Водородная энергетика. Не опоздать бы…

Александр Журавлёв, советник директора Ассоциации СРО «БалтЭнергоЭффект», доктор технических наук, профессор

Россия, по энергетическому потенциалу, является самодостаточной страной, которая может экспортировать часть энергоресурсов за рубеж. Экспорт природного газа по трубопроводам принес в казну $25,24 млрд, сжиженного природного газа (СПГ) — $6,745 млрд (снижение почти на 40 % по отношению к 2019 году). Это было обусловлено снижением экономической активности зарубежных стран-потребителей энергоресурсов из-за пандемии коронавируса, надеждой на возобновляемые источники энергии (ВИЭ), политической конъюнктурой.

По объемам добычи газа Россия делит первую строчку с США. Только за 2020 год объем добычи на фоне пандемии составил 692,3 млрд м³, это на 6,2 % меньше, чем в 2019 году. Но уже в 2021-м рост составил 13,2 %, по сравнению с тем же периодом 2020 года, то есть за первые 7 месяцев выкачали 442,08 млрд м³. На рис. 1 представлена гистограмма, отображающая объем добычи природного и попутного газа в России за последние годы.

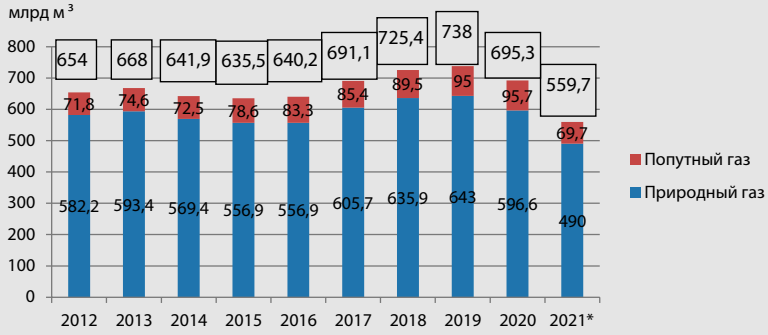

Рис. 1. Данные по динамике добычи природного и попутного газа в России

* данные по 2021 году представлены за 9 месяцев (1)

Россия поставляет на экспорт около 20 % природного газа (в 2017 году 19,2 %). В последние месяцы газ в Европе резко подорожал. Еще в начале августа 2021 года расчетная цена ближайшего фьючерса по индексу голландского TTF составляла около $515 за тысячу кубометров, а к концу сентября показатель вырос более чем вдвое. После достижения исторического максимума в $1937 за тысячу кубометров стоимость голубого топлива на мировом рынке начала снижаться. По мнению экспертов, рост цен на фьючерсы можно объяснить низким уровнем заполненности европейских подземных хранилищ газа, ограничением предложения со стороны основных поставщиков и высоким спросом на СПГ в странах Азии.

Информация по разведанным запасам природного газа, полученная из официальных источников, резко отличается. Так, в сентябре 2019 года экс-глава Минприроды Дмитрий Кобылкин, выступая на Тюменском нефтегазовом форуме, сообщил, что газовых ресурсов России должно хватить примерно на 100 лет. Но в опубликованном в 2019 году отчете Министерства о реальных запасах природных ископаемых значатся всего 14,5 трлн кубометров газа. По этой оценке при сохранении объемов добычи «голубое топливо» будет исчерпано через 20 лет. В то же время, согласно статистике BP (British Petroleum), опубликованной в Ежегодном обзоре мировой энергетики, газовые запасы России составляют 35 трлн кубометров, то есть это как минимум 45 лет стабильного извлечения ресурса. В Счетной палате в 2020 году в отчете «Анализ воспроизводства минерально-сырьевой базы РФ в 2015–2019 годах» указано, что только разведанных запасов на разрабатываемых месторождениях хватит более чем на 50 лет. Глава Минприроды Александр Козлов в мае 2021-го сообщил в интервью РБК, что газа и вовсе может хватить до 2124 года, то есть еще на 103 года (2). Все-таки большинство экспертов склоняются к прогнозу, что газа в России хватит еще на 50 лет и более, чему способствуют усовершенствованные технологии его извлечения из недр, активное использование северных месторождений, улучшенные условия хранения и транспортировки газа.

Европейские страны и российский природный газ

В 2015 году европейские страны приняли консенсусом Парижское соглашение об изменении климата, регулирующее меры по снижению содержания углекислого газа в атмосфере с 2020 года. Целью соглашения является «активизировать осуществление» Рамочной конвенции ООН по изменению климата, в частности, удержать рост глобальной средней температуры «намного ниже» 2 °С и «приложить усилия» для ограничения роста температуры величиной 1,5 °С.

В этом году Еврокомиссия временно исключила атомную энергетику и добычу природного газа из «Зеленой финансовой таксономии». Так называется список устойчивых видов деятельности, инвестиции в которые не вредят климату. Однако Брюсселю потребуется больше времени, чтобы выработать отношение к «переходной таксономии», то есть отраслям экономики, загрязняющим окружающую среду, которые можно терпеть в переходный период. Тем не менее, Евросоюз планирует сокращение выбросов парниковых газов как минимум на 55 % к 2030 году по сравнению с уровнями 1990 года, а к 2050 году — перейти на «нулевые» выбросы парниковых газов.

Из 70 млн т производимого сегодня в мире водорода половину потребляет химическая промышленность. Остальное распределяется между нефтепереработкой (43 %) и производством стали, полупроводников и термополированного стекла (3). Отметим, что страны ЕС, США, Япония и Китай ежегодно тратят на водородную энергетику около $600 млн в течение последних 15 лет.

Странам ЕС предстоит решить непростую задачу — перейти на безуглеродную энергетику, не учитывая риски, которые могут возникнуть. Примером тому могут быть климатические условия этого года, когда ветровая энергетика европейских стран не работала в полную мощность (при скорости ветра менее 6 м/с ветрогенераторы не работают или работают «вхолостую»). Отсюда возникли и «газовые тиски», когда газа в подземных хранилищах оказалось недостаточно, а биржевые цены на газ подскочили в несколько раз. Об этом на Валдайском форуме высказался Президент России Владимир Путин. Вопрос перехода на водородную энергетику остро стоит не только для стран Евросоюза, но и для России, и этому есть объяснение.

Несколько слов о водороде

Безусловно, водород является самым экологичным и видом горючего, так как в результате его сжигания образуется водяной пар. При сжигании природного газа (метана) кроме пара образуется углекислый газ (CO_2), а при неполном сгорании и угарный газ (CO). Кроме того, водород — энергоэффективное горючее: высшая теплота сжигания водорода составляет 142 МДж на килограмм, а природного газа — от 28 до 46 МДж.

Реакции горения водорода и метана

$2 H_2 + O_2 = 2 H_2O$ — водород

$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2 H_2O$ — метан

Как видно из представленной реакции горения, метан не попадает в список безуглеродных источников энергии в отличие от водорода. Естественно, при сжигании метана образуется меньше вредных окислов и вредных продуктов, чем при сжигании угля, дизельного топлива и мазута. Говоря о водороде, как о горючем, следует отметить, что различают несколько его видов в зависимости от способа, которым он получен: зеленый, голубой, серый и бурый водород (рис. 2). Но в целом в мире преобладает пока углеродная составляющая, причем в определенном смысле «грязная»: около 35–40 % электроэнергии вырабатывается на угольных электростанциях (в Китае 80 %, в Индии — 65 %, США — около 40 %).

Иногда в научных обзорах встречается понятие «розового» или «красного» водорода, произведенного при помощи атомной энергии, а «бурый» водород именуют «коричневым», но это частности. Европейские страны однозначно ориентированы на зеленый водород, но, во-первых, электроэнергия от ВИЭ может оказаться в дефиците, а во-вторых, стоимость такого горючего в настоящее время высока. По оценкам Международного энергетического агентства, стоимость производства «зеленого» водорода составляет от 2 до 7 долларов за килограмм, «синего» — около 1,6 долларов за килограмм. Именно высокая себестоимость служит причиной ограничения спроса на экологически чистый водород. С учетом разработки новых технологий планируется довести стоимость зеленого водорода до 1 доллара за килограмм.

Вид водорода	Технология получения	Описание
Зеленый водород	Ветрогенератор Солнечный модуль	Водород получают путем электролиза воды за счет электроэнергии от ВИЭ
Голубой водород		Водород получают путем риформинга метана и природного газа (паровая конверсия) с удалением окислов углерода и перевода CO_2 в углерод
Серый водород		Аналогичный способ, но с выбросом CO_2 и дымовых газов в атмосферу
Бурый водород		Водород производится на угольных электростанциях путем газификации угля и реакции с паром

Рис. 2. Способы и технологии получения водорода

При выработке голубого водорода (в основном АЭС) отмечается минимальный выброс парниковых газов. У производственных предприятий (заводов, ТЭЦ) выброс дымовых газов и пара может быть существенным, что переводит произведенный водород в группу серого водорода.

Процесс газификации бурого угля может осуществляться разными способами, но утверждать, что в итоге мы получаем экологически чистое горючее, нельзя, так как в процессе производства образуется много сопутствующих продуктов, которые сложно изолировать от атмосферы. В любом случае необходимо производить экономический и экологический расчеты по стоимости водородного горючего с учетом конкретного технологического процесса. Кстати, утечки метана в атмосферу загрязняют ее еще больше, чем выбросы парниковых газов, углекислого газа в частности.

А что в России?

В России природные ресурсы позволяют производить водородное горючее, но производство зеленого водорода в больших объемах проблематично, так как мала доля электроэнергии, производимой от ВИЭ. Кроме того, необходимы соответствующие технологии, техника, транспорт. В связи с этим производство зеленого водорода не только проблематично, но и невозможно (доля ВИЭ в электроэнергетике России около 0,4 %). Но производство голубого водорода на АЭС вполне реализуемо: для этого на перспективу возможно потребуется построить 12 энергоблоков АЭС, но и сейчас некоторые АЭС и ГЭС недогружены (рис. 3).

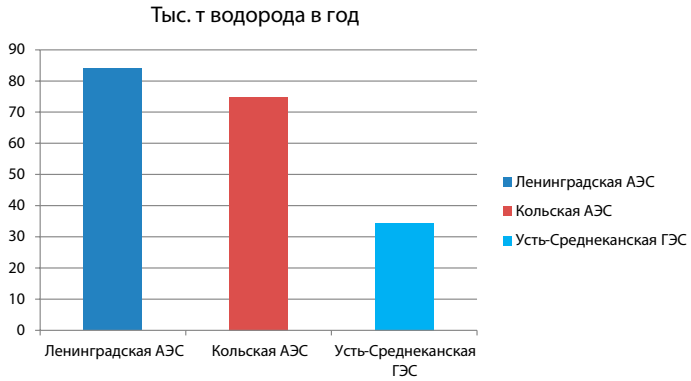

Рис. 3. Потенциал российских АЭС и ГЭС по производству водорода (4)

Год назад вступило в силу распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р:, в котором утвержден план мероприятий (дорожная карта) по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года, направленный на увеличение производства и расширение сферы применения водорода в качестве экологически чистого энергоносителя, а также вхождение страны в число мировых лидеров по его производству и экспорту. Среди основных направлений работ указаны: увеличение производства водородного энергоносителя, разработка низкоуглеродных технологий производства, изменение законодательной базы, реализация мер господдержки водородной энергетики, стимулирование спроса на внутреннем рынке, разработка мер безопасности и международное сотрудничество.

Безопасность при производстве, транспортировке и использовании водорода является одним из важнейших факторов (водород легко проникает через неплотности, при соединении с кислородом образуется гремучая смесь, способная вызвать взрыв). Но с другой сторон, водород как легкий газ при возникновении трещин или неплотностей быстро улетучивается.

План мероприятий по развитию водородной энергетики был позднее подкреплен «Концепцией развития водородной энергетики в Российской Федерации» (утверждена распоряжением Правительства РФ от 05.08.2021 г. № 2162–р). В ней предусматриваются периоды развития водородной энергетики: среднесрочный — до 2024 года, долгосрочный — до 2035-го и перспектива — до 2050 года. Направления работы прежние: снижение выбросов CO_2, разработка технологий по получению низкоуглеродного водорода, система стандартизации и сертификации производства водорода.

В Концепции констатируется, что сейчас в мире спрос на водород составляет 116 млн т: 74 млн т — на чистый и 42 млн т — в смеси с другими газами. Однако 95 % производимого водорода используется в местах его выработки (нефтепереработка и химическая промышленность). При этом 75 % производства водорода основано на использовании метана, 23 % приходится на уголь и только 2 % на электролиз. В Концепции констатируется, что в настоящее время глобального рынка водорода не существует.

С утверждением Концепции были внесены поправки и в Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 г. №1523). Правительство в полтора раза увеличило прогноз по экспорту водорода к 2050 году, до 50 млн т. Ранее власти собирались экспортировать до 34 млн т и зарабатывать на этом $100 млрд в год, сейчас это значение возрастает в 1,5 раза, перекрывая существующую сегодня выручку от экспорта природного газа. Причем спрос на водородный энергоноситель может существенно вырасти с учетом планов ЕС на достижение полной углеродной нейтральности. Однако одной из инициатив Евросоюза является введение трансграничного углеродного налога –пошлины на импортируемые товары с большим углеродным следом. Суммарные издержки импортеров от ввоза в ЕС российских товаров за период 2026 — 2035 годов из-за углеродного налога составят от €15,5 млрд до €34,1 млрд, подсчитал KPMG (одна из крупнейших аудиторских компаний Большой четверки). Таким образом, можно потерять от 10 до 30 % от экспортной выручки за водород.

Учитывая все это, необходимо внедрить современные технологии производства относительно «чистого» водорода, включая паровую конверсию метана, пиролиз углеводородов, газификацию угля и углеродсодержащих материалов, производство водорода на базе атомных станций и технологии улавливания, хранения, транспортировки и использования углекислого газа и электролиз воды с созданием щелочных, твердополимерных и твердооксидных электролизеров (5). Как было выше обосновано, это необходимо не только и не столько для поставок водорода на экспорт, но в первую очередь для внутреннего рынка и внутреннего потребления экологически чистого энергоресурса.

Президент России Владимир Путин в конце 2020 года дал поручение правительству: к 2023 году разработать и выпустить на линии автобусы на водородном топливе, а затем и водородные локомотивы. В Послании Федеральному собранию

21 апреля 2021 года он заявил о необходимости новых комплексных подходов к развитию энергетики, «…включая новые решения в сфере атомной генерации, в таких перспективных направлениях, как водородная энергетика и накопители энергии». Также Президент Владимир Путин поручил правительству изучить целесообразность строительства трех приливных электростанций для экспорта водорода. Они могут быть построены в Архангельской области, Хабаровском крае и на Камчатке.

Рис. 4. Кольская АЭС (источник: «Росэнергоатом»)

Рис. 5. Автомобиль Аурус-Сенат на водородном двигателе

Рис. 6. Первый российский трамвай на водороде

Рис. 7. Первый российский рельсовый автобус «Орлан» на водороде

15 октября 2021 года председатель Правительства Михаил Мишустин сказал: «Более 9 млрд рублей в ближайшие три года будут направлены в том числе на разработку конкурентоспособных отечественных технологий производства, транспортировки и хранения водорода, создание полигонов по апробации технологий для водородной энергетики, в том числе и в Арктической зоне».

В настоящее время реализуется ряд проектов по использованию водорода не только в нефтепереработке и химической промышленности, но и в других областях:

- в 2003 году создана некоммерческая Национальная ассоциация водородной энергетики (НАВЭ) с целью стимулирования развития и применения водородных технологий;
- «Газпром», «Росатом» и АО «НОВАТЭК» активно занимаются реализацией проектов по получению низкоуглеродного водорода;
- в 2006 году состоялся первый автопробег водородных автомобилей;
- в мае 2020 года в Московской области появилась первая водородная заправка;
- ведутся разработки по использованию водорода на АЭС как накопителя энергии: пилотный проект по созданию инфраструктуры для отработки технологий водородной энергетики и электролизному производству водорода готовится на базе Кольской АЭС (рис. 4);
- в сентябре 2021 года на Восточном экономическом форуме представлен автомобиль Аурус-Сенат на водородном двигателе (рис. 5);
- в ноябре 2019 года прошли испытания в Санкт-Петербурге водородного трамвая (рис. 6);
- в сентябре 2019 года подписано соглашение между «Росатомом», «РЖД» и «Трансмаш-холдинг» о сотрудничестве по проекту организации железнодорожного сообщения с применением поездов на водородных топливных элементах (рис. 7).

Как следует из приведенных данных, Россия не планирует отставать в вопросах производства, транспортировки и хранения водорода, как наиболее экологичного и энергоэффективного горючего, и в последнее время эта актуальная проблема приобретает большое значение.

Резюме

1. Мировое сообщество стремится к использованию новых экологически чистых способов получения энергии, и одним из направлений является водородная энергетика.

2. Россия является энергетической державой и способна производить низкоуглеродный водород различными способами в больших объемах (кроме зеленого водорода).

3. В настоящее время в России разработаны дорожная карта и Концепция развития водородной энергетики, определяющие направления по реализации проектов.

4. Производство низкоуглеродного водорода позволит использовать экологически чистое горючее как на внутреннем рынке, так и в поставках на экспорт.

5. В ближайшей перспективе следует ориентироваться на производство голубого водорода в высокотемпературных газоохлаждаемых реакторах на АЭС, в удаленной перспективе зеленый водород можно получать от электроэнергии ГЭС и приливных электростанций. **ЭС**

Литература
1. Обзор газодобывающей отрасли России / Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения РАН. Новосибирск, 2021.
2. Запасы газа в России составляют 73 триллиона кубометров // Сайт ria.ru 18 сентября (http://ria.ru/20190918/1558795300.html)
3. Кизимов В. Перспективы и недостатки водородной энергетики // Сайт journal.tinkoff.ru 24 сентября (http://journal.tinkoff.ru/news/review-vodorod/)
4. Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива. Экспертно-аналитический доклад. М. 2019.
5. Мамедов О. М. Стратегии развития водородной энергетики. Мировые достижения и планы России // Журнал «Энергосбережение». № 3. 2021.