

# ВОДОРОД КАК ИНВЕСТИЦИЯ

Водород как химический элемент был открыт британским ученым Генри Кавендишем в 1766 г., а процесс его выделения из воды изобретен спустя 44 года. Уже к середине XIX в. были созданы первые водородные топливные элементы, получающие электроэнергию, минуя процесс горения. В начале XX в. появились опытные установки паровой конверсии метана, позволяющие выделять этот элемент из легких углеводородов, которые вскоре стали широко использоваться в нефтехимической промышленности. Как об энергоресурсе о нем заговорили лишь в начале нынешнего века. Так век от века «водородный тренд» набирал силу. Сегодня водородные технологии позиционируются в качестве экологически безопасного углеродно-нейтрального источника энергии. Хотя водород – не первичный энергоноситель и для его получения нужно затратить энергию, тем не менее многие эксперты убеждены, что за водородной экономикой – будущее. Так ли это на самом деле, мы поинтересовались у директора Института тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси академика Олега Пенязькова.



– Мы живем во время трансформации мировой энергетической системы, когда приоритет заметно смещается от ископаемых энергоносителей к ветро-солнечной и ядерной энергетике. Движение в этом направлении обосновано стремлением к стабилизации климата, улучшению качества жизни человека. Теоретически все электроснабжение в мире можно было бы обеспечить исключительно за счет энергии ветра, солнца. И со стороны может показаться, что это идеальные источники, тем не менее есть некоторая степень лукавства в заявлениях о якобы

нулевой стоимости такой электроэнергии и углеродной нейтральности. Ведь строительство и солнечных фотоэлектрических и генерирующих установок, и наземных ветроэлектростанций, а также их обслуживание стоят денег, в то время как производители в лучшем случае нацелены на сокращение выбросов углекислого газа. И даже если, к примеру, экономические выгоды от возобновляемых источников энергии превышают статьи расходов на их выпуск, остается открытой проблема устойчивости выработки такой энергии в силу сезонности и неравномерности погодных условий. Есть регионы, где много ветра и солнца, и там производятся излишки энергии, но есть и другие, где их недостаточно. Поэтому на повестке дня стоит вопрос ее накопления, транспортировки, хранения, развития технологий аккумулирования.

– *Говоря о неравномерности получения электроэнергии из возобновляемых источников, многие специалисты рассматривают водород как один из вариантов выравнивания ситуации путем накопления энергии, поскольку и он, и его производные могут храниться в герметичных резервуарах, так называемых соляных кавернах, неограниченно долго.*

– Вопрос в том, сколько будет стоить связывание такой энергии, какова ее энергетическая рентабельность. А она заведомо меньше, чем от прямого использования энергоносителей, будь то газ или генерация из возобновляемых источников. При существующих технологических возможностях для получения кубического метра водорода при нормальных условиях, то есть при комнатной температуре и постоянном давлении, даже на лучших электролизерах, имеющихся в мире, необходимо затратить примерно 4,4 кВт\*ч электрической энергии, в то время как при полном окислении этого водорода со 100% КПД можно получить лишь 3,63 кВт\*ч. Но поскольку, как говорят, добывается «бесплатное электричество», то на данные показатели можно было бы не обращать внимания, хотя все не совсем так, ведь при этом работает оборудование, люди и т.д. Не стоит забывать и о том, что сам процесс связывания ведет к потерям энергии. И если вы хотите использовать водород в качестве топлива на автомобиле, то должны закачать его в бак под большим давлением, потом во время эксплуатации распустить его до нормального давления. Все эти операции снижают энергоемкость топлива. Так что если суммировать потери,

то эффективность данного метода окажется не так привлекательна по сравнению со стандартным и, пожалуй, одним из самых чистых топлив – метаном, в кубометре которого содержится в 2,63 раза больше энергии, чем в кубометре водорода.

Есть еще один момент, который сдерживает применение водородных технологий: для того, чтобы получить приемлемую плотность энергии на объем, при хранении и транспортировке водород необходимо либо сжимать до очень высоких давлений – до 800 атм, либо сжижать при температуре  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Эти процессы весьма энергозатратны и требуют серьезных инфраструктурных вложений и технического обслуживания. Таким образом, хотим мы этого или нет, но по объемному энергосодержанию, а также технологическим режимам хранения и транспортировки, а следовательно, стоимости эксплуатации водород пока проигрывает обычным видам топлива. Остается только надеяться, что будет найден существенно менее энергозатратный способ его электролиза, тогда такое преобразование будет иметь экономический смысл. Однако пока при существующем уровне технологического предпосылки для этого нет. Так что водородная энергетика – скорее бизнес-проект. И если в развитых странах создана система грантового финансирования, позволяющая ученым проводить исследования с водородом фундаментального, прикладного и промышленного характера, то в Беларуси такие возможности просто отсутствуют. Мы больше руководствуемся интересами потребителя и тем технологическим уровнем, который существует и экономически оправдан на сегодняшний день. Полностью игнорировать водородную тематику не стоит, надо осознанно двигаться в этом направлении, совершенствовать базовые технологии получения и использования водорода для того, чтобы быть готовым к возможным резким изменениям технологических укладов в этой области.

– *А как вы оцениваете перспективы топливных водородных элементов?*

– Есть ожидания, что у электрохимических генераторов большой потенциал, их эффективность может достигать чуть ли не 75%, они достаточно надежны, бесшумны и не выделяют вредных веществ. Безусловно, водородные топливные элементы не нуждаются в подзарядке и могут работать практически сразу после подачи топлива, но они, как и любые другие электрохимические устройства, имеют ограниченный

эксплуатационный ресурс и свои слабые места. Во-первых, водород для низкотемпературных топливных элементов, которые используются для транспортных приложений, должен быть чистым, во-вторых – реальный КПД низкотемпературных водородных элементов не превышает 40–50%. То есть вся цепочка преобразований энергии, будь то колесо или генерирующая станция, как минимум, в 5 раз менее энергетически эффективна, чем при использовании природного газа. Низкотемпературные топливные водородные элементы достаточно дорогие в силу высокой стоимости материалов, используемых для производства катализаторов. Что касается безуглеродности, то тут тоже есть вопросы, что считать точкой отсчета и, соответственно, как оценивать углеродный след на разных этапах его производства.

Собственно процесс генерации водорода также требует определенных затрат энергии. Следует, однако, понимать, что пока водородные топливные элементы – технология, которая находится на стадии формирования. Завязанный на ней парк пассажирского и городского транспорта в мире не так велик, как и количество небольших водородных энергоустановок, у которых, кстати сказать, практически нет ограничений для их размещения непосредственно у потребителей. Потому, на мой взгляд, они более перспективны для удаленных от городов промышленных объектов, труднодоступных и изолированных территорий.

*– То есть, несмотря на весь пиар и маркетинговый шум вокруг этой тематики, сам по себе водород можно рассматривать экономически привлекательным энергоносителем для использования в транспортной энергетике и малых стационарных энергетических установках?*

– Поскольку, в отличие от нефти и газа, водород можно изготавливать везде, где есть электричество и вода, он может прекрасно использоваться для удаленных источников генерации электроэнергии и тепла. Но опять же, температура продуктов сгорания метана и водорода не сильно отличается. А сжигание 1 кубометра метана даст значительно больше энергии. К тому же на каждом этапе получения водорода и его последующего использования есть потери энергоэффективности, поэтому прежде чем вкладывать средства, необходимо оценивать весь производственный цикл, от источника энергии и производства водорода до конечного потребителя.

*– Тем не менее только за последние 5 лет более 30 стран разработали или начали готовить национальные стратегии в отношении водорода. По прогнозам Международного энергетического агентства и Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, к 2050 г. за счет водорода будет удовлетворяться 12–13% спроса на энергию. Мы то и дело узнаем о новых инициативах – к примеру, о полном отказе Евросоюза в ближайшие 25 лет от углерода в экономике. Все чаще высказывается мнение, что будущее за «зеленым» водородом и что именно он в корне изменит привычную экосистему энергетики.*

– В нашей стране в 2003 г. тоже была сформирована программа «Водородная энергетика». Когда мы готовили ее концепцию, то опирались на европейскую и американскую аналитику, прогнозирующую к 2023 г. переход 25–30% автомобильного транспорта Евросоюза на водородное топливо. Вот сейчас прошло уже 20 лет – оказалось, что реальность совсем иная. Да, некоторые автогиганты наладили выпуск таких машин, среди них Mazda, Hyundai, Toyota, BMW, но они не стали массовыми и даже крупносерийными, потому что экономика не в их пользу. Подсчитано, что автомобиль на водороде при пробеге в 100 км обходится пользователю на 50% дороже, чем авто с двигателем внутреннего сгорания, и на 30%, чем электромобиль. Так что можно, конечно, перейти на альтернативные виды топлива, но предварительно оценив, какие вложения потребуются в инфраструктуру и как все это будет сочетаться с нашими технологическими и экономическими возможностями. Что это даст на выходе? Пока только многократное удорожание и нерентабельность всего, что мы делаем. В этих делах надо быть очень аккуратным.

*– Хочется в этой связи поговорить о судьбе одного из глобальных проектов Советского Союза – о первом в мире самолете на водородном топливе ТУ-155, модифицированной версии хорошо известного лайнера ТУ-154. Его первый полет состоялся 35 лет назад. Почему за этим экспериментом не последовало начало новой эры в авиации?*

– Это была своего рода исследовательская лаборатория, которая показала, что полеты на водороде возможны и что они могут быть успешны.

Но давайте представим, что на борту авиалайнера – криогенный бак емкостью в 17,5 м<sup>3</sup> жидкого водорода, который за счет теплообменника преобразуется в газообразное состояние и дает очень много тепла, примерно в 3 раза больше, чем при сгорании керосина. На первый взгляд, преимущества очевидны: расход водорода ниже, чем того же керосина, коэффициент полезного действия выше, к тому же выделяется безвредный для человека газ – пары воды. Но поскольку энергетическая плотность газообразного водорода при нормальных условиях очень низкая, его нужно закачивать в сжиженном виде в большие и тяжелые баки, способные выдерживать высокое давление, и их необходимо размещать в самолете. Сделать это можно либо за счет уменьшения количества посадочных мест, либо увеличения взлетной массы летательного аппарата. Однако он предназначен для перевозки пассажиров или грузов на большие расстояния, и ему нужны не тонны, а десятки тонн топлива, поэтому один из самых непростых вопросов – где его разместить. К тому же для обслуживания самолетов нужна особая инфраструктура: специальные заправщики, емкости для хранения, оборудование отдельных терминалов и т.д. Выходит, что преимущества самолетов на водородном топливе пока не так ощутимы, хотя проекты, начатые в Советском Союзе, есть, и даже выпущены небольшие экспериментальные транспортные средства, работающие на водороде.

Не стану утверждать, что тема криогенных топлив неперспективна. Страны ведут борьбу за лидерство в этой сфере, и я полагаю, объем финансирования водородной энергетики будет расти год от года. Это объяснимо: государства стратегически заинтересованы в том, чтобы в таких критически важных областях не заимствовать чужие технологии, а создавать свои. И потом, если кому-то удастся решить проблему перехода на неисчерпаемые источники энергии, возможно, тогда водород и получит доминирующее положение в мире.

*– То есть можно предположить, что в отношении водородной экономики больше преобладает политика, чем прагматизм, за которой стоит стремление стран получить технологическое превосходство?*

– Мне представляется, что в этом вопросе больше информационного популизма и борьбы за капиталы. Обыватель принимает на веру, что новые технологии не столь агрессивны по отно-

шению к окружающей среде, но при этом все забывают о более серьезной проблеме, стоящей перед человечеством, – проблеме с пресной водой. Это касается, к примеру, идеи получения водорода из воды – она нереальна. Миллионы людей в мире не имеют доступа к безопасной питьевой воде, и примерно половина населения земного шара испытывает ее острую нехватку в разное время года. Кстати, когда говорят о глобальном потеплении, забывают, что вода тоже находится в центре климатического кризиса, потому что климат оказывает существенное воздействие на мировые водные ресурсы. Поэтому, я полагаю, надо поддерживать необходимый уровень исследований по водородной тематике в виде пилотных проектов и следить за экономически оправданными технологическими изменениями, которые происходят в настоящий момент, для того чтобы не получить критическое отставание.

*– Олег Глебович, ведутся ли учеными Института тепло- и массообмена такие работы?*

– Нами выполняется несколько пилотных проектов с водородом. В качестве носителя водорода мы используем аммиак, более стабильный и потому безопасный продукт для переработки. В литре аммиака содержится в 1,5 раза больше водорода, чем в криогенном водороде. Он является прекрасным топливом, которое хранится и перевозится при низком давлении. Его намного легче транспортировать, по сравнению с водородом, и на сегодня он более экономичен. Интерес к нему обусловлен еще и тем, что в Беларуси работает крупнейший производитель товарных объемов аммиака – предприятие «Гродно Азот», и, соответственно, есть вся необходимая инфраструктура как для транспортировки, так и для хранения. Так что в наших условиях это самое перспективное водородосодержащее сырье. Для каталитического крекинга аммиака необходимы специальные установки. Поэтому мы и работаем над созданием источника стационарной генерации водорода из аммиака. Мы разлагаем его на водород и азот и дальше направляем на щелочной топливный элемент, благодаря которому получаем 5–10 кВт электричества. Это наш совместный проект с израильской компанией GenCell, которая отвечает за разработку щелочного топливного элемента для производства электричества, а мы за каталитический крекинг. Сейчас установка готовится к запуску



для эксплуатации в режиме постоянной работы, чтобы выявить сильные и слабые стороны технологии при долгосрочном использовании, оценить ее возможности в условиях реального потребителя и отработать технологический процесс.

Интерес к аммиаку продиктован в том числе тем, что по всему миру существует обширная инфраструктура по получению этого продукта, на которой производятся миллионы метрических тонн, действуют аммиачные терминалы и трубопроводы. Если предположить, что аммиак будут производить в третьих странах и, к примеру, в Европе с помощью каталитического крекинга (будет распускаться на азот и водород, чтобы потом использовать последний, например, в топливных элементах для получения электроэнергии), то есть вероятность, что наша установка может стать весьма востребованной. Отдельный проект, которым занимаются ученые института, – горение аммиака с различными топливными смесями. Параллельно мы занимаемся созданием источников для генерации особо чистого водорода и получаем порядка 3 м<sup>3</sup> при гидролизе гидридов щелочных металлов.

*– Стоит ли, по вашему мнению, сегодня нашей стране вкладывать значительные средства в водородную энергетику?*

– На мой взгляд, наибольшую эффективность от капиталовложений в новую энергетику можно получить только в том случае, если та или иная технология в этой сфере вышла на плато. Когда КПД солнечных панелей достиг 10–12%, стали звучать призывы переходить на солнечную энергию, но прошло время, и сегодня этот показатель приблизился к 25%, и он относительно стабильный, а значит, появился смысл инвестировать в солнечную энергетику. Но стоит ли надеяться на чудо, что производительность солнечных панелей вырастет значительно? Исключить такой сценарий нельзя, но и игнорировать принципиальные фундаментальные термодинамические ограничения, которые характерны для них, не получится. Поэтому нам надо внимательно отслеживать новации в этой сфере и быть готовыми в нужный момент инвестировать в инфраструктуру для того, чтобы поддерживать необходимый уровень развития. Думаю, что такая же история с водородом. Водородная энергетика – сложный комплекс, включающий в себя технологии производства, использования, хранения и распределения водорода, многое еще не отработано

и потому требует дальнейших исследований, которые, в свою очередь, нуждаются в финансировании.

Эффективным пилотным проектом может стать только тот, который окупится втрое. Понимание того, зачем это надо, есть ли возможность поддерживать разработку на высоком уровне, для науки не менее важно, чем для любого другого вида деятельности.

*– С водородом, несмотря, как вы говорите, на существующие нерешенные вопросы, все выглядит убедительно и перспективно для человечества. Но ведь при производстве любых энергетических установок, водородных или электрических топливных элементов, тех же аккумуляторов, оказывается сильное воздействие на окружающую среду. Мало того, что их надо из чего-то производить, так они и не вечны, то есть возникают проблемы с утилизацией, переработкой. Как их решать?*

– Если говорить в целом, то при энергетическом переходе на те же возобновляемые источники энергии или водород материалоемкость энергосистемы меняется. Всякий раз требуется увеличивать количество добычи полезных ископаемых, производство металлов, пластика и др. И вся эта нагрузка «падает» на природу. Сегодня нет экологически чистых технологий утилизации выработавших свой ресурс кислотно-щелочных, литий-ионных аккумуляторов, как нет и технологий утилизации солнечных панелей, электролизеров, топливных элементов. И конечно, это серьезная нагрузка на экосистему. Технически переработка тех же литий-ионных аккумуляторов возможна, и даже существуют предприятия, которые пытаются это реализовать. Но пока идет поиск наилучшего решения этой проблемы, страны стремятся организовать сбор и хранение отработанных источников, с тем, чтобы в перспективе либо дать им вторую жизнь, либо путем извлечения ценных металлов – кобальта, марганца, никеля и лития – запустить их в производство новых устройств. Но все равно это энергозатратный процесс. Ничего вечного не бывает, даже солнце может перестать светить. Выходом может быть освоение термоядерного синтеза, который позволит человечеству иметь «вечную розетку» с неограниченным количеством энергии, но, вероятнее всего, появятся другие проблемы, связанные уже с ее переизбытком. ■

Жанна КОМАРОВА