

Топливо будущего

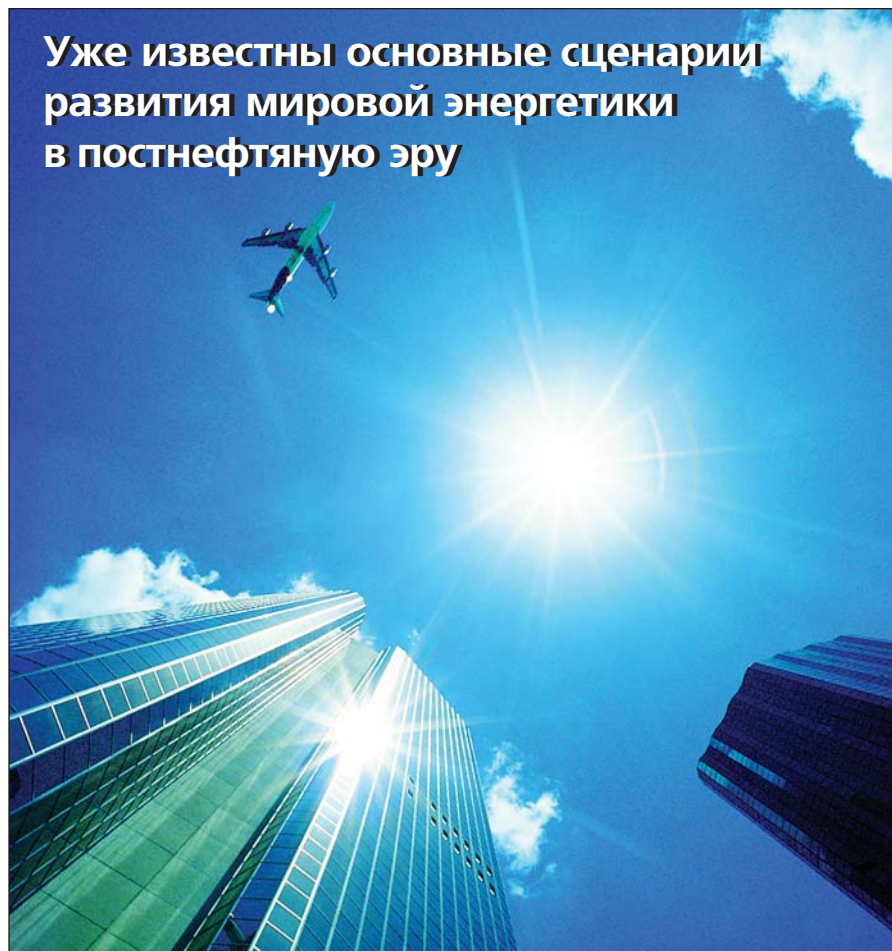
Илья Моисеев,
академик РАН

Николай Плэтэ,
вице-президент РАН

Химическая промышленность занимает особое место в мире энергетики. Химики потребляют не только энергию, но и энергоносители (уголь, углеводороды, спирты). В свою очередь, химическая индустрия производит такие энергоносители, как метанол и диметиловый эфир, высокооктановые добавки — метил-трет-бутиловый эфир и этил-трет-бутиловый эфир. Почти все виды моторных топлив получают сегодня методами химической технологии. Водород — самый экологически чистый энергоноситель, на который сегодня возлагают большие надежды автомобилестроители, создатели и потребители топливных элементов. В то же время водород — продукция и объект потребления химической промышленности. Поэтому химики как никто другой заинтересованы в том, как будет развиваться мировая энергетика в постнефтяную эру.

Два сценария

Вероятнее всего, энергетика будет развиваться по двум направлениям. По первому, еще задолго до исчерпания главных на сегодня природных ресурсов углеводородов (нефти и газа), будут до-



Уже известны основные сценарии развития мировой энергетики в постнефтяную эру

ступны высокопроизводительные и рентабельные промышленные методы производства энергии, базирующиеся на использовании управляемого термоядерного синтеза, прямом использовании

энергии солнца, ветра, океанических и морских приливов. Второй вариант предполагает, что альтернативные методы получения энергии не будут созданы заблаговременно, и традиционные источники топлив будут продолжать существовать.

Однако в обоих сценариях сырьем для химической промышленности еще долго будут служить ископаемые источники углеводородов. Сегодня только 5–10 % нефти и газа используются для покрытия сырьевых потребностей собственно химической и нефтехимической индустрии. По мере исчерпания легко доступных источников доля углеводородов, идущих на химический передел, будет возрастать за счет сужения топливного сектора. Придется вернуться к старым, заброшенным скважинам и другим, низко рентабельным для топливной промышленности источникам, чтобы удовлетворить сырьевые потребности химической индустрии. Человечество вновь вспомнит слова великого Мен-

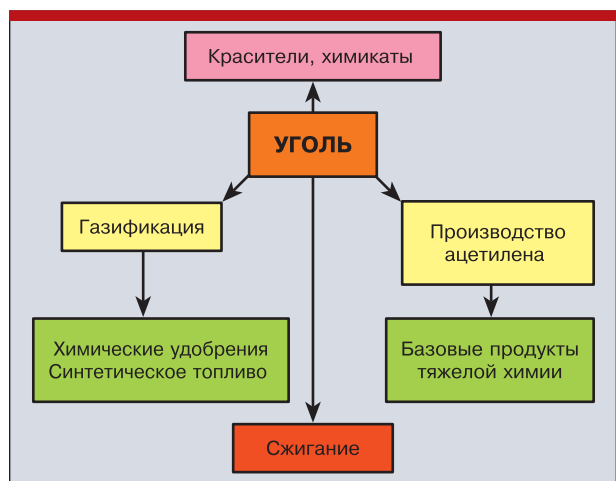


Рис. 1.
Уголь в химии и топливной индустрии

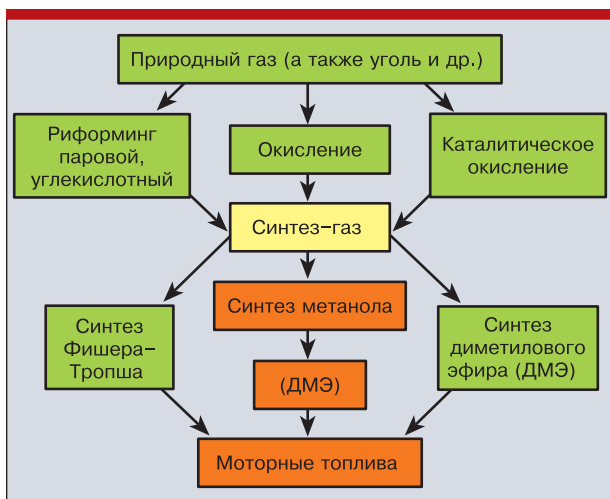


Рис. 2. Органические топлива из природного газа

ИНХС РАН

делеева о том, что сжигать нефть — все равно, что топить печь ассигнациями.

Нефти в качестве альтернативных источников энергии обычно противопоставляют уголь, природный газ, а в последние годы — биомассу. Еще один энергетический источник — твердые бытовые отходы, почти неизбежный спутник общества потребления, объем которых уже сегодня превышает 150 млн тонн/год.

Уголь

Проблемы переработки угля, как в химической промышленности, так и в энергетике, имеют давнюю историю и хорошо известны. В начале прошлого века вся химическая промышленность базировалась на продуктах термической переработки угля и ацетилена, получаемого из угля. Последний был сырьем, из которого в Германии во время второй мировой войны и в ЮАР в послевоенные годы получали как химикаты, так и моторное топливо.

XX век начинался как век угля и углекислоты. Даже в середине столетия, несмотря на бурное развитие автомобильного и других видов транспорта, потребляющих продукты переработки нефти, углю отдавалось предпочтение перед газом или нефтью. В сороковых годах еще встречались автомобили, снабженные газогенераторами. Однако при этом нефть и газ активно внедрялись в энергетику. Так, в 1946 году был успешно осуществлен первый крупномасштабный опыт по газификации такого мегаполиса, как Москва. Стали очевидны многие преимущества природного газа перед углем: добыча дешевле в 12 раз, транспортировка — в 8, производительность труда при добыче выше в 20–22 раза, отсутствуют проблемы с вывозом золы, ниже уровень загрязнения окружающей среды. Однако потребовалось еще много времени и средств для

создания инфраструктуры газовой промышленности и разработки новых месторождений. В этот же период получила мощный импульс для развития нефтепереработка, возникла и стала бурно развиваться нефтехимия.

Угольный сектор в производстве энергии сегодня все еще значим. С органическими топливами уголь связывает технология, включающая в себя его газификацию и синтез Фишера-Тропша (рис. 1). На этом базируется производство моторных топлив в ЮАР. Несмотря на то, что такому подходу к органическим топливам присущ ряд недостатков — высокий уровень эмиссии углекислоты (на каждое звено CH_2 углеводородной цепочки по стехиометрии выделяется молекула CO_2), капиталоемкость и энергоемкость — этот способ рассматривается во многих странах как практи-



Рис. 3. Установка термической конверсии возобновляемого сырья

чески единственный путь от угля или природного газа к привычному моторному топливу.

Многие задачи, успешное решение которых способствовало бы развитию угольной отрасли, все еще ждут своих исполнителей. К ним следует отнести:

- исследования, направленные на поиски новых методов производства ацетилена на базе угля (существующий метод энергоемок и вызывает справедливые нарекания экологов);
- исследования в области каталитической химии ацетилена для поиска более эффективных катализаторов и новых промышленных путей использования ацетилена;
- новые способы газификации угля, для производства на его основе синтез-газа или ацетилена;
- катализаторы для селективного восстановления оксида углерода, которые позволили бы получать по выбору с высоким выходом низшие алкены (сырье для большой химии) или высшие алканы (моторное топливо).

Разумеется, уголь не может быть полноценным эквивалентом нефти или газа в качестве источника сырья для производства всего многообразия окружающей нас сегодня химической продукции. При этом неизбежен существенный рост цен на все полимерные материалы, красители, средства гигиены, лекарственные вещества после перехода к углю как единственному или даже преимущественному сырью источнику.

Природный газ

По прогнозам аналитиков, после ожидаемого исчерпания разведанных и рентабельных для эксплуатации источников нефти, в течение длительного времени можно будет использовать не только уголь, но и природный газ — как в качестве носителя энергии, так и источника сырья для современной химической промышленности. Действительно, природный газ и его главный компонент — метан — гораздо экономичнее по сравнению с углем и органичнее вписываются в современную технологию базовых продуктов многотоннажной химии.

Метан можно использовать в качестве моторного топлива и без какой-либо химической переработки. Химики ИНХС РАН разработали способ превращения метана в традиционный высокооктановый бензин (рис. 2). Наиболее энергоемкой стадией этого многостадийного способа является производство синтез-газа. Удалось доказать, что вместо дорогого кислорода можно использовать воздух. Полученный в этой стадии разбавленный азотом («забалластрированный») синтез-газ можно успешно превратить в метанол и диметиловый

ИНХС РАН

эфир. Оба эти продукта не только могут служить в качестве моторного топлива, но и являются сырьем для производства высокооктанового бензина. Расходные коэффициенты по метану в этом способе превращения природного газа в моторное топливо чуть выше, чем в технологии, базирующейся на процессе Фишера-Тропша. Тем не менее, есть одно важное преимущество: в процессе Фишера-Тропша получают в основном дизельное топливо, а через диметилвый эфир можно получить высокооктановый бензин.

Твердые бытовые отходы и древесина

Сегодня твердые бытовые отходы, включающие в себя все полимерные материалы, не поддающиеся переработке, а также древесина рассматриваются как важный энергетический ресурс, прежде всего для больших городов.

В Париже около 80 % потребляемой энергии производится за счет сжигания городских отходов. Специальные меры по стимулированию производства энергии из бытовых отходов приняты в Голландии. В США работает более 1 000 энергетических объектов, использую-

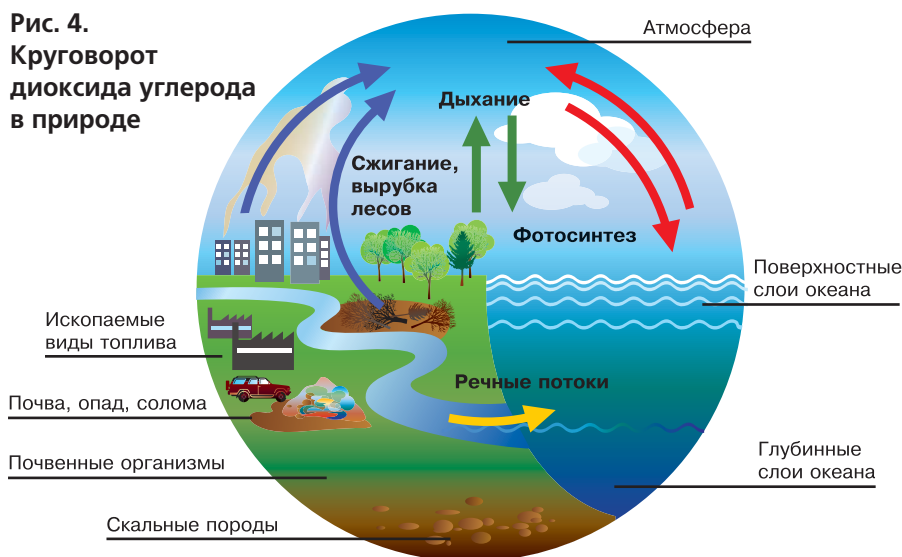
В Париже около 80 % потребляемой энергии производится за счет сжигания городских отходов.

щих в качестве топлива древесину и обеспечивающих электроэнергией заводы и поселки. Солому и подстилку для домашней птицы будут сжигать на электростанциях Великобритании. В США разводят плантации гибридных тополей и ив, дающих прирост до 5 м в год. Доля древесины в энергетическом балансе страны может достичь к 2015 году 15 %.

Институт проблем химической физики РАН разработал установку (рис. 3), которая позволяет газифицировать в режиме сверхadiaбатического горения твердые топлива и отходы с зольностью до 90 % и влажностью до 60 %. Энергетический КПД достигает 95 %.

Фирма Changing World Technologies предложила технологию превращения любых мыслимых отходов цивилизации методом «термической деполимеризации» в нефть и газ. Технология апробирована на экспериментальной (в Филадельфии), а затем полупромышленной (в штате Миссури) установках. Речь идет фактически об осуществлении в режиме реального времени естественных термических процессов, лежащих в основе превращения органического материала в нефть и газ. Такая технология позволяет получать из городских бытовых отходов нефть с КПД близким к 85 %. Наибольший выход нефти (40–74 %) достигается при переработке пластмасс, мертвых

Рис. 4. Круговорот диоксида углерода в природе



биологических тканей, включая стоки канализационных вод, тяжелых нефтепродуктов, отработавших автомобильных шин и медицинских материалов, в том числе и тех, что содержат инфекционные и вредные вещества. В разработку и реализацию технологии частные ин-

К биоресурсам приковано внимание не только ученых, но и предпринимателей, занимающихся развитием энергетики. Работа по превращению «всего на свете в нефть» была инициирована сотрудниками индусшачьей фермы, перед которыми стояла задача утилизации навоза.

Возобновляемое растительное сырье может стать важным ресурсом для химической индустрии и топливной промышленности. Когда химики и энергетики используют нефть, газ или уголь в качестве сырья или исходных энергоносителей, они потребляют материалы, возникшие благодаря фотосинтезу и запасенные природой миллионы лет назад. Почти все полученное человеком из нефти и газа рано или поздно сгорит или сгниет и внесет свой вклад в загрязнение

восторы вложили 40 млн долларов. К финансированию подключилась федеральная власть, инвестировав в проект 12 млн долларов. В первую промышленную установку в штате Миссури инвестировано 20 млн долларов. Технология позволит получать высококачественную нефть при затратах 8–12 долларов за баррель. Поскольку производство может

Компания Changing World Technologies осуществила в режиме реального времени естественные термические процессы, лежащие в основе превращения органического материала в нефть и газ.

быть максимально приближено к местам потребления конечной продукции, расходы на транспортировку будут сведены к минимуму, что обеспечит цену на нефть меньшую, чем на мировом рынке.

Биомасса

Содержание биомассы в мире измеряется гигантской цифрой — 800 млрд т, ежегодное возобновление составляет 200 млрд т. Поэтому вполне понятно, почему место нефти постепенно занимают не только природный газ и уголь, но и возобновляемые ресурсы. Начиная с 1999 года, строка «возобновляемые ресурсы» неизменно сопровождается дополнением «в том числе биомасса».

атмосферы углекислотой (рис. 4).

Использование биотоплив — это реальный способ борьбы с парниковым эффектом. Так, добавление 5 % биокомпонентов в топливо способно уменьшить выбросы CO₂ в атмосферу более чем на 1%. Примечательно, что Киотский протокол выводит за рамки международных соглашений биотоплива, получаемые конверсией биомассы, поскольку биомасса является продуктом фотосинтетического восстановления диоксида углерода.

Любопытно, что в 30-х годах прошедшего столетия в России и, чуть позже, в США благодаря С. В. Лебедеву и И. И. Остромысленскому возникло производство синтетического каучука из этанола, ▶

**Работа по превращению «всего на свете в нефть»
была инициирована сотрудниками индюшачьей фермы,
перед которыми стояла задача утилизации навоза.**

◀ который получали ферментацией крахмала картофеля (с деталями технологии знакомы все, кто в конце 80-х годов обходил сухой закон). Оказалось, что одной десятой посевных площадей страны, отводимых для производства картофеля, достаточно для удовлетворения нужд в синтетическом каучуке.

«Нефтеносные» растения

Источником натурального каучука, как известно, являются растения типа гевеи. Известны и другие «нефтеносные» растения, продуцирующие латекс. Этим свойством обладают семейства молочайных, тутовых, ваточниковых (ластовневых), маковых, сложноцветных.

В плодах растущего на Филиппинах нефтяного дерева, молочая, содержится почти чистая нефть, не имеющая в составе ни серы, ни других экологически вредных веществ. Свежесорванный орех этого дерева воспламеняется от спички (рис. 5).

Можно упомянуть также дерево, растущее во влажных лесах Амазонии, — копайбу из семейства бобовых. Для разведения копайбы на плантациях требуются, конечно, обильные дождевые осадки. Дерево достигает почти 30 м высоты и имеет ствол диаметром 1 м. Из



Рис. 5. В плодах растущего на Филиппинах нефтяного дерева, молочая, содержится почти чистая нефть, не имеющая в составе ни серы, ни других экологически вредных веществ

надрезов на стволе копайбы можно получать жидкость, богатую углеводородами; из одиночного надреза за два часа может насочиться от 10 до 20 литров. Состав этого «сока» настолько близок к дизельному топливу, что его можно прямо заливать в бак грузовика.

Большинство известных нефтеносов — растения тропических и субтропических регионов, где среднегодовая температура составляет 22–25 °С. В России такие растения не растут, для нас более перспективны масличные культуры, например рапс.

Рапс и биодизель

Испытания рапсового масла в качестве топлива для автомобиля в Германии показало его высокую экономичность: 4–5 л топлива на 100 км пробега. При этом литр бензина стоит 1 доллар, а масло — в два раза дешевле. В Германии действуют 15 масляных автозаправочных станций.

По удельному весу в общемировом производстве масличных рапс вышел на третье место — после сои и хлопка, опередив подсолнечник.

По технологии, предложенной Р. С. Яруллиним, генеральным директором «Татнефтехиминвестхолдинга», из рапса можно получать метиловые эфиры высших жирных ненасыщенных кислот, которые являются высококачественным экологически дружелюбным дизельным топливом. Республика Татарстан уже приступила к строительству специ-

чают тонну дизельного топлива. В Австрии биодизельное топливо уже сейчас составляет 3 % общего рынка дизельного топлива. Соизмеримые по объему количества биодизеля производятся во Франции и Италии.

По данным Petroleum Review, Западная Европа уже сейчас производит порядка 700 тыс. т/год дизельного топлива растительного происхождения. К 2010 году эта цифра вырастет до 8,3 млн т/год.

Примерно 20 % обычного дизельного топлива планируют заменить на биодизельное в США и использовать его на морских судах, городских автобусах и грузовых автомобилях. В производство растительного топлива быстро включились крупнейшие промышленные компании, такие как Cargill Inc. (США) и Lurgi AG. Рынок растительного топлива является быстро растущим.

Биогаз

Одним из старейших направлений получения топлива из возобновляемого сырья является переработка бытовых отходов методами ферментации, завершающаяся получением биогаза.

Биогаз в США занимает второе место по важности среди биотоплив. Недавно там принят закон об оборудовании всех без исключения полигонов твердых бытовых отходов системами конверсии их в смесь метана и СО₂ с последующей энергетической утилизацией.

С 1999 года в Германии функционируют более 600 биогазовых установок, и она занимает первое место в Европе по использованию биогаза. Биогазовая технология способна обеспечивать до 15 % энергетики Германии. В Швеции в настоящее время функционируют 779

Рапс, используемый в нефтехимии, по удельному весу в общемировом производстве масличных опередил подсолнечник и вышел на третье место — после сои и хлопка. В Великобритании площади земель, на которых выращивается рапс, увеличились со 100 тыс. га до 1,5 млн к 2006 году.

ализированного маслоэкстракционного завода для переработки 300 тыс. т рапса в год (см. «Химический журнал», № 9, 2005 г., с. 40–44). Интерес к возобновляемому сырью в РТ поддерживается ее руководством, утвердившим программу, предусматривающую резкое (почти в 2,5 раза) увеличение посевных площадей под рапс.

В Великобритании площади земель, на которых выращивается рапс, увеличились со 100 тыс. га до 1,5 млн к 2006 году. Гектар рапсового поля дает 3 тонны растительного масла, из которого полу-

автобусов на биогазе, тысячи легковых машин, потребляющих как бензин, так и биогаз. Шведская компания Svensk Biogas создала первый в мире поезд на биогазе, пробег поезда на одной заправке — 600 км, максимальная скорость — 130 км/час. Для развития биотопливной индустрии в Европе имеются значительные резервы. К 2010 году в странах ЕС за счет применения биометана планируется получить дополнительной энергии около 15 млн тонн нефтяного эквивалента.

Лидером мировой биогазовой про-

мышленности является Китай, где с середины 70-х годов прошедшего столетия действует Национальная программа по получению биогаза из отходов животноводства, в 80-х годах в Китае действовало 10 млн фермерских биореакторов, производящих ежегодно 1,3 млрд куб. м биогаза, кроме того работают 40 тыс. биогазовых станций больших и малых размеров, 24 тыс. очистительных сооружений, производящих биогаз. Это обеспечивает работу 190 электростанций и свыше 60 % автобусного парка страны, что особенно ценно для сельских местностей (80 % автомобильного парка сельского хозяйства). Китай является даже экспортером биогаза и двигателей на его основе.

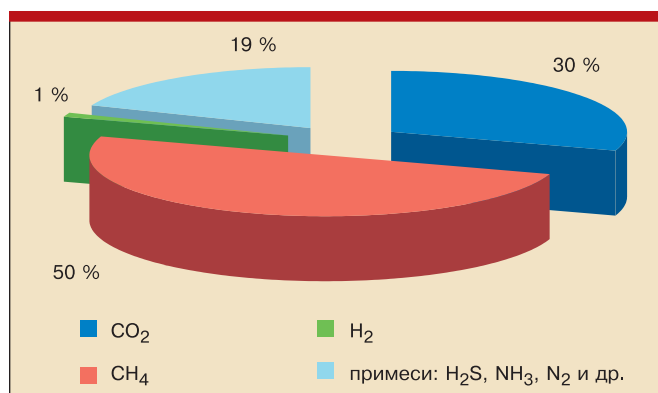
Что касается России, то в подмосковном г. Мытищи строится демонстрационный полигон, который обеспечит электроэнергией и теплом 100 тыс. до-

60 % автобусного парка Китая работает на биогазе, полученном из отходов животноводства.

мов. В городах Мытищи и Серпухове смонтированы модули по производству биогаза и преобразованию его в электрическую и тепловую энергию. Переработка 500 млн т отходов городского хозяйства и промышленности, осадков сточных вод, отходов животноводства и птицеводства позволила бы производить 150 млн тонн условного топлива.

Метановое брожение с получением биогаза — наиболее эффективный путь анаэробной биологической конверсии органических отходов в топливо. Преимуществом этого метода является относительная простота и экономичность технологии. При полном разложении углеводов смешанными культурами микроорганизмов с образованием метана в газе сохраняется до 85 % энергии, которая могла бы быть получена при сгорании исходного субстрата. Метаногенные бактерии способны превращать в метан отходы сельскохозяйственного и пищевого производств, навоз, солому, произ-

Диаграмма 1. Состав биогаза



водить очистку коммунальных сточных вод, переработку отходов пищевой, хлопковой, льняной, текстильной, деревообрабатывающей промышленности, трансформировать в биогаз торф. Стабильная выработка биогаза при захоро-

брану и, поглощаясь химическим или физическим абсорбентом, выносятся вместе с ним из абсорбционного модуля. Абсорбент подбирается так, чтобы разница растворимостей разделяемых газов или скорость реакции извлекаемого и поглощающего компонентов были оптимальными.

Мембранный контактор может работать как в проточном, так и в рециклическом режимах. Во втором случае насыщенный компонент абсорбент направляется на регенерацию в десорбционный модуль. Газ, проникающий через мембрану, откачивается или отбирается инертным по отношению к абсорбенту газом. После чего жидкий носитель охлаждается и регенерированный, направляется обратно в абсорбер, а отобранный компонент (CO₂) может использоваться в химической или пищевой промышленности.

Конструкционно мембранные контакторы могут быть решены в виде плоскорамных (кассетных), дисковых, трубчатых, волоконных и рулонных модулей. В целом, разработанные в ИНХС пилотные мембранные модули обеспечивают переработку биогаза с разделением на индивидуальные компоненты (CO₂ и CH₄) технической чистоты, производительностью до 50 м³/час.

Принципиальной особенностью процесса метанообразования в анаэробных условиях является рецикл минеральной части биомассы, прежде всего фосфора. После удаления 80–90 % углерода в виде биогаза, остаток представляет собой сбалансированное минеральное удобрение.

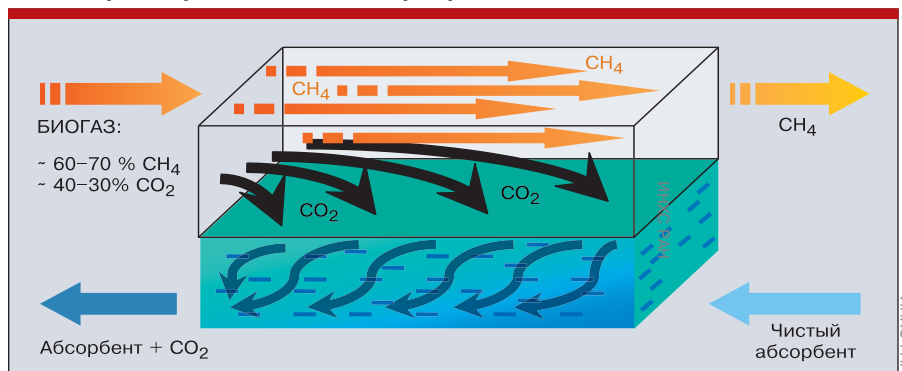
нении органических отходов в природных условиях происходит в течение нескольких лет.

В промышленных условиях этот процесс может быть сокращен до двух-трех месяцев.

Российский опыт получения биогаза

Классическими методами разделять биогаз экономически невыгодно вследствие его низкого давления (1,5 атм). В ИНХС РАН предложен метод, сочетающий в себе возможности абсорбционного и мембранного разделения. Процесс осуществляется в мембранном контакторе (рис. 6), представляющем устройство, разделенное на газовую и жидкостную части полимерной мембраной, наиболее проницаемой по удаляемому компоненту. Биогаз поступает в газовое пространство, наиболее легкопроницающий компонент (CO₂) проходит через мем-

Рис. 6. Разделение биогаза с помощью активных мембранных систем (мембранных контакторов)



Этанол

Добавки этанола (до 26 % в бензин и до 3 % в дизельное топливо) широко применяются для автомобильных двигателей. Использование этанола приводит к повышению октанового числа.

Не менее 95 % этанола в наши дни получают из растительного сырья. Стало очевидным, что альтернативный метод — метод гидратации этилена — не имеет будущего.

Лидерами в производстве топливного этанола являются Бразилия и США. В 1975 году в Бразилии стартовала Национальная спиртовая программа, благода-

том, что лигноцеллюлозная биомасса вначале превращается в сахара (глюкозу, ксилозу), которые далее в процессах ферментации превращаются в этанол,

Из 93 млрд литров топлива, производимого в США, 13 млрд литров (или 14 %) приходится на этанол. К 2012 году производство биоэтанола будет увеличено на 38 млрд литров в год.

ря которой производство технического спирта выросло с 500 млн литров (1975) до 13 млрд литров в год (1986). В настоящее время Бразилия является крупнейшим в мире производителем и экспортером спирта. Экспорт промышленного спирта из Бразилии за последние два года возрос более чем на 400 %.

Последние годы в США создается мощная индустрия производства топливного этанола. С 2004 года продолжается рекордный рост промышленности, производящей этанол. В США функционируют 81 завод по производству этилового спирта в 20 штатах, с общим производством свыше 13 млрд литров. При этом используется до 11 % годового производства зерна.

Доля этанола в общем объеме продаж топлива в США в настоящее время достигает 14 %, что является весьма значительным вкладом в независимое энергообеспечение страны. Президент Буш 8 августа 2005 года подписал закон об энергетике, согласно которому для сокращения импорта нефти к 2012 году необходимо увеличить производство биоэтанола еще на 30 млн тонн в год.

В Китае также имеется собственная программа перехода на возобновляемое топливо. С учетом того, что для выпуска 1 т этанола требуется 3,2 т зерна, стоимость китайского этилового спирта составляет 484 долларов за тонну при цене тонны бензина в 490 долларов. В 2006 году планируется увеличить производство этанола до 1,2 млн тонн, в 2008 — до 1,5 млн тонн.

Помимо этанола из биомассы можно получать путем ферментации бутанол, изопропанол, некоторые другие спирты и фенол. Простейшая схема превращения биомассы в этанол заключается в

диоксид углерода и ряд побочных продуктов. В идеальном случае из 1 моля глюкозы можно получить 2 моля этанола.

Снижение себестоимости этанола

Однако процесс ферментации тормозится образующимся спиртом. Все известные на сегодня микроорганизмы, включая стандартные пекарские дрожжи, перестают работать при концентрации этанола 5–8 %. Ингибирующее действие бутанола на микроорганизмы наступает уже при концентрации выше 1 %, что требует непрерывного удаления спиртов из реакционной массы. Традиционный путь — дистилляция, стоимость которой повышает себестоимость продукции. Выход возможен при использовании селективных по спирту мембран, позволяющих с минимальными энергозатратами удалять из реактора спирт в режиме так называемого «первапорационного» мембранного биореактора. При этом реализуется процесс непрерывной экстрактивной ферментации и минимизируется ингибирующее действие этанола и бутанола, а также повышается производительность реактора, снижаются энергозатраты на последующее концентрирование обогащенного по этанолу или бутанолу пермеата (рис. 7).

Разработанные в ИНХС РАН и запатентованные в 2005 году мембраны из нанопористого гидрофобного полимерного стекла — политриметилсилилпропина и полидиметилсилметилена — позволяют концентрировать этанол из водных сред в одну ступень с 6 до 54 % и бутанол — с 1 до 48 %. Мембраны прошли многомесячные лабораторные ис-

пытания в режиме первапорационного мембранного биореактора, проявив самую высокую на сегодняшний день селективность по бутанолу и устойчивость к загрязнению побочными продуктами ферментации.

И бензин, и керосин — из биомассы

Биомасса может стать также сырьем для производства разных видов топлив — от автомобильного до авиационного. Ученые Института нефтехимического синтеза и ИОНХ РАН обнаружили новую реакцию. Оказалось, что этанол способен превращаться как в смесь алканов (преимущественно изостроения, т. е. высокооктановые компоненты моторных топлив), так и, в зависимости от режима и состава катализатора, — в смесь углеводородов с неразветвленной углеродной цепочкой (имитация керосина).

Для реакции не требуется спирт высокой чистоты. Наоборот, чем больше сивушных масел, тем выше выход полезных для данной задачи продуктов. Конечный продукт — фактически готовое моторное топливо — легко отделяется от воды. Теплота сгорания его выше, чем теплота сгорания исходного сырья. Превращение спирта в моторное топливо сопровождается выделением тепла, которое может быть использовано в производстве. Другими словами, коэффициент полезного действия процесса превращения спирта в бензин близок к 85 %.

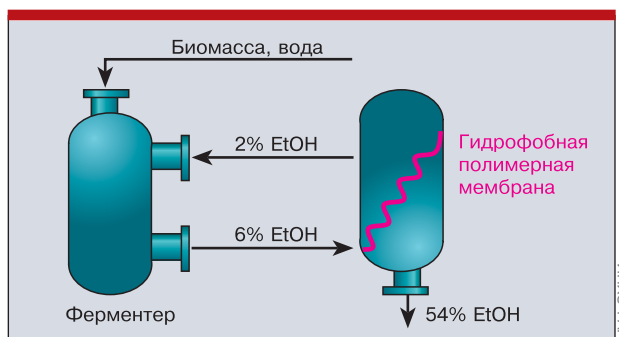
Получать углеводородное топливо можно из сравнительно дешевого технического спирта и использовать любое сырье растительного происхождения. Спирт может содержать до 20 % воды. Напомним, что обычно основные энергозатраты на разделение смеси спирт/вода связаны с удалением последних 15 % процентов воды и очисткой спирта от сивушных масел.

Перспективы

Установочная мощность заводов, предназначенных для производства биотоплива (биогаз, биодизель, соякеросин, кокосодизель, рапсобензин) в Европе достигает сотен тысяч тонн в год. Считают, что в 2010 году около 7 % топлива будет «зеленым». В лексиконе стали привычными термины «биоэтанол», «биогаз», «биодизельное топливо» и др.

Пять-семь лет назад идея об использовании возобновляемого сырья в России вызвала скепсис. Сегодня для всех очевидно, что старт в гонке за лучшие методы использования возобновляемого сырья как в энергетике, так и в химической индустрии уже дан. Важно не оказаться на обочине и не остаться в числе аутсайдеров. ■

Рис. 7.
Первапорация: удаление спирта из браги с помощью мембраны вместо ректификации



ИНХС РАН