

УДК 66.071.6

## МЕМБРАННЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

© 2010 г. **В.В. Тепляков**<sup>1</sup>,  
**В.С. Хотимский**<sup>1</sup>, **А.В. Яковлев**<sup>1</sup>,  
**М.Г. Шалыгин**<sup>1</sup>, **Л.Г. Гасанова**<sup>1</sup>,  
**В.Б. Зенькевич**<sup>2</sup>, **А.И. Нетрусов**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, Москва

<sup>2</sup> НПК «Биотест», Кириши

<sup>3</sup> Кафедра микробиологии биологического факультета МГУ  
им. М.В. Ломоносова, Москва

### Введение

Мировое потребление энергии увеличивается с каждым годом, при этом активно расходуются невозобновляемые запасы традиционных видов топлива, таких как нефть, уголь и природный газ. В настоящее время мировое потребление топлива (включая жилищное хозяйство, транспорт, сельское хозяйство и технику) составляет свыше 5 млрд. т в нефтяном эквиваленте, из которых только 0,5 % приходится на биотопливо. Однако по прогнозам на 2015 г. доля биотоплива возрастет более чем в 2 раза при общем росте потребления только на 15 % [1]. Использование ядерной энергии сопряжено с проблемами безопасности и утилизации ядерных отходов. Доля ветроэнергетики составляет пока около 2 %, и ее можно рассматривать лишь как вспомогательный

вариант. Для решения энергетических проблем активно развиваются технологии использования других возобновляемых источников энергии, одним из которых — перспективным и безопасным для окружающей среды и первичных природных ресурсов является растительная биомасса — в основном, отходы сельского хозяйства [2]. Из биомассы получают газообразное (биогаз, биоводород), жидкое (например, этанол, метанол, биодизельное) и твердое (дрова, солома) топлива.

Производство и использование биогаза (а также биоводорода) активно исследуется и развивается как альтернативная технология получения энергии. На примере биогазовых заводов показано, что при правильной организации процесса производства и они оказываются прибыльными. Согласно исследованиям, биогаз наиболее предпочтителен из-за высокого выхода полезной энергии на единицу занимаемой площади и гибкости по исходному сырью. Получают биогаз на заводах по переработке органического сырья: от сточных вод и бытовых отходов до отходов сельскохозяйственной промышленности. В Европе, например, в 2006 г. было произведено около  $14 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup> биогаза, и его ежегодный прирост составляет 10—20 % [3].

Биогаз получают биологической переработкой органических материалов метаногенным сообществом бактерий в анаэробных условиях [4]. Биогаз содержит, в основном, CH<sub>4</sub> (50—70 об.%) и CO<sub>2</sub> (30—50 об.%) и небольшие количества примесей (H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S и NH<sub>3</sub>).

В настоящее время наиболее популярно использование биогаза в когенерационных установ-

**Тепляков В.В.** — докт. хим. наук, профессор, зав. лабораторией физико-химии мембранных процессов Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева. Тел.: (495) 955-43-46. E-mail: tepl@ips.ac.ru.

**Хотимский В.С.** — канд. хим. наук, зав. лабораторией синтеза полимерных мембран того же института. Тел.: (495) 955-42-11. E-mail: hotimsky@ips.ac.ru.

**Яковлев А.В.** — аспирант, мл. науч. сотрудник лаборатории физико-химии мембранных процессов того же института. Тел.: (495) 955-42-29. E-mail: ayakovlev@ips.ac.ru.

**Шалыгин М.Г.** — канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник той же лаборатории. Тел.: (495) 955-42-29. E-mail: mshalygin@ips.ac.ru.

**Гасанова Л.Г.** — канд. хим. наук, науч. сотрудник лаборатории физико-химии мембранных процессов того же института. Тел.: (495) 955-43-46. E-mail: gasanova@ips.ac.ru.

**Зенькевич В.Б.** — председатель научно-производственного кооператива «Биотест» (187110, Ленинградская обл., г. Кириши, пр-т Победы, 40). Тел./факс: (813 68) 25-081. E-mail: luti@yandex.ru.

**Нетрусов А.И.** — докт. биол. наук, профессор, зав. кафедрой микробиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-27-63. E-mail: anetrusov@mail.ru.

ках для комбинированного производства тепла и электроэнергии. Такой выбор обоснован при непосредственной близости потребителей тепла, однако в большинстве случаев это требование невыполнимо. Как следствие, избыток тепла должен быть рассеян в атмосферу, что снижает общую эффективность получения энергии и требует дополнительных затрат электроэнергии. Избавиться от этого недостатка можно кондиционированием (удалением примесей) биогаза до уровня природного газа с последующей его закачкой в сеть газопроводов для доставки потребителям с минимальными затратами и использования в жилищном хозяйстве и промышленности. В соответствии с ISO 13686, для закачки метана в сетевые магистрали содержание примесей в нем не должно превышать: кислорода — 0,5 %; диоксида углерода — 2,0 %; азота — 5,0 %; сероводорода — 5 мг/м<sup>3</sup>; кремния — 10 мг/м<sup>3</sup> (общ.). Начальное содержание примесей в биогазе существенно превосходит требования (особенно по CO<sub>2</sub>), поэтому этап кондиционирования необходим перед подачей биогаза в газовую сеть. При кондиционировании биогаза необходимо обеспечить невысокую стоимость процесса очистки, не превышающую стоимости метана, получаемого из других источников, что делает невыгодным применение методов классической сорбции, вымораживания и пр. Как наиболее перспективные системы кондиционирования газообразного биотоплива (биогаза и биоводорода) рассматриваются традиционные газоразделительные мембранные системы, а также газо-жидкостные мембранные контакторы (МК).

При производстве жидкого биотоплива возникает проблема очистки спиртов, поскольку их содер-

жание в получаемых водно-органических смесях составляет ≤ 10 мас.%, необходима дополнительная стадия, обеспечивающая выделение целевых компонентов. Перспективны для этой цели процессы первапорации и пароразделения, основанные на мембранной технологии.

### Выделение газообразных энергоносителей стандартными мембранными системами

Суть мембранного разделения в избирательном пропускании мембраной разных компонентов газовой смеси при условии разницы давлений подаваемого и отбираемого потоков. Диоксид углерода проходит через мембрану лучше, чем метан, поэтому во время движения потока биогаза вдоль мембраны концентрация CO<sub>2</sub> в нем уменьшается, а CH<sub>4</sub> возрастает, что позволяет добиться извлечения метана требуемой чистоты.

Предварительный выбор материала мембраны для разделения биогаза может быть сделан с использованием диаграммы Робсона (рис. 1), отражающей селективность разделения смеси в зависимости от уровня проницаемости полимерного материала.

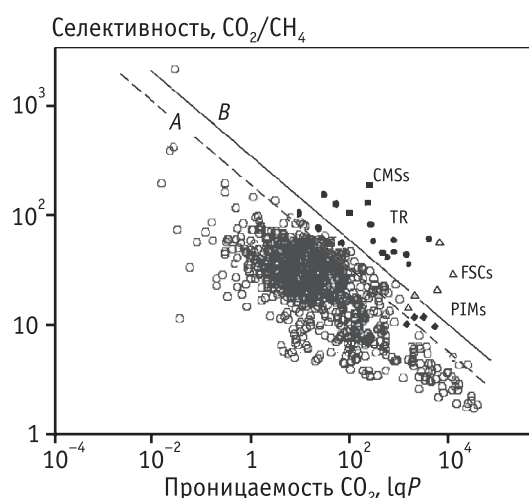
Как видно из рис. 1, селективность может достигать нескольких сотен, но при этом мембранный материал будет малопроницаемым (практически барьерным) [5]. Практическое использование в качестве мембран находят только несколько материалов (табл. 1).

Отметим, что первая практическая реализация мембранного кондиционирования биогаза с использованием рулонных мембранных модулей на основе ацетат-целлюлозных мембран состоялась более 30 лет назад [8]. Мембранная установка про-

Таблица 1

#### Свойства непористых полимерных газоразделительных мембран [5–7]

| Фирма-производитель        | Материал мембраны                               | Проницаемость газов, л/(м <sup>2</sup> ·ч·атм.) |                 |                 | Селективность CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> |
|----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------|
|                            |                                                 | N <sub>2</sub>                                  | CO <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> |                                                |
| «UBE» (Япония)             | Полиимид (60 °C)                                | 9,1                                             | 240             | 6,1             | 40                                             |
| «Generon» (США)            | Тетрабромполикарбонат (25 °C)                   | 1,8                                             | 45              | 1,3             | 35                                             |
| «Cynara» (США)             | Ацетат целлюлозы (25 °C)                        | 5,0                                             | 185             | 5,4             | 35                                             |
| «Monsanto» (США)           | Полисульфон (35 °C)                             | 3,8                                             | 104             | 3,8             | 27                                             |
| Куковский химический завод | Поливинилтриметилсилан (25 °C)                  | 120                                             | 2600            | 250             | 10                                             |
| ООО «Владипор»             | Ариллат-силоксановый сополимер (SILAR®) (25 °C) | 190                                             | 2000            | 545             | 3,7                                            |



**Рис. 1.** Диаграмма Робсона для пары газов  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$ : A – верхняя граница на 1991 г., B – то же на 2008 г., CMS<sub>s</sub> – углеродные молекулярные сита, TR – термоперегретые полимеры, FSCs – полимеры с фиксированным переносчиком, PIMs – полимеры с внутренней микропористостью. 1 баррер =  $10^{-10}$  см<sup>3</sup> (н.у.)/(см·с·см.рт.ст.)

работала полтора года и имела производительность 60 н.м<sup>3</sup>/ч, обеспечивая получение метана чистотой 96,5 об.% при давлении 1,7–3,0 МПа.

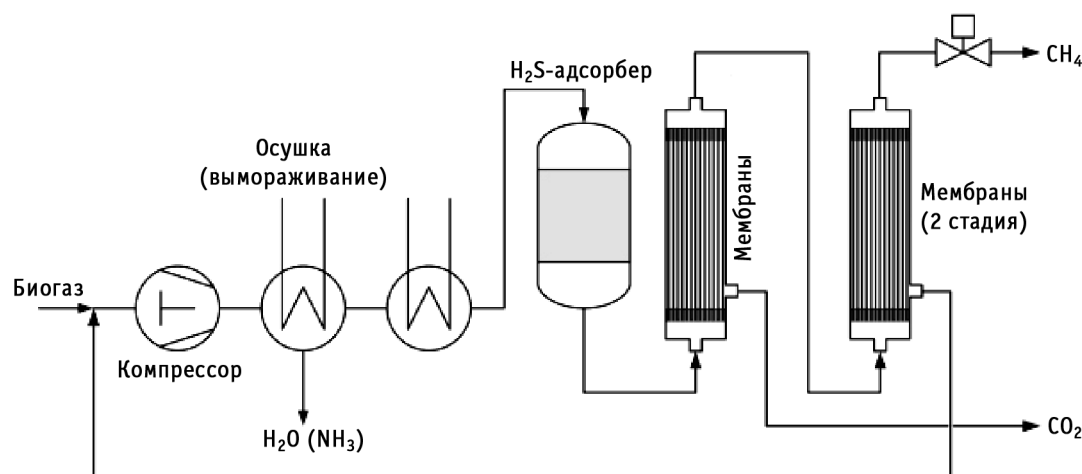
Пример современного процесса мембранного кондиционирования биогаза (рис. 2) — на биогазовом заводе в пригороде Вены [9]. Производительность завода по исходному биогазу около 1000 м<sup>3</sup>/ч. Для кондиционирования использованы разные разделительные методы: для удаления воды и аммиака — конденсация, сероводорода — реагентный, основной примеси —  $\text{CO}_2$  — мембранный.

В 2008 г. в Европе работало 80 заводов по кондиционированию биогаза, обеспечивающих общую

мощность в 200 МВт (в пересчете на тепло), что эквивалентно потреблению 170 млн м<sup>3</sup> природного газа в год [10].

Несмотря на высокие показатели разделения, отметим, что в биогазе присутствует ряд органических компонентов: алканы и циклоалканы, галогенированные углеводороды, кетоны, ароматические соединения, терпены, тиолы (меркаптаны), силоксаны, алкилсульфиды, летучие жирные кислоты и спирты [4, 11]. Известно, что диапазон селективности мембран (например, на основе полиимидов) для смесей органических паров с воздухом 20–500 [12], следовательно, при мембранном кондиционировании биогаза концентрация органических примесей в нем будет уменьшаться. Однако эти компоненты даже в малых концентрациях могут существенно воздействовать на материал мембраны и изменять ее разделительные характеристики, приводя к значительному понижению проницаемости  $\text{CO}_2$  [13]. С учетом зависимости характеристик мембран от присутствия и содержания примесей в биогазе, и того, что эти зависимости исследовались лишь для небольшого числа мембран и органических соединений [12, 14, 16], становится ясным, что выбор мембраны, обеспечивающей эффективное кондиционирование биогаза — задача непростая.

Так же один из серьезных недостатков мембранного разделения — необходимость применения энергозатратной стадии компримирования газовой смеси перед ее подачей в мембранный модуль для обеспечения приемлемого уровня производительности, поскольку поток газа через мембрану пропорционален приложенному перепаду давления. Применение же мембран с высокой проницаемос-



**Рис. 2.** Схема процесса выделения метана из биогаза

тью невыгодно из-за их низкой селективности (см. табл. 1), поскольку возникает необходимость в увеличении числа стадий разделения, требующих повторного компримирования.

### Газожидакостные мембранные контакторы для кондиционирования биогаза и биоводорода

Основные направления развития газоразделительных систем — повышение факторов разделения и степени извлечения компонентов, а также уменьшение энергоемкости процесса. Положительный эффект может быть достигнут сочетанием разделительных методов, например, абсорбции и мембранной технологии в газожидакостных МК. В газожидакостном МК массообмен между газовой и жидкой фазами идет через мембрану (рис. 3). Такая разделительная система объединяет преимущества абсорбционных методов разделения — высокую селективность, широкий спектр известных абсорбентов и мембранных методов — известную и постоянную площадь массообмена, высокую плотность упаковки и возможность независимого регулирования потоков по обе стороны мембраны.

Изучение разделения смесей с использованием МК наиболее развито в области МК с пористыми мембранами из-за их коммерческой доступности и малого сопротивления массопереносу по сравнению с непористыми [17]. Но работа с такими МК требует очень точного контроля трансмембранного перепада давления во избежание проникновения жидкости в поры мембраны, которое приводит к значительному увеличению сопротивления мембраны массопере-

носу и уносу абсорбента. В ряде работ показано, что жидкость со временем проникает в поры гидрофобной мембраны, даже если поддерживается соответствующее трансмембранное давление, поэтому применение непористых мембран предпочтительно. Так как в МК основное сопротивление массопереносу, начиная с некоторого уровня, как правило, сосредоточено в жидкой фазе, проницаемость непористой мембраны не влияет на характеристики МК. К сожалению, широкое исследование и применение перспективных МК с непористыми мембранами сдерживается отсутствием коммерчески доступных высокопроницаемых непористых мембран, которые, к тому же должны быть стабильны при контакте с абсорбентами.

Результаты теоретического исследования разделения  $\text{CO}_2$ -содержащих газовых смесей при помощи рециркуляционной системы (рис. 4) на основе двух МК с непористыми мембранами показывают, что возможно одновременное достижение высоких факторов разделения и степеней извлечения компонентов в широких диапазонах составов и потоков исходной газовой смеси [18]. Установлено, что разделительные характеристики такой системы нелинейно зависят от операционных параметров, а ключевым является поток жидкого абсорбента (см. рис. 4). Зависимости разделительных характеристик системы от потока жидкого абсорбента во многих случаях имеют экстремум, соответствующий оптимальным условиям разделения. Такое свойство систем на основе МК обеспечивает им высокую гибкость и легкость приведения к оптимальным режимам разделения регулированием потока абсорбента. Это особенно важно в случае применения газоразделительных систем для кондиционирования биогаза (либо биоводорода),

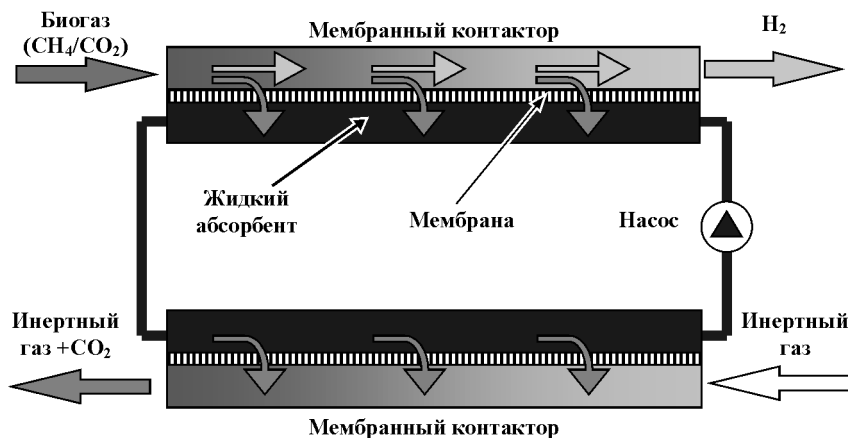
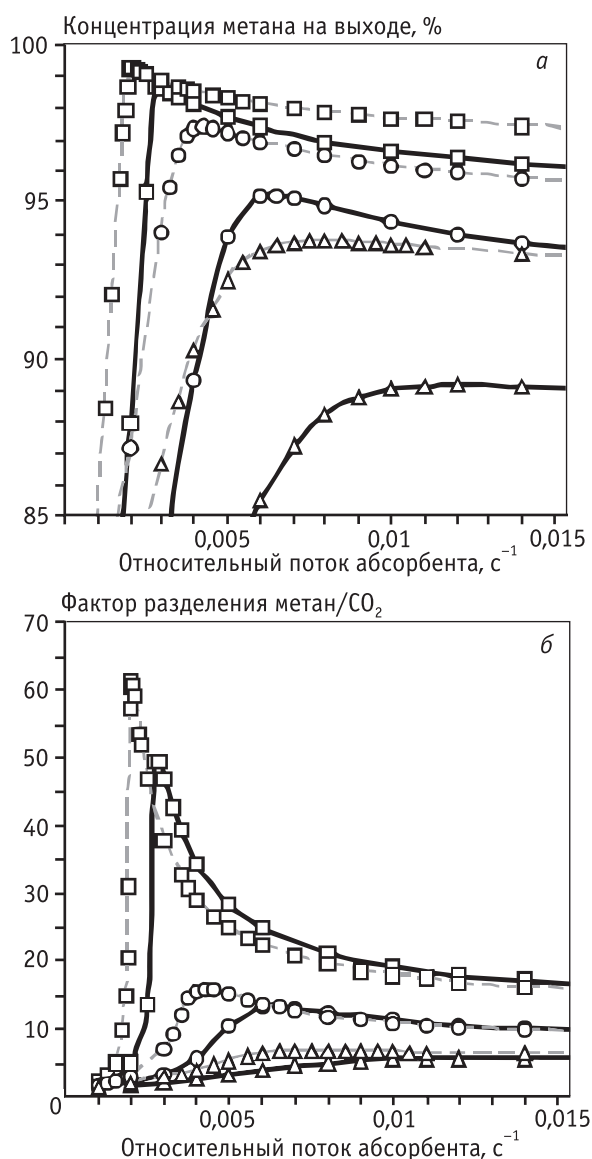


Рис. 3. Схема рециркуляционной системы на основе двух МК для разделения биогаза

поскольку производительность биореакторов и состав биогазовых смесей непостоянны.

Перспективным представляются исследования, которые ведутся в рамках Шестой рамочной программы ЕЭС (проект «HYVOLUTION»), по нетермальному получению водорода из непищевой растительной биомассы [19]. Блок мембранных контакторов в этом случае позволяет получить очищенный до 95 % водород, при его начальной концентрации 70–80 % без компримирования.



**Рис. 4.** Зависимость выходной концентрации метана (а) и фактора разделения метан/ $\text{CO}_2$  (б) от относительной скорости жидкого абсорбента, состава биогаза (штриховые линии – 70% метана / 30%  $\text{CO}_2$ ; сплошные – 60% метана/40%  $\text{CO}_2$ ) и относительного входного потока биогаза ( $\square$  – 0,1  $\text{с}^{-1}$ ;  $\circ$  – 0,15  $\text{с}^{-1}$ ;  $\triangle$  – 0,2  $\text{с}^{-1}$ )

### Мембранные системы для концентрирования (выделения) жидких энергоносителей

Биологической переработкой органических отходов можно получать кроме биогаза жидкие энергоносители — биоэтанол и биобутанол.

**Получение биоэтанола.** Энергии, получаемая при сгорании 1 кг этанола, составляет 65 % энергии, получаемой при сгорании 1 кг бензина. Одна-

ко у этанола более высокое октановое число (102), которое непропорционально увеличивается при смешивании с бензином; например октановое число смеси с 20 % этанола 119 [20]. Биопроизводство этилового спирта основано на сбраживании моносахаридов, источником которых является углеводсодержащее сырье — меласса, крахмал- и целлюлозосодержащее, сбраживаемые в анаэробных условиях при 32–34 °С. Наличие свыше 7–8 об. % спирта ингибирует процесс и требует его удаления из реакционной среды.

**Получение биобутанола.** Ферментация углеводов в ацетон, бутанол и этанол (АБЭ-ферментация) с помощью сольвентогенных клостридий — хорошо известный процесс. В начале XX в. ацетонобутиловое производство по объему выпускаемой продукции было вторым после получения этанола с использованием дрожжей. Конечное соотношение продуктов АБЭ-ферментации может варьироваться, но максимальная концентрация бутанола не превышает 20 г/л, так как в дальнейшем происходит отравление культуры и ингибирование процесса [21].

В перспективе бутанол может заменить бензин в качестве топлива даже в большей степени, чем этанол, по своим физико-химическим свойствам (табл. 2), экономичности и безопасности. Бутанол может быть смешан с бензином в более высоких пропорциях, чем этанол, и использоваться в существующих автомобилях без модификации системы формирования воздушно-топливной смеси. При сгорании бутанола выделяется больше энергии на рабочий цикл, чем при сгорании этанола, метанола (см. табл. 2).

Потребление бутанола в мире растет, и в 2007 г. составило 2,5 млн т, из них 46 % в странах Азии, 24 % — Америки, 20 % — Европы. Прогнозируемый объем потребления на 2012 г. — 4,0 млн т [20].

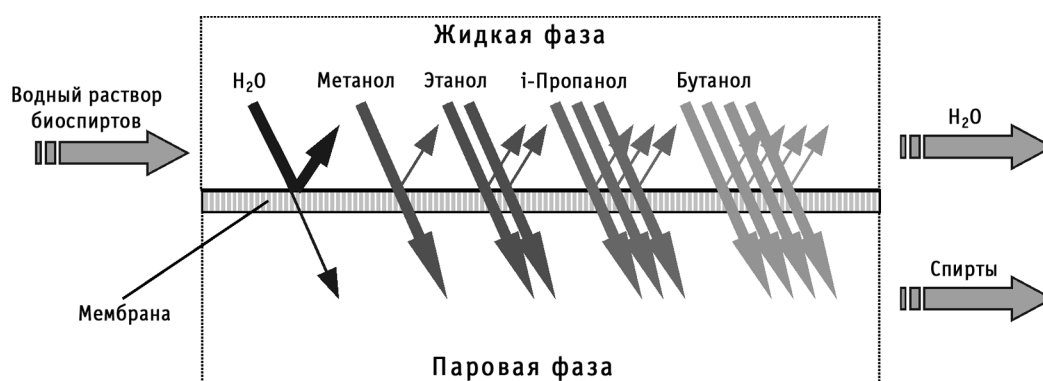
**Выделение спиртов методом первапорации.** При выделении спиртов непосредственно во время процесса брожения существенно повышается производительность ферментера и конверсия сырья. Однако из всех возможных методов разделения для этой цели наиболее подходят отдувка и первапорация. Данные методы наименее энергозатратны по сравнению с другими. Метод первапорационного разделения жидкостей заключается в том, что жидкая смесь (питающий поток) приводится в контакт с непористой мембраной. Проникшие через мембрану пары (пермеат), обогащенные хорошо проникающими компонентами разделяемой смеси, отбираются в ви-

Таблица 2

**Сравнительные характеристики топлив [20]**

| Топливо | Плотность энергии,<br>МДж/л | Воздушно-топливное<br>число | Теплота испарения,<br>МДж/кг | Октановое число |                 |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|
|         |                             |                             |                              | R <sup>*1</sup> | M <sup>*2</sup> |
| Бензин  | 32,0                        | 14,6                        | 0,36                         | 91–99           | 81–89           |
| Бутанол | 29,2                        | 11,1                        | 0,43                         | 96              | 78              |
| Этанол  | 19,6                        | 9,0                         | 0,92                         | 107             | 96              |
| Метанол | 16,0                        | 6,4                         | 1,20                         | 106             | 92              |

<sup>\*1</sup> Исследовательское.  
<sup>\*2</sup> Моторное.

**Рис. 5.** Схема первапорационного процесса

де пара с обратной стороны мембраны, а обедненная данным компонентом жидкость (ретентат) отводится из модуля. На рис. 5 — пример сравнительной проницаемости воды и спиртов в случае применения органофильных мембран [22].

Для выделения спиртов из ферментационных смесей методом первапорации требуются органофильные мембраны с повышенным сродством к органическим веществам, т.е. более проницаемые по целевым органическим компонентам, чем по воде. Характеристики полимерных мембран, применяемых при первапорационном выделении спиртов, представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, ПДМС и мембраны на основе силиконовых каучуков (например, коммерческие мембраны MPF-50) наиболее изучены в качестве органоселективных материалов для выделения биоэтанола и биобутанола. Перапорационные факторы разделения (селективности) бинарных смесей через мембраны на основе ПДМС по парам этанол-вода и бутанол-вода составляют 7 и 40, соответственно [23]. Введением гидрофобного цеолита (силикатита) в такие мембраны могут быть достигнуты

еще более высокие факторы разделения (например, для смеси бутанол-вода более 100 [23]). Мембраны на основе силиконовых каучуков имеют стабильные характеристики при разделении ферментационных смесей, однако потоки пермеата через мембрану не достаточно высоки для их практического применения. Перспективным полимером для этих целей является ПТМСП, селективный по отношению к органическим компонентам.

Основная проблема применения первапорации для извлечения спирта во время непрерывной ферментации состоит в зарастании мембранного модуля микроорганизмами при прокачке через него культуральной жидкости. В случае организации процесса с помощью отдувки эта проблема отсутствует, но факторы разделения при этом ниже [26]. В связи с этим представляется целесообразным применение комбинации отдувки с последующим мембранным выделением спирта из паровой фазы, так как фазовые диаграммы состава смесей вода-этанол и вода-бутанол благоприятны в области малых концентраций (рис. 6).

Таблица 3

**Характеристики полимерных мембран при первапорационном разделении водно-спиртовых смесей**

| Материал,<br>толщина селективного слоя                                       | Фактор<br>разделения<br>спирт/вода | Поток через<br>мембрану,<br>г/(м <sup>2</sup> ·ч) | Температура,<br>исходное содержание<br>спирта | Лит.<br>источник |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------|
| ПДМС <sup>*1</sup> , 20 мкм (микропор. подложка)                             | 6,7                                | 18                                                | 25 °С, 3 % этанола                            | [23]             |
| ПТМСП <sup>*2</sup> , 20-70 мкм                                              | 21,2                               | 79                                                | 25 °С, 3 % этанола                            | [23]             |
| ПДМС, 20 мкм (микропор. подложка)                                            | 6,4                                | 39                                                | 25 °С, 6 % этанола                            | [23]             |
| ПТМСП, 20-70 мкм                                                             | 13,7                               | 149                                               | 25 °С, 6 % этанола                            | [23]             |
| Непористая силикалит-силиконовая<br>композиционная мембрана, 100 мкм         | 31                                 | 8                                                 | 30 °С, 1 % бутанола                           | [24]             |
| PERVAP-1070d, 29 мкм                                                         | 44                                 | 50                                                | 30 °С, 1 % бутанола                           | [24]             |
| Полиуретан                                                                   | 14,5                               | 88                                                | 50 °С, 1 % бутанола                           | [24]             |
| ПДМС                                                                         | 143                                | 70                                                | 50 °С, 1 % бутанола                           | [24]             |
| ПДМС мембрана,<br>импрегнированная силикалитом GFT                           | 58                                 | 225                                               | 40 °С, 5 % бутанола                           | [24]             |
| Блок-сополимер простого эфира<br>с амидом                                    | 33,4                               | 278                                               | 50 °С, 1 % бутанола                           | [24]             |
| ПТМСП                                                                        | 61                                 | 436                                               | 25 °С, 6 % бутанола                           | [25]             |
| <sup>*1</sup> Полидиметилсилоксан.<br><sup>*2</sup> Политриметилсилилпропин. |                                    |                                                   |                                               |                  |

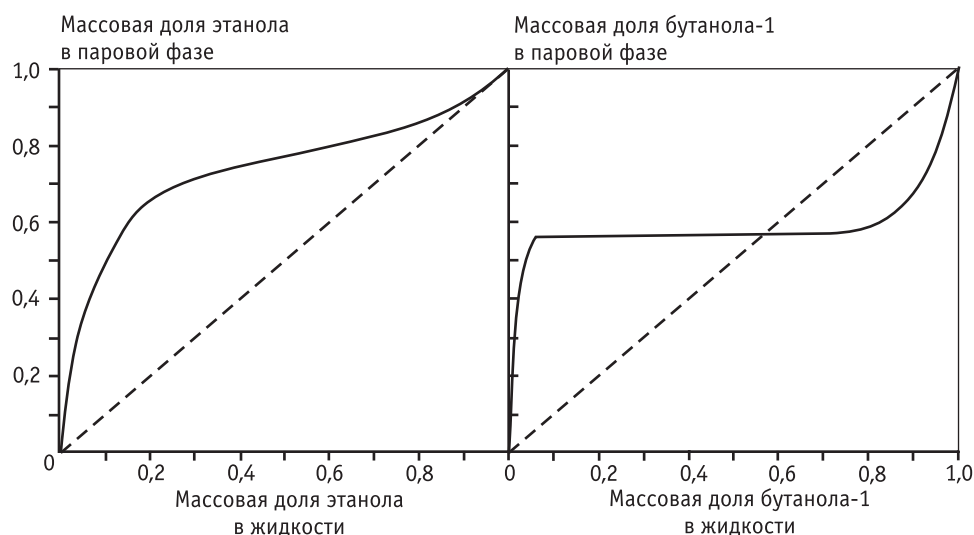
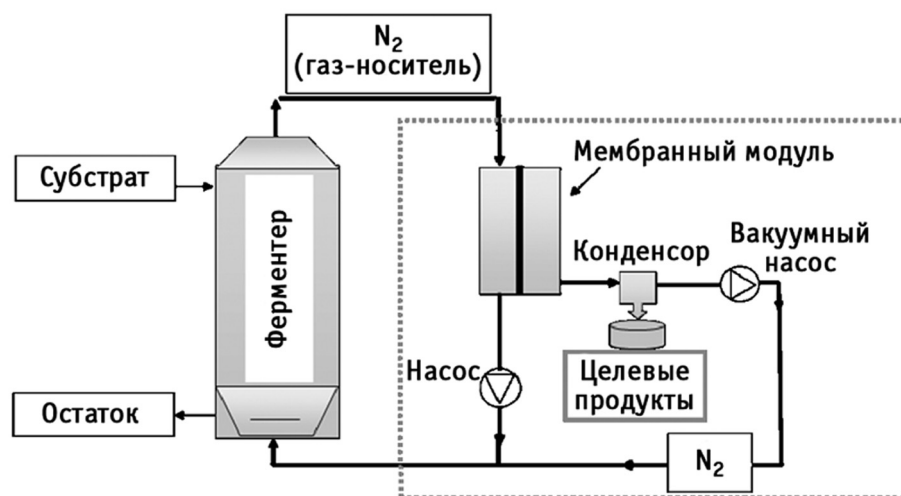
**Рис. 6.** Фазовые диаграммы состава смесей вода-этанол и вода-бутанол

Схема предлагаемого комбинированного мембранного процесса для выделения жидких энергоносителей через паровую фазу, находящегося на данный момент в стадии исследования, представлена на рис. 7.

Из которого видно, что газ-носитель (в данном случае азот) переносит пары, уже обогащенные спиртом при фазовом переходе, в мембранный мо-

дуль, где установлена органофильная мембрана. В мембранном модуле происходит извлечение паров спирта из потока, а газ-носитель с парами воды возвращают в биореактор. По энергозатратам такой процесс близок к первапорации, поскольку дополнительная энергия, необходимая для циркуляции газа-носителя, невелика по сравнению с энергией, затрачиваемой на конденсацию и вакуумирование.



**Рис. 7.** Схема процесса непрерывного извлечения спиртов из паровой фазы непосредственно во время ферментации

## Заключение

В развитии решения проблемы получения высококачественного биотоплива предложены малоэнергетические мембранные системы для кондиционирования биогаза, созданные на основе разработок Института нефтехимического синтеза РАН с участием микробиологов и специалистов в области биомашиностроения. Новизна работы заключается в создании оригинальных активных мембранных высокоселективных систем (мембранных контакторов) для разделения биогаза (биоводорода), использующих жидкие носители, обратимо реагирующие с диоксидом углерода. Представлены результаты моделирования таких систем, работающих в режиме рециркуляции, что обеспечивает замкнутый процесс.

Применение мембранных технологий для получения энергоносителей из альтернативных возобновляемых источников весьма перспективно. Это относится к получению как газообразного, так и жидкого биотоплива, но в каждом конкретном случае, безусловно, требуется обоснованный подход для определения необходимости использования той или иной мембранной системы в общей схеме процесса получения энергоносителей. Для выделения энергоносителей из газовых и/или жидких водно-органических сред рекомендованы высокопроницаемые непористые полимерные мембраны на основе ПВТМС и ПТМСП. Получающиеся концентраты энергоносителей могут быть переработаны в углеводородное топливо с применением комплексных

металлоокисдных катализаторов в процессах сухого риформинга или паровой конверсии.

*В статье использованы результаты работ, выполненных при частичной поддержке грантов РФФИ №№ 08-03-92495, 08-03-92503, 08-03-92497, гранта NATO CLG N983361 и гранта IP FP6 019825 «HYVOLUTION». В рамках работ по Госконтракту № 02.526.11.6010. На основе результатов фундаментальных исследований, благодаря сотрудничеству Ассоциации «АСПЕКТ» впервые создана МК демонстрационная система для очистки биогаза.*

## Литература

1. World Energy Outlook 2008. IEA Publications. 2008.
2. Ягафарова Г.Г., Насырова Л.А. // Нефтегазовое дело. 2006. № 3-4. С. 235.
3. Le Journal Des Energies Renouvelables. 2008. Vol. 186. P. 45.
4. Weiland P. // Applied Microbiology and Biotechnology. 2010. Vol. 85. P. 849.
5. Stern S.A. // Journal of Membrane Science. 1994. Vol. 94. P. 1.
6. Тепляков В.В. // Журнал ВХО им. Д.И.Менделеева. 1987. № 6. С. 693.
7. Baker R.W. Membrane technology and application. N.-Y. Mc. Grow Hill. 2000.
8. Schell W.J., Houston C.D. // Energy Progress. 1983. Vol. 3. P. 96.
9. <http://www.virtuellesbiogas.at/node/384>.
10. Beil M., Hoffstede U., Klaas U. // Energie | wasser praxis. 2009. Vol. 1. P. 44.

11. Allen M.R., Braithwaite A., Hills C.C. // Environmental Science & Technology. 1997. Vol. 31. P. 1054.
12. Feng X., Sourirajan S., Tezel H., Matsuura T. // Journal of Applied Polymer Science. 1991. Vol. 43. P. 1071.
13. Wind J.D., Paul D.R., Koros W.J. // Journal of Membrane Science. 2004. Vol. 228. P. 227.
14. Paul H., Philipsen C., Gerner F., Strathmann H. // Journal of Membrane Science. 1988. Vol. 36. P. 363.
15. Yeom C.K., Lee S.H., Song H.Y., Lee J.M. // Journal of Membrane Science. 2002. Vol. 198. P. 129.
16. Borisevich O.B., Syrtsova D.A., Teplyakov V.V. et al. // Desalination. 2004. Vol. 163. P. 267.
17. Soon-Hwa Yeon, Ki-Sub Lee, Bongkuk Sea, Yu-In Park, Kew-Ho Lee. // Journal of Membrane Science. 2005. Vol. 257. P. 156.
18. Shalygin M., Yastrebov R., Golub A. et al. // Proc. of the EMS Conference. Montpellier, France. 2009. P. 455.
19. <http://www.biohydrogen.nl/everyone>.
20. Тарасов В.И. // Материалы IV Международного Конгресса «Топливный биоэтанол 2009». 2009.
21. Сергеев В.Н. // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2002. № 4. С. 5.
22. Волков В.В., Мчедlishvili Б.В., Ролдугин В.И. и др. // Российские нанотехнологии. 2008. № 11-12. С. 67.
23. Leland M. Vane. // Journal of Chemical technology & Biotechnology. 2005. Vol. 80. P. 603.
24. Srinivasan K. et al. // Chemical Engineering Science. 2007. Vol. 62. P. 2905.
25. Fadeev A.G. et al. // Journal of Membrane Science. 2001. Vol. 186. P. 205.
26. Ezeji T.C., Qureshi N., Blaschek H.P. // World Journal of Microbiology & Biotechnology. 2003. Vol. 19. P. 595.

## КОНФЕРЕНЦИЯ «КАТАЛИЗ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ЗАДАЧИ, ПУТИ РЕШЕНИЯ»

4–5 августа 2010 г., Ангарск, Россия

По инициативе Института катализа Сибирского отделения РАН и при поддержке Минпромторга России и ОАО «Роснефть» была проведена конференция, на которой обсуждались вопросы состояния и перспективы развития катализаторной промышленности в России. Конференция проходила на базе отдыха «Ангара», расположенной вблизи озера Байкал. Организаторами конференции выступили Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (Новосибирск) и ОАО «Ангарский завод катализаторов и органического синтеза» (Ангарск).

В работе конференции приняли участие представители 25 промышленных предприятий, Минпромторга России, ГК «Роснотех», институтов Российской академии наук (РАН), ОАО «Корпорация «Росхимзащита», компания «Sasol Germany GmbH».

С докладами на конференции выступили председатель Научного совета по катализу Российской академии наук академик В.Н. Пармон, генеральные директора ведущих катализаторных заводов в области нефтепереработки, нефтехимии, азотной

промышленности, представители зарубежных компаний и катализаторных производств. ООО «Новокуйбышевский завод катализаторов» представлял ген. директор О.В. Левин, ОАО «АЗКиОС» — ген. директор И.Д. Резниченко, ОАО «НИАП-Катализатор» — ген. директор А.И. Правдин, ООО «Салаватский катализаторный завод» — технический директор И.И. Лукьянчиков, ОАО «Корпорация Росхимзащита» — зам. ген. директора по науке С.Б. Путин, ОАО НИИ «Ярсинтез» — заместитель ген. директора Г.Р. Котельников, «Sasol Germany GmbH» — менеджер А. Малышев.

Ряд выступлений был посвящен проблемам обеспечения российских производств катализаторов оборудованием и сырьем. По инициативе ГК «Роснотех» состоялась презентация и обсуждение дорожной карты «Использование нанотехнологий в каталитических процессах нефтепереработки», разработанной форсайт-центром Высшей школы экономики (докладчик П.Б. Рудник).

С большим аналитическим докладом «Исследования и разработки по катализу в России» выступил