



С. ЕХАНА ШАБАНОВА, ИТМО

ВОДОРОДНЫЙ РАЗВОРОТ

Первыми в Институте проблем химической физики РАН в подмосковной Черноголовке нас приветствовали грациозные олени. Животные свободно пасутся на огромной территории и совершенно не боятся людей, устраиваясь отдыхать на газоне между корпусами.

Ш опадается здесь и нечто куда более экзотическое: беспилотная платформа, самолет на водородном топливе и единственная в России заправка для автомобилей с топливными элементами. Все они созданы большой командой, объединившейся вокруг Центра компетенций НТИ и его руководителя Юрия Добровольского. Юрий рассказал нам о том, как устроена водородная энергетика и чем «водоробус» лучше привычного электробуса. Мы находимся в корпусе, где источниками энергии для транспорта занимаются уже больше 50 лет. Долгое время почти все эти работы были «заточены» под космос. Однако в 1990-х стало ясно, что одной фундаментальной науки маловато. По счастью, лаборатория тогда была небольшая и с хорошо налаженными производственными связями.

Первые беспилотные автобусы на водороде уже отправились из Черноголовки к покупателям.

Это позволило продержаться на простых, но наукоемких проектах: например, мы создали космические датчики водорода, которые я до сих пор считаю одной из лучших наших разработок. Но вообще нам повезло.

Советская наука и техника полагались на отраслевые институты, которые совместно с Академией наук доводили конкретные технологии до производства. И если Академия как-то держится до сих пор, то среднее отраслевое звено разрушилось почти полностью. В какой-то момент велись даже дискуссии о том, нужна ли России своя наука, если можно приобрести готовую технологию — это гораздо дешевле. Последствия такого подхода, в том числе в «оборонке» и космической сфере, ощущаются до сих пор. Кое-где мы отстали от развитых стран навсегда.

ПРЕДСКАЗАНИЕ БУДУЩЕГО Когда в 2015 году была запущена «Платформа Национальной технологической инициативы», ее идеология полностью совпала с моими собственными взглядами. Есть направления, по которым Россия в обозримой перспективе уже не догонит мировых лидеров. Сколько денег ни вливай, обойти BMW в области автомобилестроения вряд ли удастся. Но есть рынки, которые

возникают прямо сейчас. Там даже Запад еще не слишком разогнался. Мы вполне можем их прогнозировать и конкурировать в этих сферах с другими странами. Тогда же, в 2015-м, «Платформа НТИ» провела серию форсайтов, на которых мы пытались определить перспективные рынки и разработать дорожные карты их развития. Собирались большие команды экспертов из разных областей и играли в предсказание будущего. Мы, например, предположили, что в конце 2020 — начале 2021 года водородные технологии начнут выходить на передний план. Сегодня, когда они действительно оказались в центре внимания, это кажется почти пророчеством. Однако у такого прогноза была простая логика. В 2015-м уже проступали будущие контуры глобальной климатической повестки. Было очевидно: когда дело дойдет до детального анализа, выяснится, что одними солнцем и ветром не обойтись. Отказ от углеводородного топлива оставит массу дыр, которые понадобится чем-то заткнуть. Электричество и аккумуляторы подходят далеко не во всех случаях, но многие из участков смогут закрыть водородные технологии. Тем более что они развиваются уже не один десяток лет.

РАЗНОЦВЕТНЫЙ ВОДОРОД Все, что связано с водородом, сейчас почему-то повсеместно считается глубоко инновационным и уникальным. На самом деле это давно уже крупномасштабное производство. Синтез азотных удобрений, нефтегазовая химия, стекольная, полупроводниковая, кондитерская промышленность — все это требует больших объемов водорода. Только в России его выпускают около 5 млн т в год. Мы умеем производить, хранить и использовать водород и без всякой альтернативной энергетики. Самый простой способ — парогазовая конверсия: метан смешивают с водой, нагревают в присутствии катализатора и отделяют побочный продукт — CO₂. Из-за того что в атмосферу при этом поступает парниковый газ, такой водород называют «серым». Большая часть производимого сегодня водорода «серая», хотя развиваются технологии улавливания и связывания углекислого газа, позволяющие получить более щадящий для климата «голубой» водород. Но и это лишь локальное решение. Рано или поздно газ придется производить более простым, безопасным, но и более затратным способом — электролизом воды.

! В результате такого процесса образуются только водород и кислород, а если использовать для этого еще и возобновляемые источники энергии (ВИЭ), то топливо получится практически «зеленым». Но это задача на дальнюю перспективу, на вторую половину века. Пока же нам остается «серый» и «голубой» водород: парогазовая конверсия проста, надежна и дешева, цена полученного таким путем водорода составляет порядка доллара за килограмм. Если бы на рынке он стоил хотя бы три доллара, то быстро вытеснил бы всех конкурентов: такой транспорт выгоднее даже дизеля. Но в реальности цена в разы выше. Это во многом связано с неустраняемой проблемой — хранением и транспортировкой водорода.

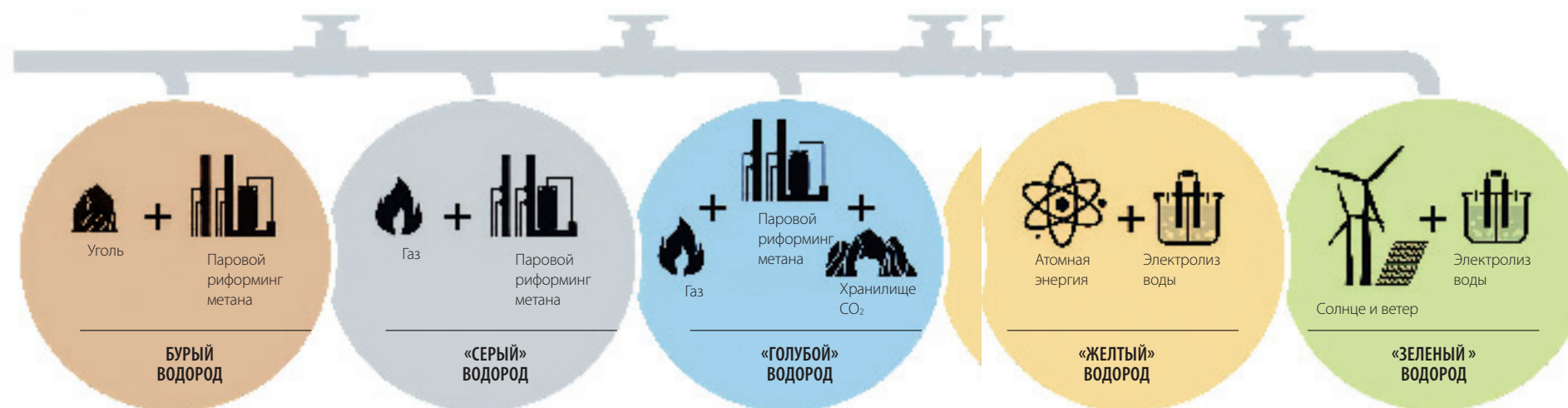
ПОД ДАВЛЕНИЕМ Любой газ для перевозки нужно либо сжать, либо превратить в жидкость. Но водород исключительно легкий и трудно поддается и тому и другому. На сжатие до стандартного давления в 350 или 700 атмосфер понадобится израсходовать около 15% энергии, которая запасается в самом водородном топливе. Еще затратнее его сжигать. Газ придется охладить на 60 градусов сильнее, чем метан, притом что орто-парапереход будет препятствовать снижению температуры.

Дело в том, что молекула H₂ может существовать в двух разных формах в зависимости от взаимной ориентации спинов входящих в нее атомов. При нормальных условиях водород состоит на 25% из орто- и на 75% из парамодификации. В жидкости их соотношение обратное. Превращая газ в жидкость, мы вызываем переход молекул из одной формы в другую, что сопровождается выделением тепла и заставляет тратить еще больше энергии на охлаждение. В итоге на весь процесс придется израсходовать около 25% запасенной энергии.

При этом плотность полученной жидкости будет на порядок ниже, чем у природного газа: в том же объеме поместится по массе в 10 раз меньше водорода, чем метана. При перевозке в сосудах в сжиженном виде на водород приходится лишь 20% массы брутто, а в сжатом — и того меньше. Фактически мы

КАКОЙ БЫВАЕТ ВОДОРОД

Пока что цена «зеленого» водорода остается неконкурентной и в несколько раз превышает стоимость «серого».



перевозим туда и обратно полупустые баллоны. Именно эта особенность определяет и поддерживает довольно высокие цены на водород.

Конечно, можно хранить его без существенного сжатия, например в сосудах низкого давления. Водород — газ легкий, с небольшой плотностью, и ему потребуются огромные емкости. В роли подходящего сосуда может выступить газопровод. Передавать водород по трубопроводу можно и в 20–30%-й смеси с природным газом: на месте получения их легко разделить. В этом случае на транспортировку потребуется лишь около 7% его собственной энергоемкости. Ни один другой способ не дает такой эффективности.

НЕВЗРЫВНОЙ ХАРАКТЕР Все новые трубопроводы, включая оба «Северных потока», и большинство старых прекрасно подойдут. Вообще, способность водорода проникать сквозь стенки сосудов сильно преувеличена. Конечно, его молекулы необычайно мелкие и юркие. Но существует достаточно материалов, которые водород не пропускают. На наше счастье, эти материалы дешевы и распространены: многие сплавы железа и алюминия великолепно держат газ. В обычном металлическом баллоне сжатый водород может храниться годами. А современные баллоны для водорода делают и вовсе из легкого и прочного углепластика, с тонким внутренним слоем металлической фольги. Вопреки распространенному мнению, такие емкости совершенно безопасны. Конечно, в килограмме водорода заключено больше энергии, чем в килограмме бензина. Однако существует нижний предел взрываемости — минимальная концентрация газа в воздухе, при которой он становится опасным. У водорода он выше, чем даже у природного газа (4% против 5% у метана). Кроме того, за счет физических свойств водород еще и легко «утекает». Если имеется хоть малейшая щель, создать взрывоопасную ситуацию окажется крайне трудно.

Некоторое время назад были проведены весьма наглядные эксперименты. В баллоне с водородом и в бензобаке проделывали отверстие и подводили искру, снимая все на



Электролизер производит из воды до 20 кг водорода в сутки, потребляя порядка нескольких киловатт — как большая электроплита. Затем водород подается на заправку.

камеру. Что было с бензином, понятно: три минуты — и в кадре раскаленные обгоревшие останки. Водородное пламя тоже было мощным — но узким, как у газовой горелки. Легкий газ вырывался на такой скорости, что огонь мог удерживаться только на этом локальном участке. Получался небольшой «автоген», но никак не взрыв.

НАШЕ МЕСТО В октябре 2020 года правительство России утвердило дорожную карту развития водородной энергетики. Однако до сих пор, в том числе и на высшем уровне, продолжаются споры о том, нужно ли развивать производство «голубого» и «зеленого» водорода. Кому и где он будет нужен? Страны Европы активно на него переориентируются, но их собственные ВИЭ достаточного количества газа не дадут. Запад открыто заявляет о готовности приобретать водород. К сожалению, у нас такие заявления воспринимаются как проявление «заговора»: дескать, мы потратимся, все построим, а никто потом ничего покупать не станет.

С такими взглядами мы рискуем потерять огромный и быстро растущий европейский рынок. Ведь где проще всего получать «зеленый» водород? Там, где много ВИЭ. На севере Африки, где полно солнца, можно установить мощные электролизеры и, протянув трубопроводы, транспортировать «зеленый» водород в Европу. Пока таких трубопроводов нет. Зато в России они имеются и работают — и все еще способны стать ключевым конкурентным преимуществом на рынке водорода. Кроме того, огромные объемы газа может забирать внутреннее потребление. Уже сегодня существует область, где водородное топливо полностью себя оправдывает, — транспорт.

Вряд ли личные автомобили на водороде получат большое распространение, во всяком случае в ближайшие десятилетия. Для городского цикла больших пробегов не надо, что позволяет в полной мере использовать высокий КПД аккумуляторов. Но вот дальний пассажирский и грузовой транспорт, машины городских служб, железнодорожные, морские и авиаперевозки — все они, скорее всего, станут водородными. Аккумуляторы для них чересчур тяжелы, и высокая энергоемкость водорода здесь выходит на первый план.

НА ТРАНСПОРТЕ Недостатком водорода можно назвать разве что довольно дорогие заправки. Но зато их нужно очень мало. Полная зарядка электробуса тре-

Юрий Добровольский, доктор химических наук, профессор Института проблем химической физики (ИПХФ) РАН, руководитель группы специальных материалов отдела функциональных материалов для химических источников энергии.

бует нескольких часов, а заполнить баллон водородом можно за три минуты. При этом запаса хватит не на один круг по маршруту, а на целый день работы. Определенную выгоду дает и низкий КПД топливного элемента — он составляет лишь 60% (против более чем 80% у аккумуляторов), а значит, 40% рассеивается в виде тепла. Топливный элемент при работе греется, что позволяет использовать его для отопления салона. Но мы уже знаем из опыта, что без реально работающих демонстраторов не обойтись. Бизнес крайне неохотно вкладывается в технологию на этапе абстрактных научных изысканий: это слишком рискованно. Поэтому у нас выполнен полный цикл работ, от проведения фундаментальных исследований до создания действующих опытных образцов. Недавно мы открыли водородную заправку второго поколения, которая сможет вырабатывать топливо с помощью собственного электролизера. Но еще интереснее вышло с беспилотной платформой. Никто еще не делал энергетическую часть автомобиля сборно-разборной, как конструктор, с гибким сопряжением компонентов, как у нас. Например, большой аккумулятор можно дополнить маленьким топливным элементом и баллончиком с водородом. Тогда водород будет в разы удлинять пробег и потребует заправки лишь изредка, при ежедневной зарядке батареи электричеством. Если же ни заправок, ни зарядных станций поблизости нет и нужен максимальный пробег, то можно установить большой топливный элемент и компактные аккумуляторы.

Все эти вещи легко смоделировать и рассчитать. Но как они будут работать на российских дорогах, под снегом, предсказать невозможно. Расчетные нагрузки всегда отличаются от реальных. Поэтому мы берем на себя и компетенции ныне не существующих отраслевых институтов, доводя все до стадии производственной готовности. Подхватить и развить процесс дальше — дело бизнеса.

Что касается водородной транспортной платформы, процесс уже пошел. Первые наши машины заработали на заводах и складских комплексах.



«УЖЕ СЕГОДНЯ СУЩЕСТВУЕТ ОБЛАСТЬ, ГДЕ ВОДОРОДНОЕ ТОПЛИВО ПОЛНОСТЬЮ СЕБЯ ОПРАВДЫВАЕТ, — ТРАНСПОРТ».