

ИННОВАЦИИ В МИРЕ ЭНЕРГЕТИКИ

Российская академия наук держит руку на пульсе новых энергетических решений

Сергей Алдошин, академик РАН

Дальнейшее использование ископаемого топлива регламентируется допустимым уровнем выбросов диоксида углерода в атмосферу. Использование природного газа, так же как технологии улавливания и утилизации углерода в выбросах, могут уменьшить эмиссию диоксида углерода, но при этом не нужно забывать о необходимости увеличения доли источников энергии, не содержащих углерод. Реалии бросают вызовы науке в таких областях как химическое поведение малых молекул в эволюции атмосферы, оптимизация процессов горения и новые методы получения синтетических топлив. Кроме того, усовершенствование систем хранения электрической энергии требует развития фундаментальных исследований, а также прикладных технологий, в том числе моделирования поверхностей раздела фаз, кинетики и механизмов изменения фазового состояния, синтеза новых наноматериалов и конструирования структур, подходящих для получения оптимального размера частиц требуемой морфологии и пористости.

Возможно, в ближайшие несколько лет не будет в развитии промышленности технологических прорывов. Возможно, что в течение примерно 10 лет существующие технологии будут развиваться в направлении снижения стоимости и улучшения экологической обстановки в большинстве распространенных областей применения. Но в следующие 10 лет конкуренция приведет к созданию технологий, существенно отличных от сегодняшних, и нужно к этому готовиться.

РАН для мегаполиса

Российская академия наук плодотворно и успешно взаимодействует с правительством Москвы по большому числу важнейших научных направлений, актуальных не только для решения экономических, экологических и социальных проблем города Москвы, но и для других городов и регионов России. Энергетические и экологические проблемы мегаполисов тесно связаны между собой и должны решаться комплексно и по многим направлениям одновременно. Значительная часть энергетических установок, работающих на твердом топливе, физи-

чески и морально устарела. Эти установки являются источниками образования большого числа токсичных продуктов горения, обладают чрезвычайно низким коэффициентом полезного использования топлива, произвели и производят миллионы тонн золы и шлака, содержащих несгоревший углерод и канцерогенные полиароматические соединения.

В РАН разработана новая технология газификации твердых топлив в режимах фильтрационного горения со сверхadiaбатическим разогревом. Она позволяет превращать твердое горючее (например, уголь) в энергетический газ, который затем можно использовать в передовых

Рис. 1. Комплексное энергохимическое производство на основе твердых топлив



Рис. 2. Безотходный мусороперерабатывающий комплекс



энергетических устройствах, например в комбинированном парогазовом цикле. Разработанная технология обеспечивает коэффициент полезного действия до 90 %, наряду с обычными сортами энергетического угля она позволяет использовать высокосольные и высоковлажные топлива (30–50 % влажности). При этом в золе (шлаке) содержание углерода и полиароматических соединений снижается в 10–100 раз, а отходы можно применять в производстве строительных материалов. При использовании современных энергетических устройств образование токсичных продуктов при вторичном сжигании полученного энергетического газа также снижается в 10–100 раз (рис. 1).

На основе предложенной технологии может быть создано комплексное безотходное производство энергии с коэффициентом использования топлив вдвое выше, чем у существующих станций, с пониженным образованием токсичных продуктов горения на порядки, одновременным производством строительных изделий, а, в некоторых случаях, и других побочных продуктов. В таком энергетическом процессе можно использовать и другие виды топлив, например биотоплива из непищевого сырья, торф, сланцы, промышленные и бытовые отходы.

ТБО

Утилизация промышленных и бытовых отходов — самостоятельная многогранная проблема. Для отходов, содержащих горючие компоненты, может быть использована новая технология газификации. Однако сама схема комплексного производства и производительность используемого оборудования должна быть видоизменена (рис. 2).

Предложенный метод газификации может быть положен в основу уничтожения медицинских отходов (всех, включая пищевые и обычные ТБО из лечебных

учреждений). Однако вначале необходима разработка общей концепции. Здесь есть два пути:

- создание централизованных производств, куда медицинские отходы собирались бы из разных организаций;
- создание относительно малых автоматизированных установок, расположенных непосредственно в больницах и уничтожающих отходы по мере их образования.

При этом оба варианта имеют свои достоинства и недостатки.

Водородная энергетика

Эксперты многих стран мира считают, что уже в первой половине XXI века заметную роль в развитии мировой энергетики, в том числе в энергетике больших городов, предстоит сыграть водороду. Еврокомиссия рассматривает два сценария развития водородной энергетики:

- базовый — производство водорода на основе традиционных источников энергии (уголь, нефть, газ) путем термохимической конверсии первичной энергии;
- водородный — производство водорода на основе альтернативных, в том числе возобновляемых источников энергии, включая гидроэнергетику, путем электролиза воды.

В соответствии с водородным сценарием широкомасштабное производство водорода в мире начнется после 2030 года и будет стимулироваться снижением стоимости водородных технологий и ростом потребления водорода в транспортном секторе. С 2030 по 2050 годы производство водорода вырастет до 1 млрд т (в базовом сценарии — 250 млн т). К 2050 году водород, по водородному сценарию, будет обеспечивать 13 % от конечного потребления энергии по сравнению с 2 % в базовом сценарии.

В данный момент мировой объем производства водорода составляет 50–60 млн т

в год, его основными потребителями являются: химическая промышленность, нефтепереработка, металлургия, производство поликристаллического кремния, микроэлектронная и электротехническая промышленность, пищевая промышленность и энергетика.

Предполагается, что в ближайшем будущем большая часть произведенного водорода будет использоваться на ТЭЦ для производства электроэнергии и тепла и возможно в двигателях внутреннего сгорания (базовый сценарий). По водородному сценарию предусматривается производство водорода электролизом воды и практически полное его использование на транспорте (главным образом в топливных элементах). Производство водорода электролизом воды стимулирует применение избыточных мощностей АЭС и возобновляемых источников энергии в провалах суточного и годового графиков нагрузки. В этом случае станции работают с КПД, близким к оптимальному, и с максимально возможным отпуском электроэнергии внешнему потребителю, благодаря этому минимизируются удельные постоянные эксплуатационные затраты и снижается себестоимость производства электроэнергии.

Топливные элементы

Различают пять основных видов топливных элементов. Однако в настоящее время активно разрабатываются и производятся в основном два: твердополимерные топливные элементы — ТПТЭ и твердооксидные — ТОТЭ.

Основными достоинствами всех типов ТЭ являются: высокий КПД (от 35 до 90 % у промышленно производимых ТЭ), экологическая чистота (зависит от вида топлива, для водорода — абсолютная) и отсутствие шума. Основные общие недостатки: недолговечность (ресурс 10–50 тыс. часов), высокая стоимость, для водорода дополнительно — дороговизна самого топлива.

Наиболее перспективными топливными элементами являются твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ). ТОТЭ по международной терминологии — SOFC, имеют достаточно широкий диапазон применений: от портативных источников тока (10–500 Вт) до автономных стационарных электростанций (1–10 МВт). Их привлекательность обусловлена, прежде всего, высокой эффективностью прямого преобразования химической энергии топлива в электричество. При этом топливом могут служить любые углеводороды, а окислителем — воздух. Электрохимическое «сгорание» топлива обеспечивает высокую экологичность процесса получения электроэнергии.

В настоящее время основные направления разработки устройств на основе ТЭ сосредоточены на получении источников



Топливные элементы позволяют заряжать мобильные устройства при отсутствии традиционных источников тока

питания для портативной техники, транспорта, резервных источников питания и распределенной системы производства электроэнергии. Кроме того, такие источники могут быть использованы для компенсации пиковых нагрузок электросети. Говорить о развитии большой энергетики на основе водорода пока не приходится. Даже самые оптимистичные прогнозы исследователей США и Европы свидетельствуют о том, что развитие такой энергетики может начаться не раньше 2020 года и к 2030 году достигнет лишь нескольких процентов.

Зарубежные инициативы

Министерство коммерции, индустрии и экономики Южной Кореи в 2005 году приняло план строительства водородной экономики к 2040 году. Цель — производить на топливных элементах 22 % всей энергии и 23 % электричества, потребляемого частным сектором. Если поставленные задачи будут выполнены, Южная Корея станет производить из водорода 8 % ВВП страны к 2040 году. Что касается Европы, то в Швейцарии испытана экспериментальная модель ТОТЭ «HXS 1000 премьер», которая была установлена в 110 жилых зданиях. Установки проработали с начала испытаний более 1,5 млн часов, таким образом накоплен опыт работы в реальных условиях. На Ганноверской ярмарке в 2005 году компания Nexis представила следующее поколение ТОТЭ — топливную систему «Galileo 1000 N».

В настоящее время в Японии фирмами Osakagas и Tohogas начаты пилотные проекты по установке в частных домах 1–2 киловаттных установок ТОТЭ, работающее оборудование в реверсивном режиме соединено с городской электросетью. Общий КПД ТОТЭ достигает 80 %, КПД

генерации электроэнергии до 60 %. Помимо электроэнергии производится тепло, которое используется для обеспечения горячего водоснабжения и обогрева.

В последние годы в ЕС, США, Канаде, Японии, Китае и ряде других стран приняты новые государственные программы, рассчитанные на широкое внедрение водородных технологий в автотранспорте, энергетике, авиации и других областях промышленности. Основные цели этих программ — обеспечение энергетической независимости, экологической безопасности, устойчивого развития, повышения качества жизни населения и лидерства указанных стран в области новых водородных технологий. Наиболее крупные государственные программы анонсированы и приняты в США (Freedom CAR и Freedom Fuel — в сумме 1,7 млрд долларов на 5 лет), Японии (WE-NET, 4 млрд долларов до 2020 года), странах ЕС (500 млн евро в год). Примерно 1/3 средств предназначается для финансирования НИОКР по созданию водородного автотранспорта и 2/3 — по развитию водородных энергоустановок, систем энергообеспечения и водородной инфраструктуры: производство, хранение, транспортировка, распределение водорода.

Крупные нефтяные (Shell, ExxonMobil, BP, и др.), химические (Dow Chemical, DuPont и др.), энергетические и энергомашиностроительные (Siemens и др.), автомобилестроительные (Toyota, General Motors, Renault, BMW и др.), авиационные (Boeing, Deutsche Airbus и др.) и инновационные структуры поддерживают эти инициативы, их вклад в финансирование НИОКР уже превышает финансирование из госбюджета. В рамках ISO функционируют рабочие группы из представителей стран-участниц для разработки международных стандартов и кодов на водородные технологии, оборудование, топливо, что

является необходимым условием формирования международного рынка и развития всех форм сотрудничества, включая международное партнерство в разработках и реализации новых проектов.

Европейский Союз и США подписали соглашение о кооперации в исследованиях в области водородных технологий и топливных элементов для энергетики, транспорта и других отраслей. США и Канада, страны ЕС, Япония осуществляют масштабные программы НИОКР в области водородной энергетики с целью ослабления позиций стран-экспортеров нефти. По темпам развития НИОКР и объемам государственного финансирования к этим странам могут присоединиться Китай и Южная Корея.

В марте 2006 года германский HyWays проект опубликовал прогнозы проникновения водородного автотранспорта на европейский рынок. Лимитирующими факторами для создания конкурентоспособных источников тока на основе топливных элементов является разработка и реализация новых технологий получения материалов, используемых в топливных элементах:

- материалов для электродов и наноразмерных электрокатализаторов;
- ионопроводящих мембран;
- биполярных контактных пластин.

Инновации РАН

Для создания твердооксидных топливных элементов в РАН разработаны новые катодные и анодные материалы, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками, и предложены способы их коммутации с твердым электролитом. Ведется поиск новых кислородпроводящих твердых электролитов с повышенной химической стабильностью и высокой проводимостью при пониженных (до 400–600°C) температурах.

В Российской академии наук проводится разработка нового поколения катализаторов и их носителей. Среди наиболее перспективных можно выделить:

- получение и стабилизацию наноразмерных кластеров платины и платина-углеродных композитных материалов (размер кластеров платины 1,5–2,5 нм) методами лазерного электродиспергирования и магнетронного напыления, что позволяет сократить расход платины в 5–10 раз по сравнению с существующими коммерческими катализаторами при сохранении каталитической активности;
- создание нового поколения композитных катализаторов на основе наноразмерной платины, нанесенной на наноструктурированные углеродные носители с повышенной каталитической активностью и химической стабильностью;
- создание би- и триметаллических систем с пониженным содержанием пла-

тины или заменой платины на другие благородные металлы;

- создание новых типов катализаторов на основе неуглеродных оксидных наноструктурированных носителей с повышенной химической стойкостью и долговечностью.

При создании новых протонобменных мембран основные усилия российских ученых направлены на:

- создание влагонезависимых мембран с высокой проводимостью при отрицательных температурах на основе полимеров, допированных низкомолекулярными органическими сульфопроизводными или нанодиспергированными неорганическими соединениями;
- создание высокотемпературных протонобменных мембран (вплоть до 250–300°C) на основе фосфорилированных гетерополиариленов или неорганических мембран на основе сульфатосфатных систем.

В создании материалов для биполярных пластин основное внимание уделено получению углерод-полимерных и углерод-углеродных композиций с пониженной плотностью, повышенными химической и термической стойкостью и высокой электропроводностью.

ТЭ на биогазе

Перспективным считается использование для получения электроэнергии на батареях высокотемпературных топливных элементов биогаза. Данное направление представляет собой органическое сочетание двух инновационных направлений:

- разработка технологии и оборудования для эффективного получения биогаза,
- разработка и изготовление генератора на основе твердооксидных топливных элементов, работающих на биогазе.

На очистных сооружениях в Дрездене (Германия) уже функционирует опытная установка для получения биогаза. Планируется также создание аналогичной пилотной установки на одном из очистных полигонов Московской области. Проект разрабатывается учеными РАН (ИФТТ РАН, СПбГПУ, ЭЗАН) совместно с Fraunhofer Institute for Ceramic Technologies and Systems (IKTS) (Германия). Эта установка будет питать ТОТЭ мощностью 1 кВт.

Энергетические источники будущего

Что касается получения энергии с учетом будущих глобальных потребностей, то внимание должно быть сфокусировано на тех источниках, которые способны превысить несколько тераватт. Если принять во внимание все возражения социального плана, связанные с использованием биомассы, то единственными возобновляемыми источниками, способными сегодня соответствовать таким количествам энергии, с точки зрения существующих

технических и экономических аспектов, являются ветряные, геотермальные и солнечные (термические и фотовольтаические) источники. Использование энергии ветра кажется самым простым, так как в благоприятных местах использование ветряных мельниц уже почти обеспечивает конкурентные цены на энергию. В технологиях ветряной энергетики не ожидается больших инноваций. Однако исследуются возможности использования энергии ветра на больших высотах.

В настоящее время геотермальные источники энергии в основном эксплуатируют гидротермальные резервуары, в которых поток горячего пара, натурального или поддерживаемого инъекцией воды, извлекаемой из глубины Земли, используется для производства электричества.

Разрабатываемые технологии искусственного использования геотермальных водохранилищ активно развиваются для того, чтобы расширить возможность использования данного естественного источника. Большой интерес представляют также системы, в которых используется энергия из Земли для производства низкотемпературных тепловых потоков для отопления помещений, что значительно снижает эмиссию углерода.

Солнечный свет, который получает Земля, значительно превышает общие потребности, поэтому есть искушение предположить, что когда-нибудь солнечные технологии могли бы заменить производство энергии из ископаемых топлив. Фотовольтаика является динамично и быстро растущей индустрией, которая в течение последних 10 лет увеличивается ежегодно на 40 %. В 2002 году индустрия солнечных батарей использовала больше по площади кремния, чем индустрия ми-

кроэлектроники. Прогнозируемое производство ультрачистого кремния к 2012 году должно увеличиться в восемь раз по сравнению с сегодняшним уровнем.

В настоящее время на рынок выбрасывается много различных технологий, претендующих на высокую эффективность и низкие затраты, тогда как целью новой стратегии долгосрочных решений является использование самых дешевых материалов, с использованием преимуществ эффекта масштабирования.

Мощность энергетических ресурсов всего человечества оцениваются примерно в 20 ТВт. Мощность солнечной энергии, поставляемой на Землю, составляет примерно 105 ТВт. Энергия Солнца преобразуется в электрическую с использованием солнечных батарей.

Солнечные батареи

В настоящее время основой солнечных батарей являются неорганические полупроводниковые материалы, причем наибольшее значение имеет кристаллический и аморфный кремний. Кремниевые солнечные батареи известны уже более чем полвека. Эффективности преобразования света в кремниевых батареях достигают 20 %, а срок службы — более 25 лет. Стоимость самого кремния не высока, однако технология производства кремниевых солнечных батарей чрезвычайно сложна, что обуславливает их высокую стоимость.

Объем производства электроэнергии с использованием кремниевых батарей в последние годы стремительно растет. В США и Европе 1 кВт/ч энергии, полученной от солнечных батарей, стоит около 30 центов, что в 2–5 раз больше, чем тарифная ставка за 1 кВт/ч, поставляемой ▶



Ветер — довольно дорогой источник энергии, но это не останавливает развитие ветряной энергетики



Гибкость — важнейшее преимущество органических солнечных батарей

жителям от обычных источников (ТЭС или АЭС). Самые оптимистичные прогнозы позволяют рассчитывать на то, что цена получаемой от «неорганических» солнечных батарей энергии снизится до 10 центов за 1 кВт/ч лишь в 2014 году. Сегодня использование кремниевых солнечных батарей обходится лишь в тех случаях, когда потребитель удален от других источников энергии. Учитывая, что энергия становится стратегическим ресурсом, многие страны вкладывают капитал в создание собственных больших парков солнечных батарей. К ним, в первую очередь, относятся Япония, Германия и США, занимающие, соответственно, 1-е и 3-е места по степени использования альтернативных источников энергии.

За последние 30 лет эффективность различных типов солнечных батарей выросла. Рекордное значение для эффективности многокомпонентных арсенид-гелиевых фотовольтаических устройств достигает 35% (разработка ФТИ им. Иоффе). Несмотря на их высокую стоимость, один из путей реального использования таких батарей связан с разработкой концентраторов солнечной энергии (CPS-системы). Коэффициент концентрации энергии достигает 10^4 . Совместное использование систем с высокоэффективными арсенид-гелиевыми батареями, по оценкам экспертов, может существенно снизить стоимость электроэнергии.

Инновации в солнечной энергетике

Другой альтернативный путь — разработка органических и гибридных солнечных батарей. Среди гибридных батарей наилучшее соотношение «цена—эффективность» достигнуто в ячейках Гретцеля (сенситизированные красителем наночастицы оксида титана). Их эффективность в настоящее время составляет 9%.

Существенный прогресс за последние годы достигнут в области органической фотовольтаики, использующей новые электропроводящие полимерные матери-

алы и производные фуллеренов. Согласно расчетам, стоимость 1 кВт/ч электроэнергии, производимой органическими батареями, должна составить 1–2 цента. Низкая стоимость органических батарей связана с простой технологией изготовления и малыми затратами на их производство. Органические полупроводники растворимы в органических растворителях, что позволяет делать из них жидкие «чернила» и наносить методом печати на гибкие полимерные подложки. Эта технология уже разработана и используется многими западными компаниями.

Гибкость — другое важное преимущество органических солнечных батарей. Вся классическая электроника основана на использовании жестких, и в то же время хрупких структур, что определяется физическими свойствами неорганических материалов. Органические полупроводники позволяют получить гибкие и пластичные пленки, что является важнейшим преимуществом этого класса материалов. Такие батареи можно интегрировать в одежду, облицовочные покрытия, упаковку продуктов и т. д. Их можно скатывать в компактные рулоны, легко транспортировать, а при необходимости разворачивать и использовать в качестве компактных источников энергии, например, для подзарядки аккумуляторов в мобильных устройствах.

Органическая фотовольтаика перспективна. В научной литературе сообщается об эффективностях преобразования света до 6,5% в тандемных органических солнечных батареях. Органические солнечные батареи с эффективностью преобразования света 5,1% уже сертифицированы в независимом центре стандартизации фотовольтаических элементов. Программу коммерциализации органических солнечных батарей разрабатывают такие компании-гиганты как Siemens, Sharp, а также специализированные корпорации, например Konarka Technologies. Но в настоящее время все еще идет фаза интенсивных исследований.

Область нано

Перспективно исследование органических и полимерных батарей на основе наноматериалов и нанотехнологий, которые используют наноструктуры для инжиниринга аппаратуры с запрещенной энергетической зоной, так называемой band-gap engineering. В ней оптические свойства настраиваются с помощью контроля за размером квантовых точек, полученных химическим синтезом. Точки с переменными размерами имеют спектры поглощения в области от ИК до УФ, что обеспечивает использование большей части доступного солнечного спектра. В органических и полимерных солнечных батареях, которые также называют экситонными солнечными батареями, солнечный свет и электрон создают электронную вакансию, которая мигрирует к границе между различными материалами

и затем к противоположно заряженным электродам. Добавление металлических наночастиц увеличивает эффективность поглощения света и количество генерированных зарядов.

И хотя конверсия солнечной энергии сталкивается с проблемами стоимости и масштабирования технологий, которые требуются для энергетической системы с полным циклом, новые разработки в нанотехнологии, биотехнологии и материаловедении могут обеспечить ступенчатые подходы к улучшению рентабельности использования солнечной энергии.

В таком контексте наибольший интерес представляет более глубокое понимание механизма процессов возбуждения и переноса электронов, вовлеченных в получение солнечной энергии. В то же время появляется междисциплинарный подход, целью которого является конструирование высокоэффективных каталитических систем, подобных естественным метаболическим системам, созданным природой для выживания и репродукции организмов. Соответствующие исследования каталитических систем уже выполняются для производства различных топлив, таких как водород, метан и спирты, что открывает интересные перспективы посленефтяной экономики.

Ядерная энергетика

Наконец, если говорить о ядерном делении, нынешний интерес к повышению существующего или уменьшающегося производства определяется, в основном, изменением климата и тревогой, что другие неуглеродные варианты не смогут адекватно удовлетворить спрос на электроэнергию. В рамках международного сотрудничества, поддерживаемого Generation IV International Forum (GIF), ведутся активные исследования и разработки по внесению существенных изменений в имеющиеся реакторы. Однако в настоящее время так и не был построен ни один из предложенных реакторов четвертого поколения, хотя многие страны приняли политику, направленную на усиление программы GIF.

Выбор есть, нужно только провести анализ имеющихся предложений, разработать план реализации новых процессов и технологий, определить сроки их реализации, а также создать необходимую структуру, включающую разработчиков — ученых РАН, создателей оборудования для проектирования и строительства соответствующих объектов, определить источники финансирования. Решение указанных проблем возможно только на основе государственно-частного партнерства, включающего правительство Москвы и Российскойскую академию наук.

При этом, несомненно, потребуется совершенствование законодательства, особенно в вопросах экологии и энергосбережения. ■