

Предисловие

Основная цель данного выпуска «Российского химического журнала» заключается в максимально объективном ознакомлении читателей, интересующихся реальным положением дел в глобальной проблеме, именуемой «водородной энергетикой», с конкретными задачами, которые решаются учеными мира сегодня, и задачами, которые еще предстоит решить в ближайшем и отдаленном будущем. Мы надеемся, что этот выпуск журнала будет полезен специалистам и аспирантам, химикам и материаловедам, специализирующимся в области нетрадиционных источников энергии. К числу последних можно смело отнести и такой энергоноситель, как водород.

Ныне широко известный термин «водородная энергетика» неспециалистами воспринимается весьма упрощенно, как замена на водород общепринятых энергоносителей: жидких моторных топлив, нефти, угля, природного газа, энергии атома и т.п. Представления широкой аудитории основаны на искажении сути проблемы некоторыми заинтересованными специалистами, которые «обосновывают» свои позиции страшилками об истощении энергетических запасов и такими красивыми словами и терминами как «экологический кризис», «парниковый эффект», «глобальное потепление», «альтернативные источники энергии», «экономическая целесообразность» и многими другими. Эти многочисленные авторы, выступая в периодической или научно-популярной печати, а иногда и в научных работах, в качестве главных аргументов необходимости скорейшего перехода цивилизации на «водородную энергетику» используют данные об уже заканчивающихся запасах углеводородного топлива, что, действительно, необходимо учитывать, и о безбрежных и неиссякаемых источниках водорода в Мировом океане, что также истинная правда. При этом полностью игнорируется тот факт, что водород на Земле отсутствует в чистом виде и не образует собственных месторождений. В отличие от угля, нефти, газа и ситуации на Юпитере, он является всего лишь *переносчиком энергии* от Солнца и вторичных источников (нефти, газа, угля, ветра и воды) к потребителю.

Отсюда следует, что для реализации очень красивой и заманчивой идеи под названием «водородная энергетика» водород, прежде всего, следует получить, т.е. затратить энергию. Причем получить его экономически оправданным методом, чтобы стоимость энергетического эквивалента этого энергоносителя была соизмерима со стоимостью традиционных энергоносителей и того энергоносителя, что использовали для производства водорода. Существующий в некоторых издательствах неумно-гуманитарный «задор» журналистов, которые хотят убедить аудиторию в том, что в результате применения водорода будет получено энергии больше, чем при его получении, очевидно, вызван пробелами в школьном образовании.

Первая и главная задача «водородной энергетикой» определяется как замена углеводородного сырья, но основная проблема состоит в том, что на сегодняшний день мир не знает технологии, удовлетворяющей всем требованиям этой глобальной задачи. Все известные сегодня способы получения водорода далеки от совершенства. Во-первых, они энергозатратны, во-вторых, получение водорода часто сопровождается

выделением огромного количества диоксида углерода и других токсичных веществ, что особенно заметно при использовании угля. И если сегодня вклад CO_2 в увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере еще относительно невелик и вызывает только беспокойство, то переход на водородное топливо, которое будет получаться, например, риформингом метана, приведет к увеличению выбросов этого газа в десятки и сотни раз. При этом стоимость каждой калории, извлеченной из водорода, будет в 3—4 раза выше, чем выделенной при сгорании бензина, а при получении водорода методом электролиза уже в 6—9 раз выше. В этой ситуации говорить об экологической чистоте водорода можно лишь при отсутствии системного мышления.

Среди различных путей решения этой сложнейшей задачи только четыре кажутся обнадеживающими, но все они пока достаточно фантастичны. Первый путь — использование термоядерной энергии, которую еще нужно получить в промышленных масштабах и доказать обществу безопасность ее производства и применения. Хотелось бы сообщить о самом грандиозном и многообещающем в этом отношении международном проекте, связанном с термоядерным синтезом, в реализацию которого заложен первый камень в виде протокола, подписанного в ноябре 2006 года, о создании во Франции демонстрационного реактора типа «ТОКАМАК».

Достижения микробиологии и биотехнологии показывают принципиальную возможность разработки эффективных водород генерирующих штаммов микроорганизмов, но, к сожалению, последние также пока остаются в разделе *terra incognita* и никто не поручится, что этот штамм будет выведен и использован по назначению в обозримом будущем.

Третий путь — производство «чистой» электроэнергии на полупроводниковых фотоэлементах от первичного источника энергии — Солнца, которая затем может использоваться для электролиза воды или запасаться в аккумуляторах из высокотемпературных сверхпроводников. К сожалению, фотоэлементы пока дороги, а квантовый выход энергии и ресурс их работы невысоки.

И наконец, разработка материалов, расщепляющих воду при действии солнечного света. В частности, в литературе сообщается о нанотрубках из диоксида титана для получения водорода фотокаталитическим разложением воды. Несмотря на неясные перспективы, работы в области получения водорода ведутся практически по всем направлениям, даже таким «древним», как растворение металлов в кислотах, щелочах и воде.

Транспортировка и хранение водорода — вторая, не менее трудная задача, требующая решения в рамках проблемы «водородной энергетикой». Переработка сотен и даже тысяч килограммов водорода, особенно при стационарном потреблении, может обходиться и имеющимися технологиями, т.е. стандартными газовыми баллонами или криогенными сосудами. Но переход экономики на новый вид энергоносителя с ежегодными потребностями в несколько десятков миллионов тонн водорода требует разработки и создания принципиально новых технологий его доставки и хранения. Особенно сложна задача использования водорода для питания разнообразных мобильных энергетических устройств — от зарядных устройств сотовых телефонов и портатив-

ных компьютеров с мощностями в несколько десятков милливольт, до транспортных энергоустановок, прежде всего автомобильных, мощностью в несколько десятков киловатт и выше. По крайней мере, сейчас трудно себе представить газопровод с жидким водородом не только на тысячи километров, но даже на сотни метров. Тем не менее, задача в рамках использования криотехнологий сегодня вполне решаемая, мобильные блоки для заправки автотранспорта жидким водородом уже существуют. К сожалению, все это — демонстрационные образцы, задача которых убедить обывателей и правительства, что водород мало чем отличается от других энергоносителей, например, метана, и в проблему можно и нужно вкладывать деньги.

Но необходимо реально сознавать, что только одной убежденности мало. Задача существенно сложнее и дороже, чем кажется на первый взгляд, поскольку все известные способы хранения и транспортировки водорода, каждый из которых обладает неким несомненным преимуществом, *не удовлетворяют* одновременно всем технологическим требованиям. Чисто голевская ситуация: «...если бы губы Никанора Ивановича, да приставить к носу Ивана Кузьмича, и взять скольконибудь от развязности, какая у Балтазара Балтазаровича...» Но ни Агафье Тихоновне, ни нам не удастся приблизиться к идеалу.

В нашем случае этот «идеал» заключен в требованиях Департамента энергетики США: «...*Материал должен содержать не менее 5,5 масс. % водорода при комнатной температуре, процесс «сорбции-десорбции» водорода быть обратимым при температурах не выше 120 °С, система должна быть безопасной и сохранять рабочее состояние в течение 5000 разряд-зарядных циклов.*» И хотя нет сомнений, что эти требования еще будут изменяться в процессе отработки того или иного решения, но следует ясно осознавать, что сегодня мы не имеем ни одного решения, даже близко отвечающего этим требованиям.

Сорбенты, поглощение водорода которыми основано на физической адсорбции, не способны, в силу природы явления, приблизиться к этим требованиям, поскольку для них относительно высокое содержание адсорбата достижимо только при низких температурах. Напротив, для ковалентных или ионных гидридов при высоком массовом содержании водорода требуются очень высокие температуры для его выделения и связывания. Это не только усложняет технические решения при реализации задачи, но и резко повышает опасность использования системы в целом. Отсюда следует, что приемлемый вариант решения лежит где-то посередине между материалами с физической сорбцией и гидридами с ковалентной связью, хемосорбирующими водород. Какова будет природа этого материала и возможно ли его существование, покажет будущее. Весьма перспективными на сегодняшний день представляются координационные каркасные соединения и композитные материалы на основе ковалентных гидридов легких металлов. Не исключено, что исследования этих веществ через некоторое время обнаружат их малоперспективность, как было с углеродными сорбентами или аланами.

И, наконец, третья актуальная задача, которая еще совсем недавно казалась решенной — *создание топливного элемента* (далее ТЭ). Даже поверхностное

знакомство с устройством и работой «простейшего» среднетемпературного топливного элемента, убеждает объективного читателя в существовании ряда проблем с ТЭ. Принцип работы ТЭ прозрачен для понимания и известен уже более 160 лет (первооткрыватель William Robert Grove, 1843 г.). В конструкциях современных ТЭ, какими их хотят видеть заказчики, прячутся серьезные проблемы. При создании демонстрационного образца ТЭ, который будет использоваться в игрушечном электрическом автомобиле, очевидно, серьезных проблем нет. Но при разработке модели, способной выдержать ресурсные испытания в рабочих режимах в течение 1000 часов, проявляются вопросы настолько принципиального характера, что ответы на них ищет весь мир в течение десятилетий и пока не находит. Так, до настоящего времени не сделан выбор дешевого и легко утилизируемого материала для биполярных пластин, удовлетворяющего при массовом производстве требованиям химической стойкости, высокой электро- и теплопроводности, прочности и т.д. Каким образом должен быть нанесен на поверхность пластины платиновый или другой катализатор, чтобы он не «смывался» в процессе эксплуатации и оставался активным весь гарантийный срок работы? Из какого материала должна быть сделана протонпроводящая мембрана (сейчас это фактически только Nafion), которая должна быть устойчива в условиях, когда в системе в некотором количестве образуется перекись водорода, а не только вода, как нас убеждают? Апологеты идеи как-то забывают, что окисление водорода кислородом в присутствии платины, нанесенной на уголь, — самая современная технология получения перекиси водорода. В ТЭ все эти компоненты присутствуют и этот побочный процесс, несомненно, имеет место. Вопросы есть, но адекватных ответов нет. Таким образом, топливный элемент это уже не просто задача, это проблема для специалистов в самых различных областях науки и, прежде всего, проблема материаловедов. И хотя ее решение и разработка демонстрационного образца ТЭ дело не самого ближайшего будущего, но благополучное решение этого вопроса представляется более вероятным, чем удовлетворительное решение предыдущих задач. Оптимизм подкрепляется объемами финансирования, которые выделяются в мире на решение задачи создания работоспособного ТЭ и уже приближаются к нескольким миллиардам долларов.

Составители сборника хотели максимально обозначить круг технических и технологических задач, возникающих при использовании водорода. Однако это оказалось весьма затруднительным из-за малой совместимости тем, объектов и решаемых задач. Но все же мы включили в список статей две работы, одна из которых демонстрирует реальное использование водорода в виде гидридов в промышленно производимых химических источниках тока (аккумуляторах), т.е. в технологиях «хайтек», а другая в технологиях, без которых немислимо никакое производство с применением водорода — это сенсоры на водород.

К сожалению, в сборнике совершенно не затронуты вопросы водородного материаловедения и безопасности в современном их толковании применительно к задачам, поставленным в XXI веке. Совершенно очевидно, что их решение будет во многом определять жизнеспособность всей конструкции, очень удачно и звонко названной «водородная энергетика».

Доктор химических наук, профессор

Б. М. Булычев