug **30.МБ.25, 30.МБ.27**
 Albizane A. **30.МБ.74**
 Alvarez Franklin R. **30.МБ.86**
 Aminabhavi T. M. **30.МБ.105**
 Anderson W. **30.МБ.96**
 Anjum Nishat **30.МБ.6**
 Atkin Micah **30.МБ.50**
 Auddy Kausick **30.МБ.46**
 Badel X. **30.МБ.103**
 Bai Wenjing **30.МБ.71**
 Ballschuh Detlef **30.МБ.144**
 Barth Bernhardt **30.МБ.146**
 Belt Heinz-Joachim **30.МБ.123**
 Ben Amar R. **30.МБ.12**
 Bhattacharyya D. **30.МБ.17**
 Bixio D. **30.МБ.60**
 Blaker J. J. **30.МБ.51**
 Boccaccini A. R. **30.МБ.51**
 Bolhuis-Versteeg Lydia **30.МБ.98**
 Boom R. M. **30.МБ.7**
 Bouhria M. **30.МБ.74**
 Boussu Katleen **30.МБ.85**
 Brepols Christoph **30.МБ.9**
 Brinker C. Jeffrey **30.МБ.64**
 Britz Peter **30.МБ.145**
 Buess-Herman C. **30.МБ.113**
 Burns C. M. **30.МБ.96**
 Cammers-Goodwin A. **30.МБ.17**
 Campos J. L. **30.МБ.36**
 Cao Jun **30.МБ.14**
 Caro J. **30.МБ.101**
 Casado C. **30.МБ.30**
 Cattrall Robert **30.МБ.50**
 Chang C.-P. **30.МБ.73**
 Chen Bing-Hung **30.МБ.4**
 Chen Caifeng **30.МБ.10**
 Chen P. **30.МБ.88**
 Chen Weixiang **30.МБ.13**
 Childress Amy E. **30.МБ.10**
 Choi Jinsub **30.МБ.78**
 Choi Pyoung-ho **30.МБ.21**
 Choi Sang Kyo **30.МБ.78**
 Chou Ju **30.МБ.28**
 Chun Hee Dong **30.МБ.78**
 Ciocco Michael V. **30.МБ.39**
 Cornelis Geert **30.МБ.85**
 Cretin M. **30.МБ.74**
 Cugini Anthony V. **30.МБ.39**
 Dahlmanns Frank **30.МБ.145**
 DasGupta Sunando **30.МБ.46**
 Datta Ravindra **30.МБ.21**
 Daugherty Joanne L. **30.МБ.10**
 Day R. M. **30.МБ.51**
 De Sirshendu **30.МБ.46**
 Devreese Ilse **30.МБ.85**
 Dickey Michael **30.МБ.56**
 Dittmeyer Roland **30.МБ.134**
 Dizene Rabah **30.МБ.67**
 Djilali Ned **30.МБ.14**
 Dosoretz Carlos **30.МБ.91**
 Ebert Katrin **30.МБ.18**
 Elliott J. Richard (Jr) **30.МБ.25, 30.МБ.27**
 Ellouze E. **30.МБ.12**
 Engelhardt Norbert **30.МБ.9**
 Erb Michael **30.МБ.124**
 Falconer John L. **30.МБ.38**
 Fan Fangjuan **30.МБ.89**
 Farrusseno David **30.МБ.135**
 Feng Li **30.МБ.61**
 Feng X. **30.МБ.96**
 Ferjani E. **30.МБ.12**
 Fletcher D. F. **30.МБ.102**
 Frank Harvey A. **30.МБ.136**
 Fuji Masayoshi **30.МБ.45**
 Gan Leong Ming **30.МБ.13**
 Garrido J. M. **30.МБ.36**
 Gavalas George R. **30.МБ.22**
 Georgi G. **30.МБ.101**
 Gil M. P. **30.МБ.58**
 Gille Gerhard **30.МБ.124**
 Goedel Werner A. **30.МБ.48**
 Gomes Dominique **30.МБ.97**
 Gorn D. **30.МБ.30**
 Green Michal **30.МБ.91**
 Gu Ren-zheng **30.МБ.61**
 Gupta Bhuvanesh **30.МБ.6**
 Ha Jong-Wook **30.МБ.79**
 Hagg May-Britt **30.МБ.44**
 Halpert Gerald **30.МБ.136**
 Han Binbing **30.МБ.63**
 Han Ling **30.МБ.29**
 Haring Wolfgang **30.МБ.134**
 Harvey Erol **30.МБ.50**
 Hasegawa Susumu **30.МБ.149**
 Hennige Volker **30.МБ.151**
 Hexels Gerd **30.МБ.143**
 Hirai Kiyoshi **30.МБ.149**
 Hiraide Masataka **30.МБ.26**
 Hirose Masahiko **30.МБ.5**
 Hock Martin **30.МБ.134**
 Hohenthanner Claus-Rupert Dr. **30.МБ.146**
 Hollein Volker **30.МБ.134**
 Hollman Aaron M. **30.МБ.17**
 Hong Franklin Chau-Nan **30.МБ.100**
 Hong Liang **30.МБ.13**
 Hong Mei **30.МБ.38**
 Horpel Gerhard **30.МБ.151**
 Howard Bret H. **30.МБ.39**
 Howener Jens **30.МБ.142**
 Huang Ke-long **30.МБ.15**
 Huang R. Y. M. **30.МБ.96**
 Huang X. **30.МБ.2**
 Huang Yan **30.МБ.134**
 Huisman Ingmar H. **30.МБ.11**
 Hying Christian **30.МБ.151**
 Irisawa Jun **30.МБ.52**
 Ito Yutaka **30.МБ.149**
 Jain Rachna **30.МБ.6**
 Jalani Nikhil H. **30.МБ.21**
 Jefferson B. **30.МБ.37**
 Jerome R. **30.МБ.51**
 Ji G. **30.МБ.88**
 Jiang Jin **30.МБ.61**
 Jing Wenheng **30.МБ.71**
 Joulie Regis **30.МБ.67**
 Judd S. J. **30.МБ.37**
 Jung Bumsuk **30.МБ.80**
 Kageyama Tomohiro **30.МБ.26**
 Karakoti Preeti **30.МБ.39**
 Kariduraganavar Mahadevappa Y. **30.МБ.82**
 Kataeva Ljubov I. **30.МБ.90**
 Khan S. **30.МБ.60**
 Khayet M. **30.МБ.66**
 Killmeyer Richard P. **30.МБ.39**
 Kim Bokyoung **30.МБ.80**
 Kim Jeong-Hoon **30.МБ.79**
 Kittur Arjumand A. **30.МБ.82**
 Klapper Klaus **30.МБ.134**
 Kocherginsky N. M. **30.МБ.109**
 Kocherginsky Nikolai M. **30.МБ.55**
 Kolsch P. **30.МБ.101**
 Kolsch Peter **30.МБ.144**
 Kostorz G. **30.МБ.3**
 Kuhnhold Heike **30.МБ.146**
 Kulkarni Srikant S. **30.МБ.82**
 Kuznetsov V. M. **30.МБ.108**
 Lambrich U. **30.МБ.104**
 Langlais Chrystelle **30.МБ.141**
 Laninovic V. **30.МБ.49**
 Larbot A. **30.МБ.74**
 Lascombes Jean Jacques **30.МБ.130**
 Lazarova V. **30.МБ.36**
 Le-Chech P. **30.МБ.37**
 Le-Clech Pierre **30.МБ.10**
 Lee Jaeyoung **30.МБ.78**
 Lee Jeakwang **30.МБ.78**
 Lee Jim Yang **30.МБ.13**
 Lee Soo-Bok **30.МБ.79**
 Lee Yong-Taek **30.МБ.79**
 Lei Wen **30.МБ.55**
 Lena P. **30.МБ.35**
 Leslie Greg L. **30.МБ.10**
 Li J.-L. **30.МБ.4**
 Li Xian-feng **30.МБ.47**
 Li Zhonghong **30.МБ.89**
 Lindbrathen Arne **30.МБ.44**
 Linnros J. **30.МБ.103**
 List G. **30.МБ.58**
 Liu Guojun **30.МБ.56**
 Liu Qi-zhi **30.МБ.1**
 Liu Shaomin **30.МБ.22**
 Liu Su-qin **30.МБ.15**
 Liu Zhaolin **30.МБ.13**
 Liu Zhaoming **30.МБ.24**
 Liu Zhen-Mei **30.МБ.16**
 Lopes Cristiane N. **30.МБ.75**
 Lv Bing-nan **30.МБ.61**
 Madaeni S. S. **30.МБ.59**
 Mallikarjuna N. N. **30.МБ.105**
 Maquet V. **30.МБ.51**
 Martin Udo **30.МБ.145**
 Matsuda Tsutomu **30.МБ.149**
 Matsumiya Hiroaki **30.МБ.26**
 McFarland Eric W. **30.МБ.28**
 Meese-Marktscheffel Juliane **30.МБ.124**
 Melin T. **30.МБ.60**
 Mendez R. **30.МБ.36**
 Mengual J. I. **30.МБ.66**
 Messouadi A. **30.МБ.74**
 Metiu Horia **30.МБ.28**
 Mikami Masuhiro **30.МБ.52**
 Millington Chris R. **30.МБ.18**
 Miri Rachid **30.МБ.67**
 Mirodatos Claude **30.МБ.135**
 Morreale Bryan D. **30.МБ.39**
 Mukherji D. **30.МБ.3**
 Muston M. **30.МБ.60**
 Nakajima M. **30.МБ.104**
 Narayanan Sekharipuram R. **30.МБ.136**
 Nath O. **30.МБ.3**
 Ndinisa N. V. **30.МБ.102**
 Neff W. **30.МБ.58**
 Nijmeijer Arian **30.МБ.18**
 Noack M. **30.МБ.101**
 Noack Manfred **30.МБ.144**
 Noble Richard D. **30.МБ.38**
 Nonaka Shinichi **30.МБ.149**
 Nunes Suzana P. **30.МБ.97**
 Nys Jacques **30.МБ.87**
 Olah George A. **30.МБ.136**
 Olbrich Armin **30.МБ.124**
 Ortiz I. **30.МБ.30**
 Ou S. **30.МБ.2**
 Oyanedel V. **30.МБ.36**
 Pal R. **30.МБ.96**
 Peinemann Klaus-Viktor **30.МБ.97**
 Penkova A. V. **30.МБ.108**
 Persin M. **30.МБ.74**
 Petrus Jose Carlos C. **30.МБ.75**
 Pigozzi G. **30.МБ.3**
 Pintauro P. N. **30.МБ.58**
 Poetter Karl **30.МБ.50**
 Polotskaya G. A. **30.МБ.108**
 Prakash G. K. **30.МБ.136**
 Pu Hong-ting **30.МБ.1**
 Qiu Nongxue **30.МБ.89**

- Rahimi M. **30.МБ.59**
 Rajendra Kumar R. T. **30.МБ.103**
 Ramona Guy **30.МБ.91**
 Raspe Onno J. A. **30.МБ.139**
 Rebeilleau Michael **30.МБ.135**
 Revagade Nilesh **30.МБ.6**
 Rhee Hee-Woo **30.МБ.80**
 Riella Humberto G. **30.МБ.75**
 Riera Michel **30.МБ.140**
 Robinson John P. **30.МБ.18**
 Rosler J. **30.МБ.3**
 Rouillet Robert **30.МБ.87**
 Rousset Jean Luc **30.МБ.135**
 Rushworth Simon **30.МБ.135**
 Saffaj N. **30.МБ.74**
 Schafer A. **30.МБ.60**
 Schafer Heinrich **30.МБ.9**
 Schafer Ronald **30.МБ.144**
 Scherrer Noah T. **30.МБ.17**
 Schmitz F. **30.МБ.3**
 Schroen C. G. P. H. **30.МБ.7**
 Schubert H. **30.МБ.104**
 Schuch R. **30.МБ.103**
 Schwarze Thomas **30.МБ.123**
 Seefeld V. **30.МБ.101**
 Seipel Peter **30.МБ.146**
 Semiat Raphael **30.МБ.91**
 Shao P. **30.МБ.88, 30.МБ.96**
 Shen Li-Qiang **30.МБ.99**
 Shen Zhisong **30.МБ.63**
 Shi Tie-jun **30.МБ.81**
 Shimada Mitsushige **30.МБ.149**
 Shinoda Wataru **30.МБ.52**
 Sholl David S. **30.МБ.39**
 Singh Harpal **30.МБ.6**
 Stamatalis Dimitrios F. **30.МБ.98**
 Stelzer Jean Boris **30.МБ.144**
 Sterescu Dana M. **30.МБ.98**
 Stoller Viktor **30.МБ.124**
 Surampudi Subbarao **30.МБ.136**
 Suzuki Kenji **30.МБ.137**
 Syckmanov D. A. **30.МБ.109**
 Takada Akira **30.МБ.52**
 Takahashi Minoru **30.МБ.45**
 Takata Kazutaka **30.МБ.149**
 Talu Orhan **30.МБ.25, 30.МБ.27**
 Tan Ning **30.МБ.15**
 Tanida Katsuyoshi **30.МБ.149**
 Tarleton E. Steve **30.МБ.18**
 Thoeye C. **30.МБ.60**
 Toikka A. M. **30.МБ.108**
 Toussaint P. **30.МБ.101**
 Toussaint Petra **30.МБ.144**
 Tsai Chung-Yi **30.МБ.64**
 Tsuzuki Seiji **30.МБ.52**
 Uemura Masahiro **30.МБ.149**
 Ugrozov Valeri V. **30.МБ.90**
 Ulbricht Mathias **30.МБ.16**
 Urata Shingo **30.МБ.52**
 Urtiaga A. **30.МБ.30**
 Vamos Eugene **30.МБ.136**
 Van der Bruggen Bart **30.МБ.85**
 Van der Graaf S. **30.МБ.7**
 van der Vegt Nico F. A. **30.МБ.98**
 Van Veen Andre **30.МБ.135**
 Vandecasteele Carlo **30.МБ.85**
 Vane Leland M. **30.МБ.86**
 Vico S. **30.МБ.113**
 Viktor G. **30.МБ.103**
 Vivier Michel **30.МБ.87**
 Vladislavljevic G. T. **30.МБ.104**
 Wa Ling-Shu **30.МБ.16**
 Wang Hua-lin **30.МБ.81**
 Wang Jau-Kai **30.МБ.73**
 Wang Jian-qin **30.МБ.99**
 Wang Jin-Qu **30.МБ.29**
 Wang Liang-Jun **30.МБ.100**
 Wang Shu-Yuan **30.МБ.99**
 Wang Y. **30.МБ.2**
 Wang Z. **30.МБ.109**
 Wang Zheng **30.МБ.55**
 Wang Zhen-Gang **30.МБ.99**
 Warner K. **30.МБ.58**
 Wessling Matthias **30.МБ.98**
 Wickramasinghe S. Ranil **30.МБ.63**
 Wiley D. E. **30.МБ.102**
 Williams Kevin **30.МБ.11**
 Willson C. Grant **30.МБ.56**
 Wintgens T. **30.МБ.60**
 Wu J. **30.МБ.2**
 Wu Jian **30.МБ.16**
 Xiao Chang-fa **30.МБ.47**
 Xing Weihong **30.МБ.71**
 Xomeritakis George **30.МБ.64**
 Xu Nanping **30.МБ.71**
 Xu Tongwen **30.МБ.24**
 Xu You-Yi **30.МБ.99**
 Xu Zhi-Kang **30.МБ.16, 30.МБ.99**
 Yan Feng **30.МБ.48**
 Yan Xiaohu **30.МБ.56**
 Yang Gongming **30.МБ.89**
 Yang Weihua **30.МБ.24**
 Yoon Joon Ki **30.МБ.80**
 Younssi S. Alami **30.МБ.74**
 Zhai Lin-feng **30.МБ.81**
 Zhang Fa-Zhi **30.МБ.45**
 Zhang Li-qiu **30.МБ.61**
 Zhang Wei **30.МБ.71**
 Zhang Z. **30.МБ.2**

- Андрианов А. П. **30.МБ.106**
 Атаева О. В. **30.МБ.127**
 Баннова Е. А. **30.МБ.111**
 Белоглазов В. А. **30.МБ.20, 30.МБ.53, 30.МБ.83**
 Березина Н. П. **30.МБ.41**
 Билалов О. М. **30.МБ.127**
 Бирюлин Ю. Ф. **30.МБ.31**
 Бобрешова О. В. **30.МБ.112**
 Бон А. И. **30.МБ.127**
 Бузин О. И. **30.МБ.138**
 Вараксин С. О. **30.МБ.92**
 Волков В. В. **30.МБ.138**
 Волков В. И. **30.МБ.116**
 Воротынцев В. М. **30.МБ.69**
 Гарифзянов А. Р. **30.МБ.77**
 Гелис В. М. **30.МБ.110**
 Герасимова Е. Л. **30.МБ.115**
 Гиганов Г. П. **30.МБ.43**
 Горлова Г. Л. **30.МБ.127**
 Десятникова И. Ю. **30.МБ.117**
 Дмитриев Е. А. **30.МБ.57**
 Дроздов П. Н. **30.МБ.121, 30.МБ.69**
 Дубяга В. П. **30.МБ.127**
 Дьяконова О. В. **30.МБ.19**
 Дьячкова Н. Г. **30.МБ.112**
 Елисеева Т. В. **30.МБ.19**
 Ерохина Л. В. **30.МБ.107**
 Жданов Г. С. **30.МБ.111**
 Загородных Л. А. **30.МБ.112**
 Захаров С. Л. **30.МБ.34**
 Зяблов А. Н. **30.МБ.19**
 Иванов А. В. **30.МБ.118**
 Ильин В. И. **30.МБ.72, 30.МБ.76, 30.МБ.92**
 Кабанов О. В. **30.МБ.119**
 Казенин Д. А. **30.МБ.70**
 Казюта В. И. **30.МБ.65**
 Калинина Л. А. **30.МБ.42**
 Кауль А. Р. **30.МБ.84**
 Кацерева О. В. **30.МБ.119**
 Кириллов Ю. П. **30.МБ.69**
 Киристаев А. В. **30.МБ.62**
 Китаева Н. К. **30.МБ.111**
 Козлитин Е. А. **30.МБ.110**
 Козлов М. П. **30.МБ.127**
 Колесников В. А. **30.МБ.72, 30.МБ.76, 30.МБ.92**
 Колотыгин В. А. **30.МБ.114**
 Комягин Е. А. **30.МБ.119**
 Кононенко Н. А. **30.МБ.41**
 Коптев В. **30.МБ.8**
 Костецкий Ю. Ю. **30.МБ.31**
 Котов В. В. **30.МБ.19, 30.МБ.20, 30.МБ.53, 30.МБ.54, 30.МБ.83**
 Кудояров М. Ф. **30.МБ.31**
 Кузенков Н. В. **30.МБ.32**
 Литвинова Е. Г. **30.МБ.138**
 Лопатюк Ю. Ю. **30.МБ.119**
 Медведева О. В. **30.МБ.42**
 Мельников Н. В. **30.МБ.127**
 Милованов С. **30.МБ.8**
 Милютин В. В. **30.МБ.110**
 Морозова К. М. **30.МБ.62**
 Муйдинов Р. Ю. **30.МБ.84**
 Мурын И. В. **30.МБ.42**
 Мынин В. Н. **30.МБ.119**
 Нетесова Г. А. **30.МБ.20, 30.МБ.53, 30.МБ.83**
 Нецадимов Н. А. **30.МБ.23**
 Остроушко А. А. **30.МБ.115**
 Павлинова И. И. **30.МБ.118**
 Павлова В. Ф. **30.МБ.107**
 Паршина Ю. И. **30.МБ.72, 30.МБ.92**
 Патрова М. Я. **30.МБ.31**
 Первов А. Г. **30.МБ.106**
 Перегончая О. В. **30.МБ.54**
 Петров А. **30.МБ.8**
 Поворов А. А. **30.МБ.107**
 Подкорытов А. Л. **30.МБ.114**
 Поляков Ю. С. **30.МБ.33, 30.МБ.70**
 Попова М. Н. **30.МБ.84**
 Прохорова Т. В. **30.МБ.57**
 Резцов Ю. **30.МБ.8**
 Рудакова М. А. **30.МБ.117**
 Рыков С. В. **30.МБ.118**
 Селеменев В. Ф. **30.МБ.19**
 Сенников М. Ю. **30.МБ.115**
 Скаковский Е. Д. **30.МБ.118**
 Соколова Е. В. **30.МБ.114**
 Станкевич В. М. **30.МБ.68**
 Ськманов Д. А. **30.МБ.31**
 Терпугов Г. В. **30.МБ.119, 30.МБ.76**
 Тертышная Е. В. **30.МБ.95**
 Тертышный О. А. **30.МБ.95**
 Тихонов Н. А. **30.МБ.40**
 Трушин А. М. **30.МБ.57**
 Тычинская Л. Ю. **30.МБ.118**
 Устюгова И. С. **30.МБ.114**
 Ушаков Н. В. **30.МБ.138**
 Ушакова Ю. Н. **30.МБ.42**
 Филиппов А. В. **30.МБ.117**
 Финкельштейн Е. Ш. **30.МБ.138**
 Фоминых Е. Г. **30.МБ.42**
 Фролова В. В. **30.МБ.19**
 Хайлова Н. В. **30.МБ.127**
 Хотимский В. С. **30.МБ.138**
 Чайка Е. Н. **30.МБ.57**
 Черкасов Р. А. **30.МБ.77**
 Швецов В. Н. **30.МБ.62**
 Шиненкова Н. А. **30.МБ.107**
 Широкова Г. И. **30.МБ.42**
 Ширшова Н. В. **30.МБ.77**
 Шкирская С. А. **30.МБ.41**
 Шумаков М. Г. **30.МБ.127**

Указатель источников

- 55 Annual Meeting of the International Society of Electrochemistry "Electrochemistry: From Nanostructures to Power Plants", Thessaloniki, 19-24 Sept., 2004. 2004 **30.МБ.113**
7 Biennial International Workshop in Russia "Fullerenes and Atomic Clusters" (IWFAC'2005), St. Petersburg, June 27-July 1, 2005: Book of Abstracts. 2005 **30.МБ.108, 30.МБ.109**
Adsorption. 2005. 11, прил. 1 **30.МБ.27**
Anal. and Bioanal. Chem.. 2004. 379, № 7-8 **30.МБ.26**
Chem. Eng. Res. and Des.. 2005. 83, № 1 **30.МБ.102**
Chin. J. Polym. Sci.. 2005. 23, № 2 **30.МБ.47**
Colloids and Surfaces. A. 2004. 232, № 2-3 **30.МБ.104**
Desalination. 2004. 164, № 3 **30.МБ.73**
Desalination. 2004. 165 **30.МБ.11**
Desalination. 2004. 168 **30.МБ.66, 30.МБ.67, 30.МБ.74, 30.МБ.90**
Desalination. 2004. 170, № 3 **30.МБ.91**
Desalination. 2005. 172, № 1 **30.МБ.75**
Desalination. 2005. 173, № 2 **30.МБ.37**
Desalination. 2005. 177, № 1-3 **30.МБ.12**
Desalination. 2005. 178, № 1-3 **30.МБ.60**
Desalination. 2005. 180, № 1-3 **30.МБ.10**
Dianyuan jishu=Chin. J. Power Sources. 2004. 28, № 12 **30.МБ.15**
Gaofenzi cailiao kexue yu gongcheng=Polym Mater. Sci. Technol.. 2005. 21, № 1 **30.МБ.1**
Gaofenzi cailiao kexue yu gongcheng=Polym Mater. Sci. Technol.. 2005. 21, № 3 **30.МБ.81**
Gongneng gaofenzi xuebao=J. Funct. Polym.. 2005. 18, № 2 **30.МБ.99**
Guocheng gongcheng xuebao=Chin. J. Process Eng.. 2005. 5, № 4 **30.МБ.29**
Huagong xuebao=J. Chem. Ind. and Eng. (China). 2004. 55, № 2 **30.МБ.71**
Hydroplus. 2004. 16, № 149 **30.МБ.35**
Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 11 **30.МБ.38**
Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 16 **30.МБ.58**
Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 20 **30.МБ.44, 30.МБ.85**
Ind. and Eng. Chem. Res.. 2005. 44, № 9 **30.МБ.18**
J. Amer. Ceram. Soc.. 2005. 88, № 8 **30.МБ.45**
J. Chem. Technol. and Biotechnol.. 2005. 80, № 2 **30.МБ.36**
J. Chem. Technol. and Biotechnol.. 2005. 80, № 4 **30.МБ.30**
- 4 Международный конгресс по управлению отходами (ВэйстТэк-2005), Москва, 31 мая-3 июня, 2005: Сборник докладов. 2005 **30.МБ.107**
Водоочистка. 2005, № 1 **30.МБ.8**
Вопр. химии и хим. технол.. 2005, № 2 **30.МБ.95**
Высокомолекул. соед.. 2005. 47, № 7 **30.МБ.49**
Докл. РАН. 2005. 402, № 2 **30.МБ.84**
Ж. общ. химии. 2005. 75, № 4 **30.МБ.77**
Ж. физ. химии. 2005. 79, № 8 **30.МБ.40**
Заявка:10315758:Германия, МПК⁷ H 01 M 8/02, H 01 M 8/22. Viessmann Werke GmbH and Co KG, Martin Udo, Britz Peter, Dahlmanns Frank. №10315758.1; Заявл. 04.04.2003; Опубл. 21.10.2004. Нем. **30.МБ.145**
Заявка:10318372:Германия, МПК⁷ B 01 D 71/02. Inst. fur Angewandte Chemie Berlin-Adlershof e. V., 12489 Berlin, DE, Noack Manfred, Schafer Ronald, Kolsch Peter, Toussaint Petra, Stelzer Jean Boris, Ballschuh Detlef. №10318372.8; Заявл. 14.04.2003; Опубл. 18.11.2004. Нем. **30.МБ.144**
Заявка:10322715:Германия, МПК⁷ B 01 D 71/02, C 23 F 15/00. Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE, Dechema e. V., 60486 Frankfurt, Dittmeyer Roland, Hock Martin, Huang Yan, Haring Wolfgang, Hollein Volker, Klapper Klaus. №10322715.6; Заявл. 20.05.2003; Опубл. 09.12.2004. Нем. **30.МБ.134**
Заявка:10335696:Германия, МПК⁷ A 62 D 5/00. Techplorer GmbH, Hexels Gerd. №10335696.7; Заявл. 05.08.2003; Опубл. 10.03.2005. Нем. **30.МБ.143**
Заявка:10341727:Германия, МПК⁷ C 01 G 1/00, C 01 G 39/00. H.C. Staarck GmbH, Stoller Viktor, Olbrich Armin, Meese-Marktscheffel Juliane, Erb Michael, Gille Gerhard. №10341727.3; Заявл. 10.09.2003; Опубл. 28.04.2005. Нем. **30.МБ.124**
Заявка:10344738:Германия, МПК⁷ B 01 D 53/38, B 01 D 53/74. Solvay Fluor und Derivate GmbH, Belt Heinz-Joachim, Schwarze Thomas. №10344738.5; Заявл. 26.09.2003; Опубл. 14.04.2005. Нем. **30.МБ.123**
Заявка:10347569:Германия, МПК⁷ B 01 D 71/02. Degussa AG, Hennige Volker, Hying Christian, Horpel Gerhard. №10347569.9; Заявл. 14.10.2003; Опубл. 02.06.2005. Нем. **30.МБ.151**
Заявка:13823777:ЕПВ, МПК⁷ B 01 D 65/04. TUCHENHAGEN GmbH, Raspe Onno J. A.. №020157780; Заявл. 15.07.2005; Опубл. 21.01.2004. Англ. **30.МБ.139**
Заявка:1492184:ЕПВ, МПК⁷ H 01 M 4/88, H 01 M 8/10. Umicore AG and Co. KG, Hohenthanner Claus-Rupert Dr., Kuhnhold Heike, Barth Bernhardt, Seipel Peter. №03014405.9; Заявл. 27.06.2003; Опубл. 29.12.2004. Нем. **30.МБ.146**
Заявка:1508930:ЕПВ, МПК⁷ H 01 M 8/10, H 01 M 8/02. The University of Southern California, California Inst. of technology, Surampudi Subbarao, Narayanan Sekharipuram R., Vamos Eugene, Frank Harvey A., Halpert Gerald, Olah George A., Prakash G. K.. №04019946.5; Заявл. 18.10.1994; Опубл. 23.02.2005. Англ. **30.МБ.136**
J. Harbin Inst. Techn.. 2005. 12, № 4 **30.МБ.61**
J. Macromol. Sci. C. 2004. 44, № 3 **30.МБ.6**
J. Membr. Sci.. 2004. 239, № 1 **30.МБ.17**
J. Membr. Sci.. 2005. 246, № 1 **30.МБ.22, 30.МБ.80, 30.МБ.82, 30.МБ.97**
J. Membr. Sci.. 2005. 247, № 1-2 **30.МБ.79**
J. Membr. Sci.. 2005. 249, № 1-2 **30.МБ.16, 30.МБ.24**
J. Membr. Sci.. 2005. 251, № 1-2 **30.МБ.7**
J. Membr. Sci.. 2005. 254, № 1-2 **30.МБ.21, 30.МБ.96**
J. Membr. Sci.. 2005. 255, № 1-2 **30.МБ.59, 30.МБ.86, 30.МБ.88**
J. Phys. Chem. A. 2005. 109, № 17 **30.МБ.55**
J. Phys. Chem. B. 2005. 109, № 2 **30.МБ.25**
J. Phys. Chem. B. 2005. 109, № 8 **30.МБ.28**
J. Phys. Chem. B. 2005. 109, № 9 **30.МБ.52**
J. Power Sources. 2005. 139, № 1-2 **30.МБ.13**
KA - Abwasser, Abfall. 2005. 52, № 1 **30.МБ.9, 30.МБ.93**
Kagaku to kogyo=Chem. and Chem. Ind.. 2004. 57, № 6 **30.МБ.5**
Liq. et cond.. 2004. 35, № 311 **30.МБ.87**
Macromol. Rapid Commun.. 2004. 25, № 19 **30.МБ.98**
Mater. Sci. and Eng. C. 2005. 25, № 1 **30.МБ.51**
Microporous and Mesoporous Mater.. 2005. 77, № 2-3 **30.МБ.100**
Microporous and Mesoporous Mater.. 2005. 79, № 1-3 **30.МБ.101**
Nano Lett.. 2004. 4, № 7 **30.МБ.48**
Nanotechnology. 2005. 16, № 10 **30.МБ.3**
Nanotechnology. 2005. 16, № 9 **30.МБ.103, 30.МБ.78**
Nongye gongcheng xuebao=Trans. Chin. Soc. Agr. Eng.. 2005. 21, № 1 **30.МБ.89**
Polym. News. 2004. 29, № 6 **30.МБ.105**
Polymer. 2004. 45, № 25 **30.МБ.56**
Proc. SPIE. 2004. 5345 **30.МБ.50**
Science. 2005. 307, № 5709 **30.МБ.39**
Separ. and Purif. Technol.. 2005. 41, № 2 **30.МБ.4**
Separ. and Purif. Technol.. 2005. 42, № 3 **30.МБ.64**
Separ. and Purif. Technol.. 2005. 43, № 1 **30.МБ.46**
Separ. Sci. and Technol.. 2005. 40, № 6 **30.МБ.63**
Trans. ASME. J. Energy Resour. Technol.. 2005. 127, № 1 **30.МБ.14**
Zhongguo youzhi=China Oils and Fats. 2004. 29, № 7 **30.МБ.2**

- Заявка:1512456:ЕПВ, МПК⁷ В 01 D 69/06, В 01 D 63/08. Kobelco Eco-Solutions Co., Ltd, Tanida Katsuyoshi, Nonaka Shinichi, Shimada Mitsushige, Matsuda Tsutomu, Hirai Kiyoshi, Uemura Masahiro, Takata Kazutaka, Ito Yutaka, Hasegawa Susumu. №03723361.6; Заявл. 14.05.2003; Опубли. 09.03.2005: Приор. 16.05.2002, №2002141248(Япония). Англ. **30.МБ.149**
- Заявка:1513212:ЕПВ, МПК⁷ Н 01 М 8/10. JAPAN GORE-TEX, INC., Suzuki Kenji. №04254731.5; Заявл. 06.08.2004; Опубли. 09.03.2005: Приор. 07.08.2003, №2003288854(Япония). Англ. **30.МБ.137**
- Заявка:1516856:ЕПВ, МПК⁷ С 02 F 3/12, С 02 F 3/00. Baumann Markus, Howener Jens. №03020934.0; Заявл. 16.09.2003; Опубли. 23.03.2005. Нем. **30.МБ.142**
- Заявка:2859115:Франция, МПК⁷ В 01 D 71/02. Centre nat de la recherche scientifique cnrs - fr., Farrusseno David, Mirodatos Claude, Rebeilleau Michael, Van Veen Andre, Rushworth Simon, Rousset Jean Luc. №0310258; Заявл. 28.08.2003; Опубли. 04.03.2005. Фр. **30.МБ.135**
- Заявка:2859990:Франция, МПК⁷ С 02 F 1/469, С 02 F 1/48. Sci rhodes Innovation, Riera Michel. №0311128; Заявл. 23.09.2003; Опубли. 25.03.2005. Фр. **30.МБ.140**
- Заявка:2860169:Франция, МПК⁷ В 01 D 37/02, В 01 D 65/08. DEGREMONT SA, Langlais Chrystelle. №0311452; Заявл. 30.09.2003; Опубли. 01.04.2005. Фр. **30.МБ.141**
- Заявка:2860783:Франция, МПК⁷ С 02 F 1/66, В 01 D 61/20. Odost Lab. SA, Lascombes Jean Jacques. №0311856; Заявл. 10.10.2003; Опубли. 15.04.2005. Фр. **30.МБ.130**
- Коллоид. ж.. 2005. 67, № 4 **30.МБ.41**
- Матер., технол., инструм.. 2005. 10, № 2 **30.МБ.68**
- Научная сессия МИФИ - 2005, Москва, 24-28 янв., 2005: Сборник научных трудов. 2005. Т. 9 **30.МБ.120**. Нижегород. гос. техн. ун-т, Нижний Новгород, 2005, 39 с., ил.. Библ. 62. Рус. **30.МБ.121**
- Оборон. комплекс - науч.-техн. прогрессу России. 2005, № 2 **30.МБ.72**
- Пат.:2255795:Россия, МПК⁷ В 01 D 61/14. ОАО "Моск. нефтемаслозавод", ЗАО НПЦ "Владипор", Козлов М. П., Дубяга В. П., Бон А. И., Горлова Г. Л., Мельников Н. В., Хайлова Н. В., Биалов О. М., Атаева О. В., Шумаков М. Г.. №2003116183/15; Заявл. 03.06.2003; Опубли. 10.07.2005. Рус. **30.МБ.127**
- Пат.:2263691:Россия, МПК⁷ С 08 L 83/16. Ин-т нефтехим. синтеза РАН, Волков В. В., Бузин О. И., Ушаков Н. В., Финкельштейн Е. Ш., Хотимский В. С., Литвинова Е. Г.. №2003133700/04; Заявл. 21.11.2003; Опубли. 10.11.2005. Рус. **30.МБ.138**
- Пат.:6723152:США, МПК⁷ В 01 D 53/22. Praxair Technology, Inc., Bikson Benjamin, Ding Yong, Leroux Johann Katz, Nelson Joyce Katz. №10/187124; Заявл. 01.07.2002; Опубли. 20.04.2004; НПК 95/45. Англ. **30.МБ.126**
- Пат.:6770773:США, МПК⁷ С 07 F 15/02. William Marsh Rice Univ., Rose Jerome, Wiesner Mark, Barron Andrew. №10/350759; Заявл. 24.01.2003; Опубли. 03.08.2004; НПК 556/138. Англ. **30.МБ.132**
- Пат.:6802973:США, МПК⁷ В 01 D 71/26. Mykrolis Corp., Cheng Kwok-Shun, Patel Rajnikant B., Gates T. dean. №10/436944; Заявл. 13.05.2003; Опубли. 12.10.2004; НПК 210/500.36. Англ. **30.МБ.147**
- Пат.:680893:США, МПК⁷ С 09 К 7/00. Hydrotreat, Inc., Arnaud Johnny, Beard Franklin. №10/317009; Заявл. 11.12.2002; Опубли. 26.10.2004; НПК 423/212. Англ. **30.МБ.148**
- Пат.:6858147:США, МПК⁷ В 01 D 11/00. Dispersion Technology, Inc., Dukhin Andrei S., Dukhin Stanislav, Goetz Philip J.. №09/928014; Заявл. 03.08.2001; Опубли. 22.02.2005; НПК 210/644. Англ. **30.МБ.131**
- Пат.:6860920:США, МПК⁷ В 01 D 53/22, В 01 D 71/48. L'Air Liquide-SA a l'Etude et l'Exploitation des Procedes George Claude, Simmons John W.. №10/388970; Заявл. 13.03.2003; Опубли. 01.03.2005; НПК 95/49. Англ. **30.МБ.125**
- Пат.:6866698:США, МПК⁷ В 01 D 53/22. Johnson Matthey Public Ltd Co., Erickson Albert William, Paczewski Richard Mark. №10/392144; Заявл. 19.03.2003; Опубли. 15.03.2005; НПК 95/56. Англ. **30.МБ.133**
- Пат.:6866777:США, МПК⁷ В 01 D 25/164. Kuo Joseph. №10/287170; Заявл. 31.10.2002; Опубли. 15.03.2005; НПК 210/225. Англ. **30.МБ.129**
- Пат.:6881336:США, МПК⁷ С 02 F 1/44, В 01 D 63/00. Filmtec Corp., Johnson Jon E.. №10/138775; Заявл. 02.05.2002; Опубли. 19.04.2005; НПК 210/321.76. Англ. **30.МБ.122**
- Пат.:6887300:США, МПК⁷ В 01 D 53/22. CMS Technology Holdings, Inc., Nemser Stuart M.. №10/760169; Заявл. 16.01.2004; Опубли. 03.05.2005; НПК 95/45. Англ. **30.МБ.150**
- Пат.:6913694:США, МПК⁷ В 01 D 39/00. Saehan Ind. Inc., Koo Ja-Young, Hong Sung Pyo, Kang Jin Woo, Kim Howon. №09/992578; Заявл. 06.11.2001; Опубли. 05.07.2005; НПК 210/500.38. Англ. **30.МБ.128**
- Пиво и напитки. 2005, № 3 **30.МБ.32**
- Письма в ЖТФ. 2005. 31, № 12 **30.МБ.31**
- Проблемы теоретической и экспериментальной химии: Тезисы докладов 15 Российской студенческой научной конференции, посвященной 85-летию Уральского государственного университета им. А. М. Горького, Екатеринбург, 19-22 апр., 2005. 2005 **30.МБ.114, 30.МБ.115**
- Проекты развития инфраструктуры города: Сборник научных трудов. 2004. Вып. 4 **30.МБ.106**
- Ресурсы. Технол. Экон.. 2005, № 7 **30.МБ.43**
- Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 2 **30.МБ.83**
- Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 4 **30.МБ.19, 30.МБ.20**
- Сорбц. и хроматогр. процессы. 2005. 5, № 5 **30.МБ.53, 30.МБ.54**
- Сталь. 2005, № 4 **30.МБ.65**
- Структура и динамика молекулярных систем: Сборник тезисов докладов и сообщений на 12 Всероссийской конференции "Яльчик - 2005", Яльчик, 27 июня-2 июля, 2005. 2005 **30.МБ.116, 30.МБ.117, 30.МБ.118, 30.МБ.119**
- Теор. основы хим. технол.. 2005. 39, № 4 **30.МБ.69, 30.МБ.70**
- Теор. основы хим. технол.. 2005. 39, № 5 **30.МБ.33**
- ТЭК: Топлив.-энерг. комплекс. 2005, № 1-2 **30.МБ.23**
- Физ. и химия стекла. 2005. 31, № 3 **30.МБ.42**
- Физико-химические основы новейших технологий XXI века: Международная конференция, посвященная 60-летию создания Института физической химии Российской академии наук, Москва, 30 мая-4 июня, 2005: Сборник тезисов. 2005. Т. 1 **30.МБ.110, 30.МБ.111, 30.МБ.112**
- Хим. пром-сть сегодня. 2005, № 2 **30.МБ.34**
- Хим. пром-сть сегодня. 2005, № 6 **30.МБ.57**
- Экол. пр-ва. 2005, № 1 **30.МБ.76**
- Экол. пр-ва. 2005, № 11 **30.МБ.62**
- Экол. пр-ва. 2005, № 5 **30.МБ.92**
- Энергослужба предприятия. 2005, № 1 **30.МБ.94**

Патентный указатель

Германия	10335696 – 30.МБ.143	ЕПВ	1512456 – 30.МБ.149
10315758 – 30.МБ.145	10341727 – 30.МБ.124	13823777 – 30.МБ.139	1513212 – 30.МБ.137
10318372 – 30.МБ.144	10344738 – 30.МБ.123	1492184 – 30.МБ.146	1516856 – 30.МБ.142
10322715 – 30.МБ.134	10347569 – 30.МБ.151	1508930 – 30.МБ.136	

Россия	6770773 – 30.МБ.132	6866698 – 30.МБ.133	Франция
2255795 – 30.МБ.127	6802973 – 30.МБ.147	6866777 – 30.МБ.129	2859115 – 30.МБ.135
2263691 – 30.МБ.138	680893 – 30.МБ.148	6881336 – 30.МБ.122	2859990 – 30.МБ.140
США	6858147 – 30.МБ.131	6887300 – 30.МБ.150	2860169 – 30.МБ.141
6723152 – 30.МБ.126	6860920 – 30.МБ.125	6913694 – 30.МБ.128	2860783 – 30.МБ.130

Список сокращений

ААС – атомно-адсорбционная спектроскопия	ПК – покрытие
АД – адсорбция	ПЛ – пленка
АРУ – ароматические углеводороды	ПММА – полиметилметакрилат
БПК – биологическое потребление кислорода	ПП – полипропилен
ВА – вольтамперометрия	ПР – проводимость
ВЧ – высокая частота	ПРО – предел обнаружения
ГГ – градуировочный график	ПС – полистирол
ГК – гексан	ПТ – потенциал
ГХ – газовая хроматография	ПТФЭ – политетрафторэтилен
ДДС – додецилсульфат	ПУ – полиуретан
ДИП – детектор с ионизацией в пламени	ПФ – подвижная фаза
ДМФА – диметилформамид	ПФО – полифениленоксид
ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота	ПЭ – полиэтилен
ДС – десорбция	ПЭГ – полиэтиленгликоль
ДСК – дифференциальная сканирующая калориметрия	ПЭО – полиэтиленоксид
ДТА – дифференциальный термический анализ	ПЭТФ – полиэтилентерефталат
ЖК – жидкий кристалл	ПЭФ – полиэфиры
ЖХ – жидкостная хроматография	ПЭФС – полиэфиры сложные
ИК – инфракрасный	РЗЭ – редкоземельный элемент
ИКС – инфракрасная спектроскопия	РК – реактор
ИО – ионный обмен	РНК – рибонуклеиновая кислота
ИОХ – ионообменная хроматография	РСТА – рентгеноструктурный анализ
ИСЭ – ионоселективный электрод	РФА – рентгеновский флуоресцентный анализ
ИХ – ионная хроматография	РЭС – рентгеновская электронная спектроскопия
ККМ – критическая концентрация мицеллообразования	СВ – сточные воды
КЛ – колонка	СГ – силикагель
КМЦ – карбоксиметилцеллюлоза	СК – синтетический каучук
КТ – катализатор	СП – степень полимеризации
ЛМ – люминесценция	СПЛ – сополимер
ЛОС – летучее органическое соединение	СТ – сталь
МБ – мембрана	СФМ – спектрофотометрия
МДФ – мелко-дисперсные фракции	СЭ – селективный электрод
МКП – молярный коэффициент погашения	СЭМ – сканирующая электронная микроскопия
ММ – молекулярная масса	ТБФ – трибутилфосфат
ММА – метилметакрилат	ТГА – термогравиметрический анализ
МНК – метод наименьших квадратов	ТГФ – тетрагидрофуран
МС – масс-спектрометрия	ТСХ – тонкослойная хроматография
МСВИ – масс-спектрометрия вторичных ионов	ТТ – титрование
НПАВ – неионогенное поверхностно-активное вещество	ТЭ – топливный элемент
НФ – неподвижная фаза	ТЭС – теплоэлектростанция
НЧ – низкая частота	УВ – углеводород
ОП – оптическая плотность	УЗ – ультразвук
ПА – полиамиды	УФ – ультрафиолетовый
ПАВ – поверхностно-активное вещество	ФЛ – флуоресценция
ПАК – полиакриловая кислота	ФЭС – фотоэлектронная спектроскопия
ПАН – полиакрилонитрил	ХГ – хроматография
ПВ – поверхность	ХМС – хроматомасс-спектрометрия
ПВДФ – поливинилиденфторид	ХПК – химическое потребление кислорода
ПВС – поливиниловый спирт	Ц – целлюлоза
ПВХ – поливинилхлорид	ЦВА – циклическая вольтамперометрия
ПДК – предельно допустимая концентрация	ЦТ – цеолит
ПДМС – полидиметилсилоксан	Э – электрод
ПИ – полиимиды	Вз – бензоил
ПИА – проточно-инжекционный анализ	Et – этил

Journal of Membrane Science

Volume 275, NO. 1-2, pp. 1-260 (20 April 2006)

Preparation and characterization of fouling-resistant TiO₂ self-assembled nanocomposite membranes •

Pp. 1-5

Tae-Hyun Bae, In-Chul Kim and Tae-Moon Tak

Preparation of alumina membrane from aluminium chloride •

Pp. 6-11

Jiansheng Li, Xiaoyang Wang, Lianjun Wang, Yanxia Hao, Youla Huang, Ye Zhang, Xiuyun Sun and Xiaodong Liu

Hydrophobic barrier: Molecular self-assembly of amphiphilic polyacetylenes within aluminosilicate nanoplatelets •

Pp. 12-16

Dong Wook Kim, Bon-Cheol Ku, Diane Steeves, Ramaswamy Nagarajan, Alexandre Blumstein, Jayant Kumar, Philip W. Gibson, Jo Ann Ratto and Lynne A. Samuelson

Effects of novel silane modification of zeolite surface on polymer chain rigidification and partial pore blockage in polyethersulfone (PES)-zeolite A mixed matrix membranes

Pp. 17-28

Yi Li, Huai-Min Guan, Tai-Shung Chung and Santi Kulprathipanja

Characterizations of the colloidal and microbial organic matters with respect to membrane foulants

Pp. 29-36

Noeon Park, Boksoon Kwon, Sang-Don Kim and Jaeweon Cho

Permeability of zinc ions across ion-exchange membrane of ion-exchange electro dialyzer

Pp. 37-45

Takeshi Nagatani and Naohito Yoshikawa

Preliminary studies on the gelation time of poly(ether sulfones) membrane-forming system with an elongation method

Pp. 46-51

Lianjun Wang, Zhansheng Li, Jizhong Ren, Shu-Guang Li and Chengzhang Jiang

Propene/propane separation with copolyimide membranes containing silver ions

Pp. 52-60

S. Hess, C. Staudt-Bickel and R.N. Lichtenthaler

Hybrid molecularly imprinted membranes for targeted bisphenol derivatives

Pp. 61-69

Kohei Takeda and Takaomi Kobayashi

Modification of porous alumina membranes with n-alkanoic acids and their application in protein adsorption

Pp. 70-81

Chao-Shuan Chang and Shing-Yi Suen

Evaluation of a supported liquid membrane containing a macrocyclic ionophore for selective removal of strontium from nuclear waste solution

Pp. 82-88

Neetika Rawat, P.K. Mohapatra, D.S. Lakshmi, A. Bhattacharyya and V.K. Manchanda

A pH-sensitive EVAL membrane by blending with PAA

Pp. 89-96

Ping-Shan Lai, Ming-Jium Shieh, Chin-Ling Pai, Cheng-Yi Wang and Tai-Horng Young

Correlations between free volume characteristics and pervaporation permeability of novel PVA-GPTMS hybrid membranes

Pp. 97-104

Fubing Peng, Lianyu Lu, Honglei Sun, Yanqiang Wang, Hong Wu and Zhongyi Jiang

Synthesis and characterization of silicotungstic acid based organic-inorganic nanocomposite membrane

Pp. 105-109

S. Shanmugam, B. Viswanathan and T.K. Varadarajan

Preparation and characterization of iron salt embedded electro dialysis Analcime-C zeolite clay composite membrane

Pp. 110-118

Manoj Kumar, Satyam Agarwal, G. Pugazhenth, Anupam Shukla and Anil Kumar

Modified sulfonated poly(arylene ether sulfone)-b-polybutadiene (SPAES-b-PB) membrane for fuel cell applications

Pp. 119-126

Xingpeng Zhang, Shengzhou Liu and Jie Yin

Preparation and characterization of PVA/PAA membranes for solid polymer electrolytes

Pp. 127-133

G.M. Wu, S.J. Lin and C.C. Yang

SPEEKK/polyaniline (PANI) composite membranes for direct methanol fuel cell usages

Pp. 134-140

Xianfeng Li, Dongju Chen, Dan Xu, Chengji Zhao, Zhe Wang, Hui Lu and Hui Na

Studies on the fractionation of β -lactoglobulin from casein whey using ultrafiltration and ion-exchange membrane chromatography

Pp. 141-150

Sangita Bhattacharjee, Chiranjib Bhattacharjee and Siddhartha Datta

Performance of treated and untreated asymmetric polysulfone hollow fiber membrane in series and cascade module configurations for CO₂/CH₄ gas separation system

Pp. 151-165

A.F. Ismail and N. Yaacob

Steady state sorption measurement and the transport mechanism in polymeric membrane during vapor permeation

Pp. 166-174

Kateřina Fialová, Roman Petrychkovych, Meena Sharma and Petr Uchytel

Performance of an inclined-plate membrane bioreactor at zero excess sludge discharge

Pp. 175-186

C.-H. Xing, K. Yamamoto and K. Fukushi

Thermo-responsive sandwiched-like membranes of IPN-PNIPAAm/PAAm hydrogels

Pp. 187-194

Marcos R. Guilherme, Gilsinei M. Campese, Eduardo Radovanovic, Adley F. Rubira, Elias B. Tambourgi and Edvani C. Muniz

Separation of copper(II) from palladium(II) and platinum(IV) by di(2-ethylhexyl)phosphoric acid-based liquid membranes during electro dialysis

Pp. 195-201

T.Zh. Sadyrbaeva

The stability of polymeric membranes in a TiO₂ photocatalysis process

Pp. 202-211

Sze Sze Chin, Ken Chiang and Anthony Gordon Fane

Plasma-treated PDMS-membranes in solvent resistant nanofiltration: Characterization and study of transport mechanism

Pp. 212-219

S. Aerts, A. Vanhulsel, A. Buekenhoudt, H. Weyten, S. Kuypers, H. Chen, M. Bryjak, L.E.M. Gevers, I.F.J. Vankelecom and P.A. Jacobs

Effect of membrane type on cation migration during green tea electromigration and equivalent mass transported calculation

Pp. 220-228

David Labbé and Laurent Bazinet

Post-lens tear-film depletion due to evaporative dehydration of a soft contact lens

Pp. 229-243

F. Fornasiero, J.M. Prausnitz and C.J. Radke

Scattering and tangential momentum accommodation at a 2D adsorbate–solid interface

Pp. 244-254

David Nicholson and Suresh K. Bhatia

Nanocomposite membranes of chemisorbed and physisorbed molecules on porous alumina for environmentally important separations

Pp. 255-260

Asad Javaid, Sergio O. Gonzalez, Eric E. Simanek and David M. Ford

Volume 276, NO. 1-2, pp. 1-308 (1 May 2006)

Synthesis using electrospinning and stabilization of single layer macroporous films and fibrous networks of poly(vinyl alcohol) •

Pp. 1-7

Youliang Hong, Tiejun Shang, Yanyan Li, Lizhu Wang, Ce Wang, Xuesi Chen and Xiabin Jing

Hydrophilisation of polysulphone ultrafiltration membranes by incorporation of branched PEO-block-PSU copolymers •

Pp. 8-15

S.P. Roux, E.P. Jacobs, A.J. van Reenen, C. Morkel and M. Meincken

Structural characterization and mass transfer properties of nonporous-segmented polyurethane membrane: Influence of the hydrophilic segment content and soft segment melting temperature •

Pp. 16-22

S. Mondal and J.L. Hu

Recovery of caprine milk oligosaccharides with ceramic membranes •

Pp. 23-30

Antonio Martinez-Ferez, Antonio Guadix and Emilia M. Guadix

An automated microscale technique for the quantitative and parallel analysis of microfiltration operations •

Pp. 31-41

Nigel B. Jackson, John M. Liddell and Gary J. Lye

Ceramic-supported thin PVA pervaporation membranes combining high flux and high selectivity; contradicting the flux-selectivity paradigm •

Pp. 42-50

T.A. Peters, C.H.S. Poeth, N.E. Benes, H.C.W.M. Buijs, F.F. Vercauteren and J.T.F. Keurentjes

- Nafion®-graft-polystyrene sulfonic acid membranes for direct methanol fuel cells •**
Pp. 51-58
 Byungchan Bae, Heung Yong Ha and Dukjoon Kim
- Study of mass transfer performance of naproxen acid and ester through a multiphase enzyme-loaded membrane system •**
Pp. 59-67
 Lidietta Giorno, Jinchang Zhang and Enrico Drioli
- Miscibility, mechanical characteristic and platelet adhesion of 6-O-carboxymethylchitosan/polyurethane semi-IPN membranes •**
Pp. 68-80
 Shu-Huei Yu, Fwu-Long Mi, Shin-Shing Shyu, Chia-Hun Tsai, Chih-Kang Peng and Juin-Yih Lai
- Activated carbon impregnated polysulfone hollow fiber membrane for cell immobilization and cometabolic biotransformation of 4-chlorophenol in the presence of phenol •**
Pp. 81-90
 Yi Li and Kai-Chee Loh
- Fabrication of a lithium chloride solution based composite supported liquid membrane and its moisture permeation analysis •**
Pp. 91-100
 Li-Zhi Zhang
- Characterization of gel-filled porous membranes using moment-based interpretation of transport measurements •**
Pp. 101-112
 Ruth E. Baltus
- An investigation to revitalize the separation performance of hollow fibers with a thin mixed matrix composite skin for gas separation •**
Pp. 113-125
 Lan Ying Jiang, Tai Shung Chung and Santi Kulprathipanja
- Proton exchange membranes for direct methanol fuel cells: Properties critical study concerning methanol crossover and proton conductivity •**
Pp. 126-134
 V.S. Silva, A. Mendes, L.M. Madeira and S.P. Nunes
- Ultrasonic control of ceramic membrane fouling caused by natural organic matter and silica ps •**
Pp. 135-144
 DongChen, Linda K. Weavers, Harold W. Walker and John J. Lenhart
- Transport and structural characteristics of crosslinked poly(ethylene oxide) rubbers •**
Pp. 145-161
 Haiqing Lin, Elizabeth Van Wagner, John S. Swinnea, Benny D. Freeman, Steven J. Pas, Anita J. Hill, Sumod Kalakkunnath and Douglass S. Kalika
- Effect of nano-sized Al₂O₃-p addition on PVDF ultrafiltration membrane performance •**
Pp. 162-167
 Lu Yan, Yu Shui Li, Chai Bao Xiang and Shun Xianda
- Influence of aeration on microbial polymers and membrane fouling in submerged membrane bioreactors •**
Pp. 168-177
 Lei Ji and Jiti Zhou
- Performance of functional perovskite membranes for oxygen production •**
Pp. 178-184
 Jaap F. Vente, Wim G. Haije and Zbigniew S. Rak
- Application of nanoscale probes for the evaluation of the integrity of ultrafiltration membranes •**
Pp. 185-192
 Vitaly Gitis, Roy C. Haught, Robert M. Clark, Jenny Gun and Ovadia Lev
- Preparation of chiral selective membranes for electro dialysis separation of racemic mixture •**
Pp. 193-198
 Jun Wang, Chunjiang Fu, Tao Lin, Lixin Yu and Shenlin Zhu
- Nanoscale probes for the evaluation of the integrity of ultrafiltration membranes •**
Pp. 199-207
 Vitaly Gitis, Roy C. Haught, Robert M. Clark, Jenny Gun and Ovadia Lev
- The capture and release of biomass in a high voidage fibrous microstructure: Mechanisms and shear stress levels •**
Pp. 208-220
 T.E. Bustnes, C.F. Kaminski and M.R. Mackley
- Development of a supported liquid membrane process for separating enantiomers of N-protected amino acid derivatives •**
Pp. 221-231
 A. Maximini, H. Chmiel, H. Holdik and N.W. Maier
- Investigation of performances of a multishaft disk (MSD) system with overlapping ceramic membranes in microfiltration of mineral suspensions •**
Pp. 232-240
 Lu Hui Ding, Michel Y. Jaffrin, Mounir Mellal and Gaohong He
- Hollow fiber membrane contactor for air humidity control: Modules and membranes •**
Pp. 241-251
 K. Kneifel, S. Nowak, W. Albrecht, R. Hilke, R. Just and K.-V. Peinemann
- Removal of cyanotoxins by ultrafiltration and nanofiltration •**
Pp. 252-259
 A.J. Gijsbertsen-Abrahamse, W. Schmidt, I. Chorus and S.G.J. Heijman
- Pervaporation study of aqueous ethanol solution through zeolite-incorporated multilayer poly(vinyl alcohol) membranes: Effect of zeolites •**
Pp. 260-271

Zhen Huang, Huai-min Guan, Wee lee Tan, Xiang-Yi Qiao and Santi Kulprathipanja

Mass, charge and energy transport phenomena in a polymer electrolyte membrane (PEM) used in a direct methanol fuel cell (DMFC): Modelling and experimental validation of fluxes •

Pp. 272-285

Thorsten Schultz and Kai Sundmacher

Examining the electrochemical properties of a nanofiltration membrane with atomic force microscopy •

Pp. 286-294

Jonathan A. Brant, Kelly M. Johnson and Amy E. Childress

A membrane reactor intensifying micromixing: Effects of parameters on segregation index •

Pp. 295-300

Zhiqian Jia, Yuanqing Zhao, Liqiong Liu, Fei He and Zhongzhou Liu

Porous lignosulfonate membranes for direct methanol fuel cells •

Pp. 301-307

Xiao Zhang, Andreas Glüsen and Ricard Garcia-Valls

Erratum to “The effect of hydrodynamic conditions and system configurations on the permeate flux in a submerged hollow fiber membrane system” [J. Membr. Sci. 271 (2006) 29–37] •

P. 308

P.R. Bérubé and Xiaoling (Ellen) Lei

Volume 277, Issues 1-2, Pp. 1-276 (1 June 2006)

Hybrid membranes for fuel cells based on nanometer YSZ and polyacrylonitrile matrix •

Pp. 1-6

Ioan Stamatina, Adina Morozan, Keith Scott, Anca Dumitru, S. Vulpe and F. Nastase

Pressure, flow, and concentration profiles in open and spacer-filled membrane channels •

Pp. 7-17

Arun Subramani, Suhan Kim and Eric M.V. Hoek

Electrolyte retention of supported bi-layered nanofiltration membranes •

Pp. 18-27

W.B. Samuel de Lint, Tijana Zivkovic, Nieck E. Benes, Henny J.M. Bouwmeester and Dave H.A. Blank

Dual-layer polyethersulfone (PES)/BTDA-TDI/MDI co-polyimide (P84) hollow fiber membranes with a submicron PES-zeolite beta mixed matrix dense-selective layer for gas separation •

Pp. 28-37

Yi Li, Tai-Shung Chung, Zhen Huang and Santi Kulprathipanja

Physicochemical properties of phosphoric acid doped polybenzimidazole membranes for fuel cells •

Pp. 38-45

Ronghuan He, Qingfeng Li, Anders Bach, Jens Oluf Jensen and Niels J. Bjerrum

Estimating models for predicting effective permeability of mixed matrix membranes •

Pp. 46-54

Elio E. Gonzo, Mónica L. Parentis and Juan C. Gottifredi

Factors affecting pore structure and performance of poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoro propylene) asymmetric porous membrane •

Pp. 55-64

Chunsheng Feng, Rong Wang, Baoli Shi, Guomin Li and Yonglie Wu

Influence of a nitrifying biofilm on local oxygen fluxes across a micro-porous flat sheet membrane •

Pp. 65-74

J.W. Shanahan and M.J. Semmens

Combined models of membrane fouling: Development and application to microfiltration and ultrafiltration of biological fluids •

Pp. 75-84

Glen Bolton, Dan LaCasse and Ralf Kuriyel

High-purity CO_x-free H₂ generation from NH₃ via the ultra permeable and highly selective Pd membranes •

Pp. 85-93

Jian Zhang, Hengyong Xu and Wenzhao Li

Increasing oxygen flux through a dense oxygen permeable membrane by photolithographic patterning of platinum •

Pp. 94-98

Sean M. Murphy, David A. Slade, Karen J. Nordheden and Susan M. Stagg-Williams

Using polypropylene and polytetrafluoroethylene membranes in a membrane contactor for CO₂ absorption •

Pp. 99-107

David deMontigny, Paitoon Tontiwachwuthikul and Amit Chakma

Intermolecular interactions in target organophilic pervaporation through the films of amorphous Teflon AF2400 •

Pp. 108-119

A. Polyakov, G. Bondarenko, A. Tokarev and Yu. Yampolskii

Reclamation of printing effluents of a carpet manufacturing industry by membrane processes •

Pp. 120-128

Goksen Capar, Ulku Yetis and Levent Yilmaz

Membrane air-stripping of aroma compounds •

Pp. 129-136

F. Gascons Viladomat, I. Souchon, V. Athès and M. Marin

Experimental study of the effects of hypochlorite on polysulfone membrane properties •

Pp. 137-147

S. Rouaix, C. Causserand and P. Aimar

Effect of casting solvent on the morphology and performance of sulfonated polyethersulfone membranes •

Pp. 148-156

Rong Guan, Hua Dai, Cuihua Li, Jianhong Liu and Jing Xu

A novel process for the post-treatment of polyacrylonitrile-based membranes: Performance improvement and possible mechanism •

Pp. 157-164

Ling-Shu Wan, Zhi-Kang Xu, Xiao-Jun Huang, Ai-Fu Che and Zhen-Gang Wang

Anion transport through polymer inclusion membranes facilitated by transition metal containing carriers •

Pp. 165-176

Joseph S. Gardner, Quinn P. Peterson, Jedediah O. Walker, Bryce D. Jensen, Bibhutoosh Adhikary, Roger G. Harrison and John D. Lamb

Synthesis of a new type of surface modifying macromolecules (nSMM) and characterization and testing of nSMM blended membranes for membrane distillation •

Pp. 177-185

Daniel Eumine Suk, Takeshi Matsuura, Ho Bum Park and Young Moo Lee

Mass transfer mechanisms and transport resistances in direct contact membrane distillation process •

Pp. 186-194

Surapit Srisurichan, Ratana Jiratananon and A.G. Fane

Fabrication and characterization of polyimide-zeolite L mixed matrix membranes for gas separations •

Pp. 195-202

Todd W. Pechar, Sangil Kim, Ben Vaughan, Eva Marand, Michael Tsapatsis, Hae Kwon Jeong and Chris J. Cornelius

Hydrogen permeation characteristics of thin Pd membrane prepared by microfabrication technology •

Pp. 203-209

Y. Zhang, J. Gwak, Y. Murakoshi, T. Ikehara, R. Maeda and C. Nishimura

Preparation and characterization of a poly(imide siloxane) and zeolite L mixed matrix membrane •

Pp. 210-218

Todd W. Pechar, Sangil Kim, Ben Vaughan, Eva Marand, Vince Baranauskas, Judy Riffle, Hae Kwon Jeong and Michael Tsapatsis

Physical aging of thin glassy polymer films: Free volume interpretation •

Pp. 219-229

Y. Huang, X. Wang and D.R. Paul

Microwave synthesis of LTA zeolite membranes without seeding •

Pp. 230-239

Yanshuo Li, Hongliang Chen, Jie Liu and Weishen Yang

Effect of different anions on separation of cadmium and zinc by supported liquid membrane using TOPS-99 as mobile carrier •

Pp. 240-248

Basudev Swain, Kadambini Sarangi and Radhanath Prasad Das

Suitability of some fluoropolymers used as base films for preparation of polymer electrolyte fuel cell membranes •

Pp. 249-257

Jinhua Chen, Masaharu Asano, Yasunari Maekawa and Masaru Yoshida

Comparison of various aeration devices for air sparging in crossflow membrane filtration •

Pp. 258-269

M. Mayer, R. Braun and W. Fuchs

Effects on membrane properties of NaCS-PDMAAC capsules by adding inorganic salts •

Pp. 270-276

Jun Zhang, Yi-Xin Guan, Zheng Ji and Shan-Jing Yao



ВИНИТИ РАН
**ВСЕРОССИЙСКИЙ ИНСТИТУТ НАУЧНОЙ
 И ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

продолжает подписку на
 Информационно-аналитический журнал
«Мембраны»

В информационно-аналитическом журнале «Мембраны» представлены оригинальные статьи, рефераты публикаций ведущих российских и зарубежных периодических изданий, патентные документы, аннотации на книги по основным направлениям современного состояния и развития мембранных технологий.

Журнал «Мембраны» выпускается в полиграфической и электронной формах с программным сопровождением. Объем ~ 19 усл. печ. л. Периодичность – 4 номера в год.

Стоимость подписки на 2006 г. в печатной или электронной (CD) форме	
Организации РАН и государственные ВУЗы России	Другие организации России и стран СНГ
650 руб.	1300 руб.

Подписка на 1999-2005 годы: 650 руб. за год

Телефон для справок (095) 152-54-92, 155-42-42

FAX: (095) 943-00-60

E-mail: IOSHI@VINITI.RU, MARKET@VINITI.RU

Пожалуйста, заполните отрезную карточку и вышлите вместе с копией документа об оплате (платежное поручение с отметкой банка) или квитанцию о переводе по адресу: **Россия, 125190, Москва, ул. Усиевича, 20, ВИНИТИ, Отдел маркетинга, к. 1232.**

В платежном документе необходимо указать: «За химическую методическую литературу».

**Наши реквизиты: ИНН 7712037317 ООО «НТИ-КОМПАКТ»
 р/с 40702810900000013305 в АКБ «РОСБАНК» г. МОСКВА тел.(095)152-64-41
 кор. счет № 3010181000000000256 БИК 044525256 КПП 774301001**

Прошу оформить подписку на Информационно-аналитический журнал
«Мембраны»

Ф.И.О. _____
 (полностью)

Организация _____

Должность _____

Адрес _____

(страна, индекс, населенный пункт)

Телефон (____) _____ Факс (____) _____ 1999-2005 год _____ номера

Форма: • печатная

• электронная под Windows

Доставка:

• пересылка по почте

• самовывоз из ВИНИТИ

Содержание

А.В. Бильдюкевич

Релаксация пористой структуры полимерных ультра- и микрофильтрационных мембран в органических растворителях.....3

Т.Д. Хохлова, П.Ю.Апель, Г.С. Жданов, В.В. Березкин, А.Б.Васильев, Б.В. Мchedlishvili

Адсорбционные и поверхностные свойства традиционных и асимметричных полиэтилентерефталатных трековых мембран, модифицированных полиимином и поливинилпирролидоном..... 11

Т.А. Седнева

Электромембранная технология церия.....17

А.М. Поляков, С.А. Соловьев

Некоторые аспекты первапорационного разделения жидких смесей. Часть 2 (Обзор)22

Г.В. Козлов, Г.Е. Заиков

Фрактальная модель процессов диффузии и проницаемости углеводородов в полимерах37

Некролог памяти М.Т. Брыка 42

Реферативный раздел

Обзоры и общие вопросы 44

Статьи44

Патенты60

Указатели

Предметный указатель65

Авторский указатель71

Указатель источников73

Патентный указатель74

Список сокращений75

Journal of Membrane Science, 2006, VV. 275-27776

Информация о журнале «Мембраны»81

Contents

A.V. Bilyukevich

Pore structure relaxation of polymeric ultra- and microfiltration membranes in organic solvents3

T.D. Khokhlova, P.Yu. Apel', G.S. Zhdanov, V.V. Beryozkin, A.B. Vasil'ev, B.V. Mchedlishvili

Adsorptive and electro-surface properties of symmetrical and asymmetrical poly(ethylene terephthalate) track-etched membranes, modified with polyethyleneimine and polyvinylpyrrolidone..... 11

<i>T.A. Sedneva</i>	
Electromembranous technology of Cerium.....	17
<i>A.M Polyakov, S.A. Solov'ev.</i>	
Some aspects of liquid mixtures separation by pervaporation method. Part 2 (Review).....	34
<i>G.V Kozlov., G.E. Zaikov</i>	
The fractal model of diffusion and permeation processes of hydrocarbons in polymers.....	37
<i>In Memory of M.T. Bryk</i>	42
References	
Reviews & Generals	44
Articles	44
Patents	60
Indexes	
Subject Index	65
Author Index	71
Bibliographical Index	73
Patent Index	74
Abbreviations	75
Journal of Membrane Science, 2006, VV. 275-277	76
«Membranes» Journal – Information	81

Подписано в печать

Формат 60x84 1/8

Тираж 220 экз.

13,75 печ. л.

Заказ №

14 уч.-изд.л.

Печать офсетная

Отпечатано в типографии ФГУП ВТИ

Правила и рекомендации для авторов по оформлению материалов для публикации в журнале «Критические технологии. Мембраны»

1. Форма представления

1.1. Статья

Статья должна включать название, список авторов, место выполнения работы, резюме (реферат), ключевые слова по предметной области (с пометкой "к" - верхний уровень, "н" - нижний уровень), развернутое содержание (оглавление), тексты разделов, список использованной литературы.

1.2. Краткое сообщение

Краткое сообщение должно включать название, список авторов, место выполнения работы, резюме (реферат), ключевые слова по предметной области (с пометкой "к" - верхний уровень, "н" - нижний уровень), текст сообщения, список использованной литературы (по необходимости).

1.3. **Название публикации, резюме (реферат) и ключевые слова** должны быть представлены на русском и английском языках.

2. Оформление материалов

2.1. Текст

Текст набирается в редакторе MS Word 97 с использованием в качестве основного шрифта "Times New Roman" размер 12, с одинарным интервалом, абзацный отступ 0,5 см, формат листа А4, поля стандартные. При необходимости допускается использование других стандартных шрифтов и вставка специальных символов. Форматирование текста осуществлять только программными средствами Word, предусмотренными для этих целей. Запрещается использовать для форматирования пробелы, перевод строки (Enter), ручную расстановку переносов, табуляцию и т.п.

2.2. Таблицы

Таблицы формируются средствами Word. При этом запрещается склеивание двух различных таблиц и перенос таблицы на другой лист без шапки.

2.3. Рисунки

Графики представляются на бумажном носителе и в электронном виде в формате WMF (все шрифты в кривых). При этом желательно представлять таблицы исходных данных для построения графиков.

Полутоновые рисунки (фотографии) представляются на бумажном носителе и в электронном виде в форматах BMP, GIF, JPG, PCX, TIF.

Каждый рисунок желательно представлять в виде отдельного файла с указанием в тексте статьи места для его вставки.

Подписи к рисункам должны содержать подробное описание рисунка. При этом желательно ограничить использование текста на рисунке, оставив на нем только обозначения, а текст с объяснениями и комментариями перенести в подрисуночную подпись. Не рекомендуется оформлять схемы, таблицы и другой насыщенный текст материал в виде рисунка. При отсутствии возможности исключить использование текста на рисунке рекомендуется продублировать его в виде примечания к подрисуночной подписи.

Подписи к рисункам оформляются как дополнение к статье.

2.4. Список использованной литературы

Библиографические описания цитируемых источников должны быть оформлены в соответствии с ГОСТ 7.1-84 или CAS.

2.5. Все материалы представляются на бумажном носителе и в электронном виде (две копии на разных дисках).

3. Дополнительные рекомендации по оформлению материалов

Математические формулы и выражения желательно набирать символами, а использовать программу Microsoft Equation нужно только в тех случаях, когда этого нельзя избежать (отсутствие подходящего символа). Следует учитывать, что формулы должны укладываться в ширину журнальной колонки ~8 см, иначе возникают дополнительные проблемы при верстке статьи.

Верхние и нижние индексы в химических, математических и других формулах и выражениях желательно создавать с помощью опций "Верхний индекс", "Нижний индекс" команды "Формат"→"Шрифт", а не заданием параметра "Смещение" (вверх или вниз) на вкладке "Интервал" окна "Шрифт".

Желательно использовать кавычки одного образца (").

В числах требуется использовать десятичную запятую (не точку).

Рисунки должны быть четкими и не очень мелкими, надписи и обозначения на них должны быть такого размера, чтобы быть разборчивыми и читаемыми даже при возможном уменьшении рисунка при верстке до ширины журнальной колонки ~8 см. Обозначения в подрисуночных подписях должны строго соответствовать обозначениям на рисунках.