

ГЛАВА 2. СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИКИ СТРАНЫ И МИРА

2.1. ОСОБЕННОСТИ СЕДЬМОГО ЭНЕРГОПЕРЕХОДА И ЕГО РАЗВИЛКИ И ВЗАИМОПРИЕМЛЕМЫЕ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РОССИИ

Конопляник А.А.,
ООО «Газпром экспорт»/ИПНГ РАН/Научный совет РАН по системным
исследованиям в энергетике, г. Москва,
andrey@konoplyanik.ru

Сегодня основными публично обсуждаемыми темами в международной энергетике являются, пожалуй, различные аспекты нынешнего «энергетического перехода», или «зеленой» революции, то есть смены технологического уклада и основной парадигмы развития мировой энергетики в направлении уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, в первую очередь за счет уменьшения эмиссии парниковых газов и сдерживания тем самым глобального потепления и его негативных последствий. Уже на этом этапе наблюдаются весьма существенные расхождения во мнениях, начиная с того, каким по счету является нынешний энергопереход.

1. Какой по счету энергопереход: первый или седьмой?

В наиболее узком понимании «энергетический переход» трактуется рядом авторов как явление исключительно современной истории. Считается, что немецкий термин «energiewende», который можно перевести как «энергетический переход», «энергетический поворот», «энергетическая революция», в значении изменения всей глобальной энергетики, впервые появился в 1980 г. как название одной из публикаций немецкого Цко-Institut [1] и стал широко применяться в Германии в начале 2010-х гг. [2]. *С. Гриффитс отмечает, что* «хотя у термина «энергетический переход» нет единого значения, обычно он означает постепенную смену использования ископаемых топлив возобновляемыми источниками энергии» (ВИЭ) [3]. Некоторые авторы поспешили назвать такие комментарии про увеличение доли ВИЭ в мировом энергобалансе «теорией глобального энергетического перехода» [4].

Есть более широкое определение энергоперехода – переход с одного доминирующего невозобновляемого энергоресурса (НВЭР) на другой, а затем переход с доминирования НВЭР на доминирование ВИЭ. При таком подходе одни исследователи предлагают считать нынешний энергопереход четвертым, «с биомассы (дров) на уголь, затем на нефть, потом на газ, теперь

на ВИЭ» [5], другие (при таком же подходе) – лишь третьим (уголь – углеводороды – ВИЭ), также рассматривая лишь «современную историю промышленного и технологического развития» и говоря при этом о «переходе к новому «электрическому миру» [6].

В моем более широком понимании «энергопереход» – это поступательное перемещение в общественном развитии с одного технологического уклада на другой, в рамках которых доминирует (как это было в прошлом) использование того или иного энергетического ресурса или формируется конкурентная, без очевидного доминантного энергоресурса, структура энергопотребления (как это происходит в настоящее время и, по мнению автора, будет происходить в перспективе), на всем протяжении развития человеческой цивилизации, а не только с периода индустриализации и до наших дней. На мой взгляд, в основе того или иного «технологического уклада» (термин Д.С. Львова – С.Ю. Глазьева) лежит преодоление соответствующего «энергетического порога» (если следовать терминологии акад. Г.М. Кржижановского), то есть переход на качественно новый уровень энергопотребления не столько по объему энергопотребления, сколько по его качественной структуре. Если следовать концепции Г.М. Кржижановского – Л.А. Мелентьева – А.А. Макарова, то нынешний энергопереход становится уже шестым, ибо к первому авторы относят создание водяного колеса (а затем и использование энергии ветра в мобильной и стационарной энергетике), которое эффективно заменило мускульную силу человека и животных, а потом и переход к использованию угля (наряду с дровами) после появления парового двигателя Уатта.

Однако, если смотреть еще шире, то энергопереходы начались не с первой промышленной революцией и не с использования водяного колеса и энергии ветра, а намного раньше – в первобытно-общинном строе, когда и началась борьба за доступ к материальным и энергетическим ресурсам и/или за овладение ими с помощью различных технических ухищрений – достижений научно-технического прогресса (НТП).

Первыми энергоресурсами, обеспечивающими минимальный уровень потребления человека (его семейства) в рамках простого воспроизводства, были возобновляемые источники энергии – мускульная сила самого человека и членов его семьи и биомасса/древесина (после овладения огнем). Если вести отсчет с этого времени, то первым энергопереходом, на мой взгляд, было расширение использования физической силы человека за счет дополнительного использования физической силы других людей – военнопленных, обращаемых в рабов. Это произошло при переходе к расширенному воспроизводству. То есть энергоресурс остался тем же (мускульная сила человека), но источник ее изменился: не только расширение источников энергии внутри семьи за счет рождаемости и семейных уз, но и извне – за счет привлечения рабского труда (произошла, по сути, первая диверсификация источников энергии).

Второй энергопереход – вовлечение в энергобаланс мускульной силы прирученного и ставшего домашним рабочего скота.

Третий – расширение использования ВИЭ (энергии ветра и воды) после изобретения ветряных и водяных мельниц (начало отсчета «энергетических порогов» Г.М. Кржижановского). Использование последних обеспечило развитие текстильных мануфактур и стало предтечей первой промышленной

революции, однако эти ВИЭ были пригодны преимущественно для стационарного применения. Можно говорить об использовании энергии ветра в мобильной энергетике: на парусном флоте. И только паровой двигатель дал толчок развитию мобильной энергетике (на море и на суше) и угольной промышленности как источника топлива для паровых установок (в стационарном и/или мобильном применении).

Таким образом, переход к углю является четвертым энергопереходом (а не первым [5, 6]), а нынешний, следовательно, является седьмым (а не четвертым, если разделять период доминирования углеводородов на отдельные периоды доминирования нефти и газа, как в [5], или третьим, если объединять их, как, видимо, в [6]). При этом если все предыдущие энергопереходы определялись введением в энергобаланс новых источников энергии за счет достижений революционного НТП и преимущественно на стороне предложения, то нынешний энергопереход вызван рукотворными ограничениями спроса на первичную и конечную энергию в связи с климатической повесткой, а значит, со сдерживанием и даже сжатием предложения доминировавших до настоящего времени и сохраняющих свои доминирующие позиции НВЭР в их «традиционном исполнении», то есть без ограничений по выбросам.

В нашей стране к этой дискуссии, безусловно, добавляются вопросы: какое место должна занять Россия в энергопереходе и как выстраивать международное сотрудничество, в первую очередь, с нашим основным экспортным рынком – Европой.

2. НВЭР и ВИЭ: экономическая vs климатическая конкуренция, до и после «Парижского соглашения»

Для ЕС острота климатической проблемы очевидна и во многом является результатом индустриальной модели развития. Индустриализация началась в Старом Свете раньше, чем в других районах земного шара, поэтому именно здесь в первую очередь и проявились ее негативные последствия, в частности, рост выбросов парниковых газов от энергетики, промышленности и транспорта. При этом климатической повестке придается зачастую гипертрофированное значение, а значит, уделяется столь же избыточно повышенное внимание, избыточное настолько, что оно способно затмевать иные не менее насущные проблемы современного этапа развития человечества.

В своей наиболее радикальной (и поэтому сильно политизированной) версии нынешний энергопереход видится многим (увы, не только в Европе) как отказ от использования НВЭР и переход на максимально широкое, а то и исключительное использование ВИЭ. Политизация дискуссий приводит к политизации климатических моделей. Такой подход отражает некритическое восприятие НТП, обеспечивающего возможность снижения выбросов за счет совершенствования и применения новых технологий производства и использования НВЭР. Таким образом, происходит искусственное (преднамеренное?) суживание зоны поиска оптимальных решений по обеспечению низкоэмиссионного развития, в том числе и с использованием НВЭР, но на новой технологической основе.

После того как сработали кумулятивные эффекты ответной реакции мировой экономики на взлет нефтяных цен в 1970-е годы, началось

выполаживание кривой спроса на первичную и подведенную энергию в результате разрыва корреляции между энергопотреблением и экономическим ростом. В итоге произошло расширение предложения, с одной стороны, и сдерживание роста спроса на энергию – с другой. Стал происходить объективно обусловленный переход от ожидания «пика предложения» к ожиданию «пика спроса».

В этих условиях возникло дополнительное рукотворное ограничение спроса в виде «Парижского соглашения», заявленной целью которого является борьба за сохранение климата путем уменьшения выбросов тепличных газов, а значит, введения целенаправленных ограничений для традиционного развития мировой энергетики на основе НВЭР. Такую энергетику общепринято считать главным антропогенным загрязнителем. Поэтому первоочередное внимание в борьбе за климат обратилось именно на нее. Точнее, против нее.

До Парижского соглашения доминировали факторы экономического свойства, которые работали внутри расширяющейся совокупности НВЭР/ВИЭ и приводили к перераспределению конкурентных долей рынка между различными НВЭР/ВИЭ, происходило их «экономическое замещение». Фактор Парижского соглашения ввел новое измерение, которое стало доминирующим критерием предпочтительности, превалирующим над экономическим, – климатическое или «углеродный след» (совокупные выбросы по всей производственно-сбытовой цепочке).

Отсюда всплеск внимания к ВИЭ как к источникам не только «электронов» – возобновляемой электроэнергии, но и «молекул» – декарбонизированных газов, в первую очередь т.н. «возобновляемого» водорода (H_2), производимого методом электролиза воды с использованием электроэнергии ВИЭ. Это вывело на новый уровень вопросы конкуренции между НВЭР и ВИЭ, где ключевой вопрос: как считать выбросы и протяженность учитываемых в этих расчетах производственно-сбытовых цепочек.

Опыт предыдущих энергопереходов и, шире, закономерности эволюции энергетических рынков говорят о том, что не может быть полной замены новым энергоносителем, вводимым по тем или иным причинам в хозяйственный оборот, традиционных энергоресурсов, формирующих существующую структуру энергобаланса. Каждый последующий доминирующий энергоресурс занимал в энергобалансе меньшую долю, чем его доминантный предшественник. Происходит своеобразное «выравнивание» конкурентных долей «новых» и «старых» энергоресурсов в потреблении – каждый в итоге находит свою оптимальную конкурентную нишу. То есть рассматривать любой новый энергоресурс как возможное универсальное решение или очередной доминирующий источник энергии (будь то ВИЭ или получаемый на их основе H_2) нельзя.

Будет и дальше происходить очередное перераспределение конкурентных ниш между «старыми» (в данном случае, различными видами НВЭР, включая ядерную энергию, и традиционными ВИЭ, такими как гидроэнергия) и «новыми» энергоресурсами (солнечная, ветровая и другие «новые», сегодня кажущиеся экзотическими, ВИЭ, водород, и, быть может, даже неизвестные сегодня источники энергии) с учетом новых, дополнительно вводимых в оборот, критериев и рукотворных ограничений (в

данном случае в рамках климатической повестки такими, как «углеродный след» и т.п.) и достижений НТП в ответ на эти новые рукотворные (и, видимо, далеко не последние) ограничения (следующим, полагаю, может стать «водоемкость» продукции материального производства).

3. ЕС: водород «возобновляемый» и из природного газа и «технологический нейтралитет»

Поначалу универсальным решением для будущего энергетики в рамках ее декарбонизации политики в ЕС видели 100% -ную электрификацию на основе ВИЭ. Затем (в январе 2018 г. [7]) решение было переформулировано: «электроэнергия ВИЭ плюс декарбонизированные газы». Это открыло окно возможностей для поиска нового баланса интересов РФ и ЕС в энергетической и, в частности, в газовых сферах. В числе основных «декарбонизированных газов» и, пожалуй, главным из них в ЕС стал видаться водород. При этом, несмотря на декларируемое следование принципам «технологической нейтральности» в энергетическом регулировании, в ЕС очевидно прослеживается нескрываемое предпочтение «зеленого» (или «возобновляемого») H_2 , то есть такого, который получен посредством электролиза воды с использованием электроэнергии ВИЭ.

При этом налицо как очевидные недостатки «возобновляемого» H_2 , так и сравнительные преимущества H_2 , получаемого из природного газа, как методом парового риформинга (ПРМ) с обязательным применением технологии CCUS (улавливания и захоронения и/или полезного использования, получаемого при ПРМ CO_2 ; CCUS = carbon capture, utilization, sequestration), так и пиролиза метана, при котором CO_2 не образуется (рис. 1).

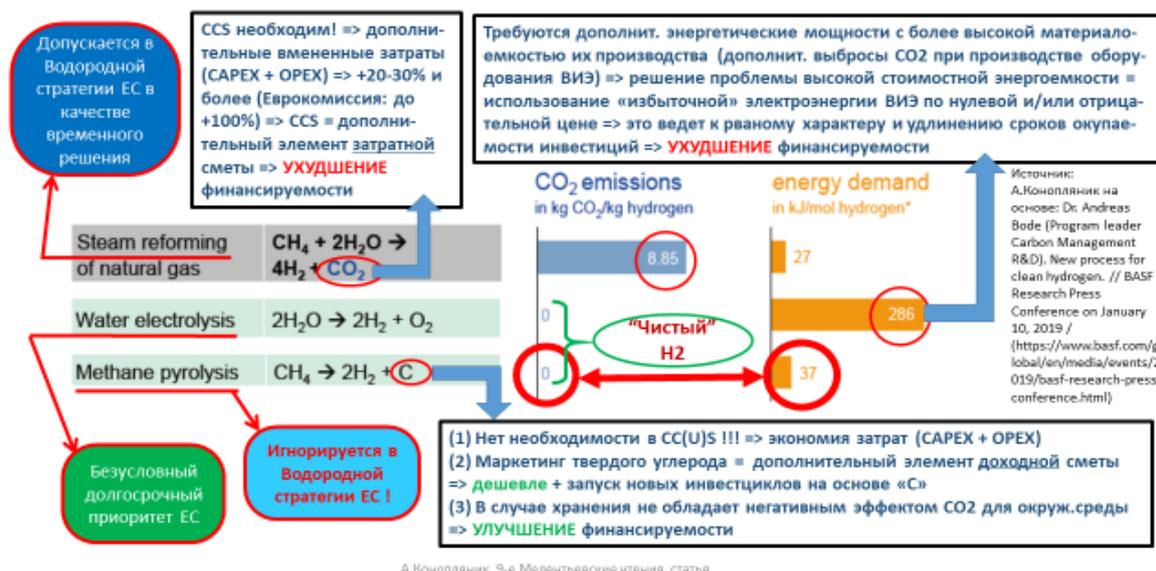


Рис. 1. При прочих равных условиях пиролиз метана (и сходные технологии: без доступа O_2 и выбросов CO_2) имеют конкурентное преимущество против: (1) электролиза как ключевого и (2) ПРМ+CCS как временного/вспомогательного направления производства H_2 в ЕС.

Однако на политическом уровне фактически уже предопределено (в рамках обнародованного в 2019 г. Еврокомиссией «Нового зеленого курса» ЕС), что именно такой H_2 является назначенным желанным выбором в политике декарбонизации. Другие технологии получения H_2 либо допускаются как временные попутчики в рамках энергоперехода на ближайшие 10 лет – до 2030 г. (PPM + CCUS), либо вовсе игнорируются под тем или иным предлогом (пиролизная группа технологий получения H_2 без выбросов CO_2 из природного газа). Исходя из этого выстраивается новая долгосрочная энергетическая политика ЕС, в том числе во внешнеэкономической сфере, то есть во взаимоотношениях с основными внешнеторговыми партнерами. И такой переход на «зеленый» («возобновляемый») H_2 не только не опирается на баланс интересов потребителей энергии в ЕС и ее поставщиков внутри и извне ЕС, но он (в явной или скрытой форме) навязывается сообществу ЕС и его внешнеторговых партнеров как единственно правильный (единственно возможный) сценарий развития водородной экономики, несмотря на множество остающихся открытыми вопросов.

Однако и в самом ЕС, и за его пределами де-факто признается, что многие аспекты перехода к водородной экономике на основе «зеленого»/«возобновляемого» H_2 (в отношении безусловной приоритетности которого уже приняты в том числе политически предопределенные решения) являются пока недостаточно проработанными. Более того, значительная часть водородной тематики является по сути хайпом (навязчивой рекламой). Это фактически признается и в самой Еврокомиссии [8], и в рамках различных авторитетных мероприятий [9]. Есть и более радикальные взгляды на нынешнюю европейскую эйфорию в отношении H_2 и ее причины, причем исходящие из уст профессионалов. Так, дипломированный инженер-химик Самуэль Фурфари, проработавший 36 лет в Еврокомиссии и всю свою профессиональную карьеру занимавшийся вопросами энергетики и снижения выбросов, считает, что овладевшая Европой «водородная иллюзия» (именно так недвусмысленно называется опубликованная им книга) является «помимо прочего ошибочным решением, используемым для того, чтобы прикрыть иную ранее сделанную ошибку – ставку на опережающее развитие нестабильного энергопроизводства на основе ВИЭ». Автор считает, что «движение по этому тупиковому пути начато только потому, что является политически корректным, находится в тренде и обеспечено деньгами, которые можно на это потратить» [10].

«Зеленый» («возобновляемый») H_2 остается намного дороже и «голубого» H_2 и природного газа (рис. 2). При всей неоднозначности любых сегодняшних оценок (построенных на разных и зачастую неизвестных допущениях) издержек производства H_2 в разных странах и их доставки к местам потребления и некорректности прямых сопоставлений таких оценок, разрыв между уровнями издержек (порядок цифр) сегодня является достаточным для утверждения о безусловной экономической неэффективности использования технологий получения «возобновляемого» H_2 по сравнению с получением H_2 из природного газа, а водородных технологий по сравнению с газовыми, исходя из степени отработанности (коммерциализации) этих технологий и цены используемого энергоресурса.

А дальше начинается то, что можно охарактеризовать словами: «убрать конкурента» и «неважно как проголосовали, важно, как посчитали».

Нет ясности, на основании чего ожидается (и заложено в Водородную стратегию ЕС [13]) столь резкое снижение издержек производства «зеленого» H_2 к 2030 г., если основной компонент этих издержек – цена электроэнергии. Понятно, и неоднократно заявлено, что ставка делается на покупку избыточной электроэнергии ВИЭ (в противном случае этот H_2 перестает быть «зеленым» и «возобновляемым») по нулевой или отрицательной цене. Но в 2019 г., например, в Германии, продолжительность периода отрицательных цен была всего 211 часов из $24 \times 365 = 8760$ часов годового их баланса, то есть электролизер будет работать на избыточной электроэнергии от ВИЭ только 2,5% времени [11, р. 6]. Это может объяснить заведомо высокий уровень издержек производства «зеленого» H_2 , но не объясняет, почему они должны упасть. Непонятно также, почему для оценок издержек производства «возобновляемого» H_2 в прогнозах Еврокомиссии применяется резко убывающая «кривая обучения», а для H_2 из природного газа (причем Еврокомиссия упорно рассматривает лишь связку ПРМ+CCUS, продолжая игнорировать более экономичный пиролиз метана), наоборот, она закладывает рост издержек производства «голубого» H_2 . Встречающиеся ремарки, что цены на газ будут расти в долгосрочной перспективе (оставляем в стороне неизбежные при любой долгосрочной динамике конъюнктурные отклонения от тренда), на мой взгляд, несостоятельны. При переходе к избытку предложения (результат предвещаемого «пика спроса» на НВЭР) вместо «теоремы Хотеллинга», обеспечивающей производителю извлечение «ренды Хотеллинга» при дефиците предложения (за счет выравнивания цен по более дорогому замещающему энергоресурсу), на рынке начинает работать конкуренция «газ-газ», ведущая к снижению цен. Открытыми остаются



Рис. 2. Оценки Еврокомиссией издержек производства водорода основными технологиями и цены на газ.

вопросы о цене произведенного H_2 у потребителя (затраты на его транспортировку и какими именно технологиями) и т.д.

Налицо избыточность внимания к H_2 вообще и к «зеленому» H_2 в частности его переоцененность как возможного универсального решения проблемы декарбонизации, каковым он в принципе быть не может и не будет. Избыточность ожиданий, как известно, лишь усиливает итоговые разочарования. А если на избыточных ожиданиях в отношении H_2 вообще и «зеленого» H_2 в частности окажутся построены долгосрочные капиталоемкие инвестиционные решения (а иных в этой сфере не может быть по определению), то итоговые разочарования будут носить не только и не столько эмоциональный характер, сколько иметь долгосрочные экономические последствия в виде прямых и косвенных ущербов как для экономики ЕС, так и – что более важно – для экономики моей страны. Поэтому, чтобы избежать разного рода разочарований, чтобы не допустить выстраивания долгосрочной энергетической политики страны на основе импортируемых извне избыточных или, что хуже, неверных ожиданий, связанных с H_2 , представляется необходимым более внимательно и критически посмотреть на ключевые аргументы в отношении H_2 и сценариев водородного сотрудничества России, в первую очередь с ЕС.

Развитие водородных технологий в России не сможет быстро создать достаточный внутренний спрос на H_2 , сделав его конкурентоспособным с другими энергоресурсами. Полагаю, моя страна к этому не готова сегодня, в первую очередь, по своим социально-экономическим параметрам. Поэтому развитие таких (считающихся без- или низкоэмиссионными) технологий как одного из ключевых направлений сдерживания роста глобальной температуры, для России, на мой взгляд, не является столь же приоритетной государственной задачей, как для многих зарубежных стран, характеризующихся как более высокими значениями душевого ВВП, так и более высокими, по сравнению с Россией, уровнями энергоэффективности по всех звеньях производственно-бытовых энергетических цепочек.

Значит, рассчитывать на интенсивное развитие водородных компетенций, их быстрое масштабирование с опорой на внутренний спрос на H_2 (эффект масштаба и кривой обучения), рост их не только национальной, но и глобальной конкурентоспособности через внутренний рынок не приходится. Но уходить из мировой технологической конкуренции в этой сфере также контрпродуктивно. Поэтому первоначальные импульсы для развития водородной энергетики (как одной из составляющих низкоуглеродного развития страны) должны приходиться из внешнеэкономической сферы, используя заявленное стремление наших основных торгово-инвестиционных партнеров к декарбонизации, в том числе газовой отрасли.

И вот здесь возникает проблема: каким образом выстраивать такое внешнеэкономическое сотрудничество. По какой модели: по той, что нам предлагают западные партнеры (ЕС, в частности ФРГ), за которую ратуют также многие отечественные «эксперты» и которой, похоже, намерено следовать российское Минэнерго и Правительство РФ (если судить по только что принятой Водородной концепции страны [12]), или по альтернативной модели?

4. Концепция ЕС-ФРГ водородного сотрудничества с Россией

Принятый в 2019 г. «Зеленый курс» ЕС ставит целью достижение углеродной нейтральности ЕС к 2050 г., опираясь на развитие ВИЭ и декарбонизированных газов, в первую очередь H₂. При этом в «Водородной стратегии ЕС» от 08.07.2020 [13] ставка делается на «возобновляемый» («зеленый») H₂, получаемый методами электролиза воды с использованием электроэнергии ВИЭ. Однако ЕС признает, что прогнозируемых к 2050 г. объемов «возобновляемого» H₂ будет недостаточно для достижения поставленной цели: нулевых выбросов. Поэтому допускается импорт H₂ и его производство из природного газа. Последнее – исключительно методами ПРМ с обязательным применением CCUS. Жестко заявлено, что H₂ из природного газа – это лишь временный (нежелательный, но вынужденный) попутчик для «возобновляемого» H₂.

Чтобы сделать «возобновляемый» H₂ в ЕС максимально рентабельным, европейским производителям оборудования нужно иметь масштабный рынок сбыта электролизеров большой мощности как внутри ЕС, так и за его пределами. На это нацелена концепция сотрудничества с соседними странами по водороду, продвигаемая ЕС, его государствами-членами (ФРГ) и их бизнес-ассоциациями (российско-германская внешнеторговая палата [14-16]). ЕС (в первую очередь Германия) предлагает выстраивать сотрудничество на основе развития производства H₂ внутри России и его экспорта – в чистом виде или как метано-водородной смеси (МВС) в ЕС (рис. 2-А).

Производить H₂ предлагается электролизом на основе избыточных мощностей российских ГЭС и АЭС, а ПРМ (с технологией CCUS) – на базе газовых месторождений России в основных регионах добычи (Надым-Пур-

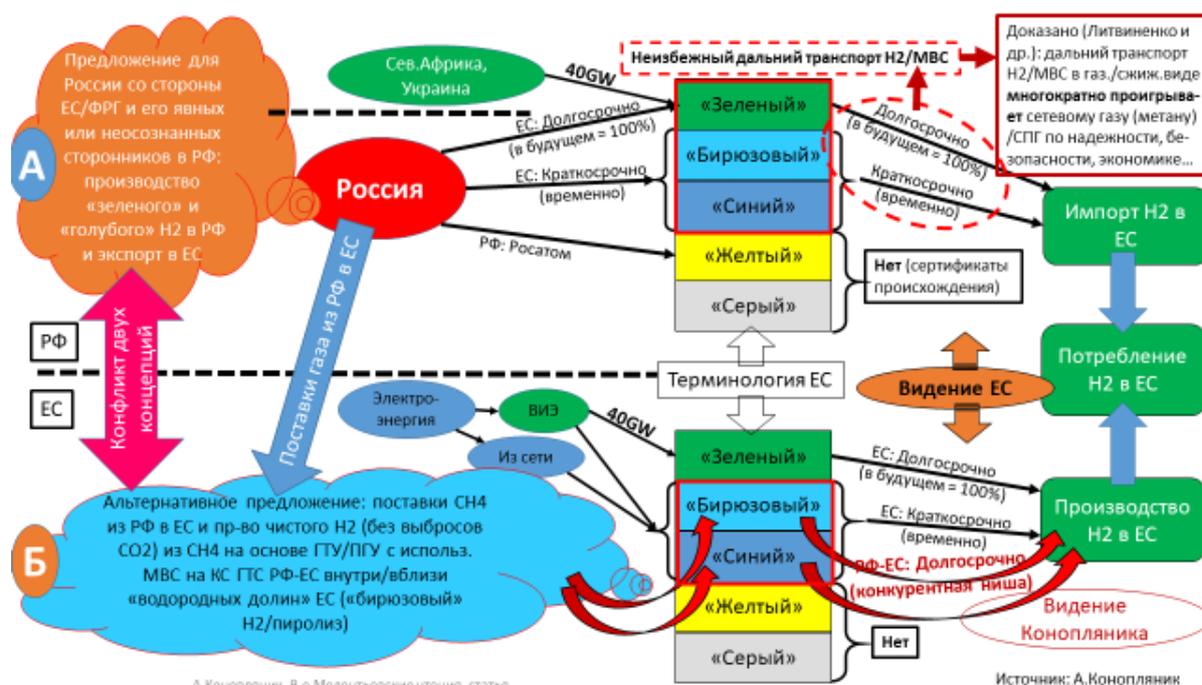


Рис. 2-А. Две концепции сотрудничества РФ-ЕС в области водородной энергетики.

Таз, Ямал) и закачивать CO_2 в продуктивные пласты нефтяных месторождений Западной Сибири для повышения нефтеотдачи. Расположение предлагаемых объектов производства H_2 в глубине территории России (рис. 3) предопределяет дальний транспорт и глубокую модернизацию под $\text{H}_2/\text{МВС}$, а фактически полную замену существующей трансграничной газотранспортной системы (ГТС) Россия – ЕС по всей ее многотысячекилометровой разветвленной протяженности.

Основным бенефициаром такого решения станут европейские машиностроительные отрасли. В первую очередь, германская промышленность по производству электролизеров. Ей нужен широкий рынок сбыта, чтобы снизить удельные затраты (эффект масштаба). Внутри Европы этот рынок ограничен. Значит нужно побудить соседние страны производить у себя «возобновляемый» H_2 (на основе электролизеров «Сделано в Германии») и оттуда транспортировать его в Европу. Для международной поддержки такой модели водородного сотрудничества ФРГ выделило 2 млрд Евро. Такая модель (производство «возобновляемого» водорода за рубежом и его импорт в виде H_2 или аммиака) продвигается ФРГ в отношении России и других стран, например, Саудовской Аравии (поставщиком электролизеров мощностью 20 МВт для этой инициативы стоимостью 5 млрд долларов должен стать немецкий промышленный гигант Thyssenkrupp) [17], Марокко [18]. Эта модель заложена в Водородную стратегию ЕС, где прямо указаны три региона – Северная Африка, Западные



Рис. 3. География АЭС, ГЭС и основной район газодобычи в России (Надым-Пур-Таз, Ямал): предлагаемое производстве H_2 внутри РФ и экспорт его в ЕС – дальняя крупномасштабная транспортировка в виде $\text{H}_2/\text{МВС}$ по существующей ГТС – требует глубокой дорогостоящей модернизации ГТС => контрпродуктивно, по мнению автора.

Балканы и Украина в рамках политики Южного и Восточного Добрососедства ЕС [13, 19].

Такая внешнеэкономическая концепция полностью отвечает национальным интересам ЕС и отдельных стран ЕС и полностью, на мой взгляд, противоречит национальным интересам России.

5. Водородное сотрудничество с ЕС: взаимоисключающие российские подходы

Практически в унисон с водородной философией ФРГ (июнь 2020 г. [20]) и ЕС (июль 2020 г. [13]) (фактически в их поддержку) звучат голоса ряда российских «специалистов». Более того, в этом же – контрпродуктивном, на мой взгляд, для моей страны – направлении уже сформирован вектор развития водородной энергетики, который сначала был недвусмысленно обозначен в водородном разделе Энергетической стратегии России (июнь 2020 г.). В нем сказано, что «показателем решения задачи водородной энергетики является экспорт водорода» [21, с. 47]. А затем нацеленность на экспорт H₂ была усилена в утвержденной Правительством России Концепции Водородной стратегии страны (август 2021 г.) [12]. Это однозначно предполагает производство H₂ внутри страны в четырех запланированных для этого «территориальных экспортно-ориентированных водородных кластерах» (рис. 3) и дальнюю транспортировку H₂ или МВС за рубеж. Причем рисуемые планы по экспорту H₂ с каждой редакцией правительственного документа становятся все более амбициозными без видимых к тому причин и каких-либо объяснений: от Энергостратегии (июнь

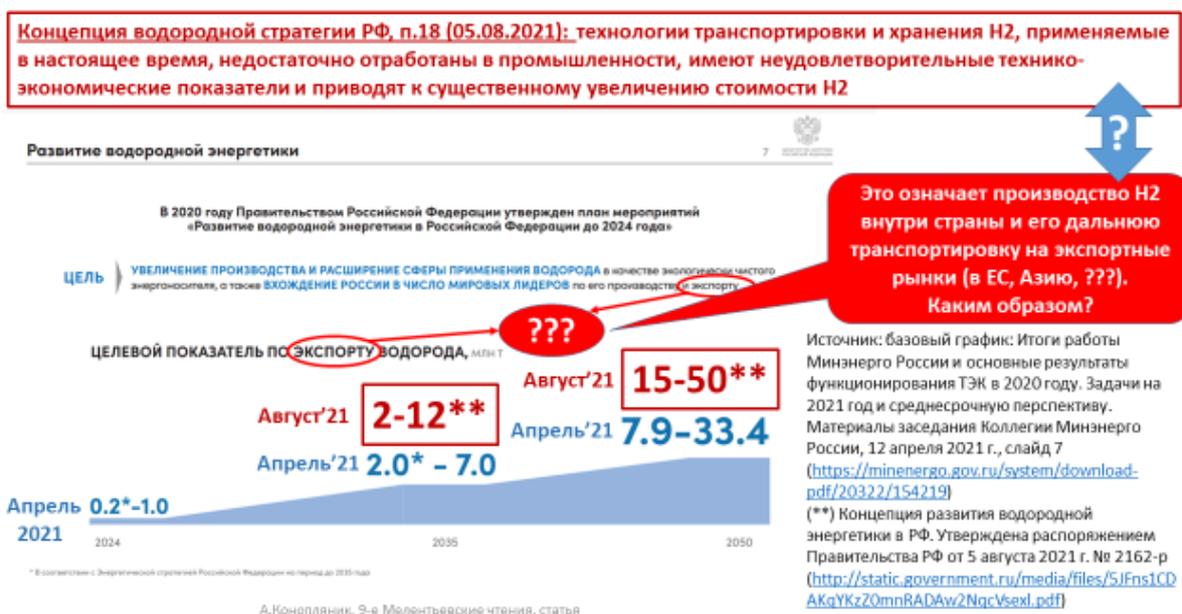


Рис. 4. Минэнерго/Правительство РФ: «Все более амбициозная ставка на экспорт водорода, но вопрос о его доставке на экспортные рынки технически не решен, а озвучиваемые «экспертами» решения – контрпродуктивны, непрофессиональны и разорительны.»

2020 г.) [21, с. 47] – к проекту Водородной стратегии (апрель 2021 г. [22, слайд 7]) – к утвержденной Концепции Водородной стратегии (август 2021 г.) [12, п. 26] (рис. 4). Несмотря на то, что там же [12, п. 18] сказано, что «технологии транспортировки и хранения H_2 , применяемые в настоящее время, недостаточно отработаны в промышленности, имеют неудовлетворительные технико-экономические показатели и приводят к существенному увеличению стоимости H_2 ».

Тем не менее, многие «эксперты» смотрят на проблему транспортировки H_2 иначе. Спецпредставитель Президента России по связям с международными организациями для достижения целей устойчивого развития А.Б. Чубайс трижды в течение июня-июля с.г. [23-25] публично заявил, что «Россия способна поставить задачу сохранения статуса «великой энергетической державы» с замещением экспорта углеводородов на экспорт H_2 . В Европейской водородной стратегии есть цифра: в 2030 году объем рынка H_2 в Европе – 10 млн тонн. Европа откровенно говорит: весь этот объем в Европе не создать. Нужен импорт в объеме до 50%. Это значит 5 млн тонн. И вот цифры «потенциального» российского экспорта H_2 на 2030 год увеличены с примерно 1,5 млн тонн в водородном разделе Энергетической стратегии России [21, с. 47] до 4 млн тонн в проекте [22] и до 6,5 млн тонн (правда, по максимальному варианту) в Концепции Водородной стратегии России [12, п. 26] (рис. 4). Более чем достаточно, по итоговому документу, чтобы закрыть весь объем требуемого Европе импорта H_2 .

Более того, А.Б. Чубайс призывает «поторопиться и не проиграть эту гонку Украине», мотивируя тем (7 июля), что «госпожа Меркель через десять дней нанесет официальный визит в США для обсуждения с Байденом вопроса о крупных германо-американских инвестициях в Украину для строительства мега-проекта по возобновляемой энергетике. Цель – производство водорода и его экспорт в Германию» [26].

Итак, ставка на экспорт H_2 в Европу сделана, причем, похоже, может начаться (начинается?) гонка на опережение потенциальных конкурентов, реальных и/или мнимых. Каким образом реализовать эту ставку? Ответ для авторов очевиден – производить H_2 в России (в первую очередь «зеленый», методом электролиза, но можно и «голубой», из природного газа) и транспортировать его в ЕС по существующей ГТС. А.Б. Чубайс неоднократно заявляет: «Специалисты в один голос говорят: действующая единая ГТС пригодна для того, чтобы, по крайней мере, 10% от пропускных мощностей использовать для транспорта H_2 . Без глубокой модернизации ГТС». [23] Ряд экспертов, преимущественно «политологов», предлагают для начала перевести на транспортировку H_2 или МВС «Северный поток – 2», а затем, быть может, построить под H_2 третий, а то и четвертый «Северные потоки» (например, серия публикаций зам. директора Института Европы РАН В.Б. Белова [27-29]). Другие (например, Карасевич В.А. и Родичкин И.Г.) считают, что «подмешивание 5-10% H_2 к метану приведёт к положительному имиджевому эффекту для газопровода «Северный поток-2», вызванному, в том числе, более низким углеродным следом от МВС по сравнению с метаном» [30]. А некоторые «профильные специалисты» так и вообще не видят разницы между транспортировкой H_2 и метана. По мнению член-корр. РАН и декана факультета международного энергетического бизнеса РГУ

нефти и газа им. Губкина Е.А. Телегиной, «инфраструктура транспортировки газа легко переделывается под транспортировку водорода «Северный поток-2», действующая система может быть достаточно легко трансформирована в транспорт водорода... транспортная инфраструктура легко может быть трансформирована технологически, потому что это тот же газ под давлением, который идет по трубопроводным системам». [31]

Однако убедительно доказано, что дальний транспорт и хранение H_2 /МВС в газообразном или в сжиженном виде в силу объективных физико-химических причин и нерешенных технических проблем многократно проигрывает по надежности, безопасности и экономичности дальнейму транспорту и хранению природного газа в газообразном состоянии или в виде СПГ. Утверждаю (вместе с известными мне специалистами из Горного Университета в Санкт-Петербурге, Газпрома, профильных институтов Российской Академии Наук и др.), что дальний транспорт H_2 или МВС по действующей ГТС РФ-ЕС контрпродуктивен по сравнению с транспортировкой сетевого газа.

Как химический элемент H_2 является врагом металлоконструкций (стресс-коррозия, водородное охрупчивание). Физические и объемные характеристики H_2 снижают общую эффективность энергосистемы по сравнению с аналогичными углеводородными решениями. Энергия, получаемая из одного объема H_2 , в 3,5 раза меньше, чем получаемая из метана. А эффективность трубопроводной транспортировки газа напрямую зависит от объема продукции, значит, и от плотности газа. В работе В.С. Литвиненко с коллегами (Горный Университет СПб) [32] показано: с увеличением объемной доли H_2 с 10 до 90% плотность МВС снижается более чем в четыре раза. При этом энергозатраты на сжатие смеси увеличиваются в 8,5 раз при увеличении этой доли в МВС с нуля до 100%. Действующая ГТС может технически принять 10% H_2 , но это приведет к разорительным для страны последствиям по ее глубокой технической модернизации (и линейной части, и компрессорного оборудования), нарушению технической целостности, контрактным проблемам.

По мнению коллег, из компании «Газпром водород», разбавление дорогого продукта (H_2) в более дешевом газе не формирует оптимальную бизнес-модель, ибо неясно как потом монетизировать доставленный продукт (МВС), поскольку надо строить мощности по выделению H_2 (мембраны и т.д.) на месте его доставки потребителю, соизмеримые по стоимости с производством H_2 непосредственно на месте потребления. К тому же непонятно, зачем удешевлять премиальный продукт (H_2), разбавляя его более дешевым (природным газом). Плюс к тому, оценка углеродного следа по всей цепочке показывает, что использование смеси не очень содействует снижению выбросов, то есть 10% H_2 в МВС ничего значимого не даст в части достижения климатических целей ЕС.

Такая «модернизация» существующей ГТС под H_2 может оказаться сопоставима по масштабам затрат приводя к угрозе СОИ в СССР в 1980-е гг. и ее разорительными последствиями для страны. Как известно, «стратегическая оборонная инициатива» США оказалась в итоге хорошо организованной дезинформационной кампанией, но затраты на противостояние ей оказались в итоге непосильными для уже перегруженной

долговыми обязательствами и неподъемными внутренними затратами страны и лишь экономически ускорили, на мой взгляд, разрушение СССР.

6. Энергопереход на полуправде

Фактическая поддержка водородных концепций ФРГ и ЕС рядом российских специалистов, на мой взгляд, не учитывает тот факт, что последние построены на полуправде. Декарбонизация европейской экономики сопровождается целенаправленным искажением системы координат, в рамках которой формируется общественное сознание в ЕС и принимаются соответствующие политические директивы. Которые затем закрепляются в законодательных актах и задают вектор для долгосрочных капиталоемких инвестиционных решений, определяющих рамки развития на долгие годы. Одним из существенных искажений является сравнение уровня выбросов CO₂ отраслей НВЭР и самого чистого из них – природного газа – и ВИЭ.

В ЕС считается, что природный газ является плохим решением для энергоперехода в принципе, поскольку он содержит молекулы углерода (C), которые неизбежно (при любом раскладе) превращаются в молекулы климатически опасного (вредного) CO₂. Такой подход, однако, отрицает природу НТП, который может как способствовать сокращению эмиссии CO₂ до приемлемого, сопоставимого с другими передовыми технологиями уровня (и снова вопрос: как считать выбросы), так и находить технологические решения, чтобы не допускать образования CO₂. Одно из таких решений – использование пиролизных технологий получения H₂ из природного газа без доступа кислорода и, значит, без выбросов CO₂. Водородная стратегия ЕС, к сожалению, просто игнорирует такие технологии – в ее тексте слово «пиролиз» встречается лишь дважды, причем один раз употребляется неверно (ибо уравнивает ПРМ+CCUS и пиролиз, говоря о неполной (в обоих случаях) утилизации CO₂ на уровне 90%), второй – лишь мельком [13, р. 4].

С другой стороны, утверждается, что, в отличие от природного газа, ВИЭ являются чистыми – более того, единственно чистыми источниками подведенной энергии, ибо не эмитируют парниковых газов в рамках своих производственных циклов. Поэтому произведенный с использованием ВИЭ возобновляемый H₂ также является единственно чистым. И это неверное допущение заложено в Водородную стратегию ЕС – в раздел «Определения» [13, р. 3-4] – как некая уже установленная данность.

В Водородной стратегии ЕС при определении так называемого углеродного следа ВИЭ и возобновляемого H₂ из рассмотрения исключаются материалоемкие (а значит, энергоемкие, сопровождающиеся повышенными выбросами CO₂) отрасли по производству оборудования для производства электроэнергии на основе ВИЭ. А также производство оборудования для производства H₂ (электролизеры) (рис. 5). Это существенно изменяет сравнительную картину кумулятивных выбросов CO₂ за полный производственный цикл различных технологических процессов по производству H₂ (электролиз, ПРМ+CCUS, пиролиз метана) в рамках всей системы принятия политических решений ЕС. При этом электролиз примерно в 4–5 раз (данные Газпрома [33]) или даже в 10 раз (данные BASF [34]) более энергоемкий процесс, чем производство H₂ из природного газа. Поэтому и электролизеров нужно пропорционально больше, и мощностей по

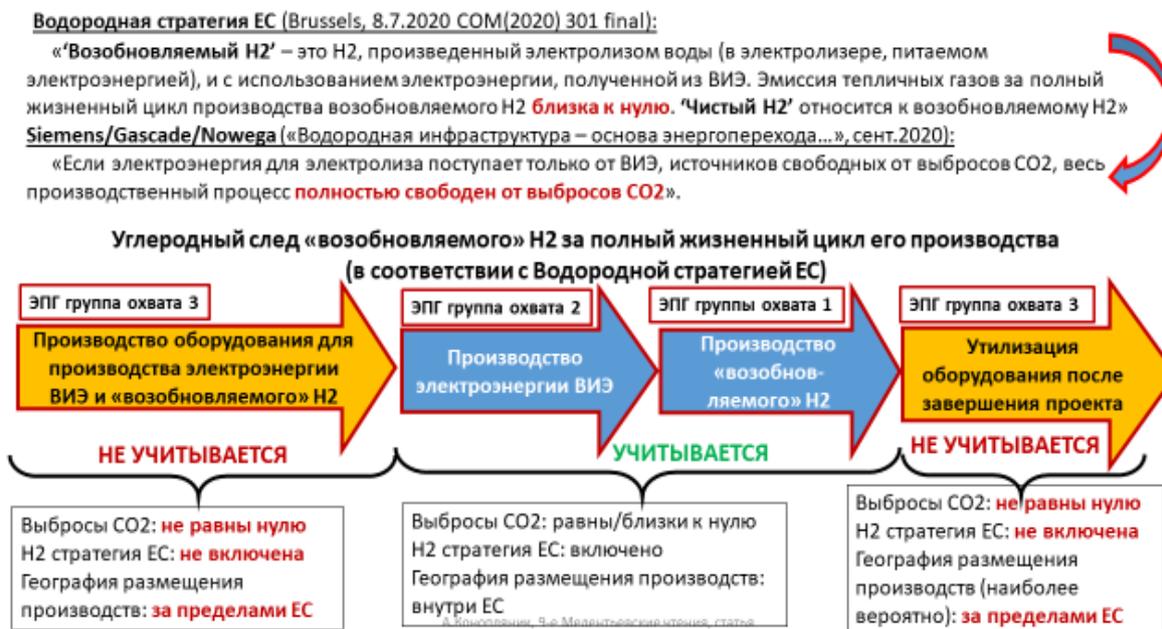


Рис. 5. Что есть «чистая» энергия? Зависит от того, как считать углеродный след... и/или от системы допущений.

производству ВИЭ (особенно с учетом низкого коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) ВИЭ в Европе: в Северной Германии КИУМ ветроустановок на суше составляет 1900 часов/год или 21%, а морского базирования – 4500 часов или 51% [11]). Поэтому производство и тех и других мощностей будет сопровождаться более высокими выбросами. И зеленый, или возобновляемый, H₂ перестает быть чистым.

Таким образом, экологическое преимущество каждого из источников энергии обусловлено тем, как считать выбросы. Если принимать во внимание только прямые выбросы CO₂ при производстве возобновляемого H₂ электролизом воды (так называемая «сфера охвата 1» в рамках эмиссии парниковых газов (ЭПГ)) и при производстве электроэнергии ВИЭ (ветровая, солнечная, гидроэнергия) («сфера охвата 2»), то следует признать экологическую чистоту этих производственных процессов. Если же включать в рассмотрение и производство оборудования для производства электроэнергии ВИЭ и/или зеленого H₂ (первая часть «сферы охвата 3»), то картина радикально меняется. И электроэнергия ВИЭ, и возобновляемый H₂ перестают быть безэмиссионными. И еще радикальнее изменится эта картина, а электроэнергия ВИЭ и возобновляемый H₂ станут еще менее «безэмиссионными», если включить в рассмотрение и стадию ликвидации и утилизации оборудования после завершения срока эксплуатации (жизненного цикла) проекта (вторая часть «сферы охвата 3»).

Неучет выбросов «сферы охвата 3» может существенно изменить всю совокупную картину выбросов и, главное, их учет может превратить (превращает?) все бизнес-процессы, построенные на так называемых

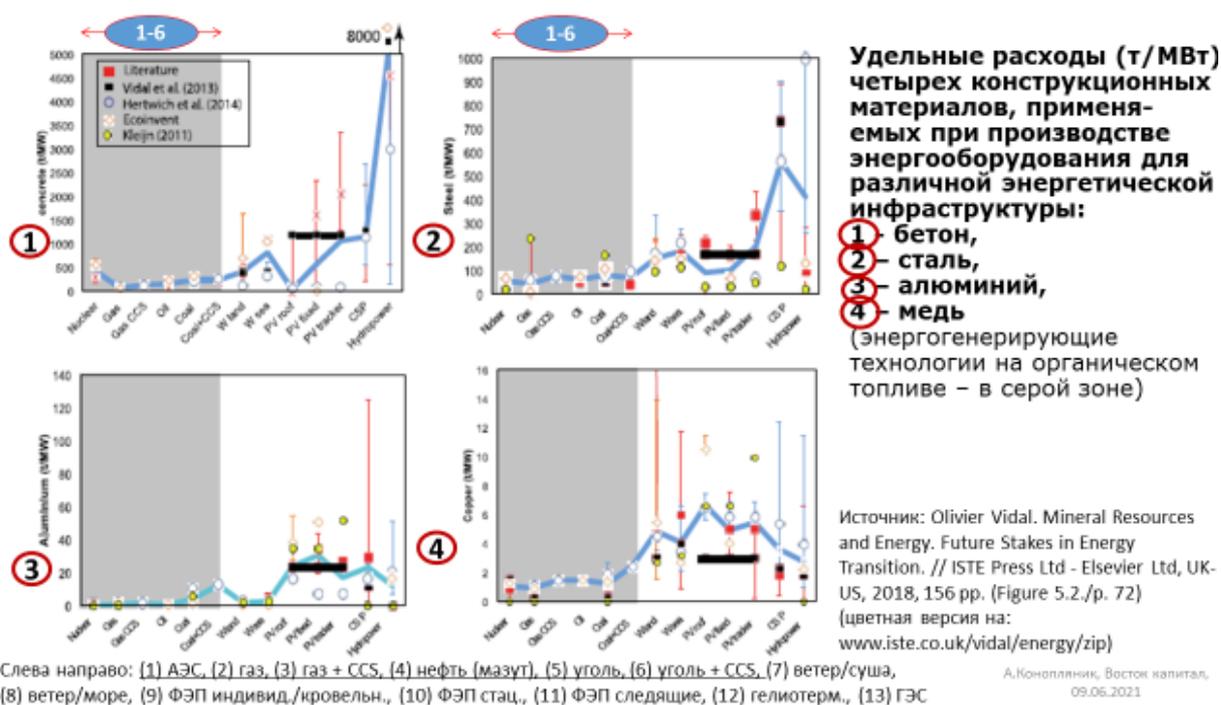


Рис. 6. Удельные расходы (т/МВт) четырех конструкционных материалов, применяемых при производстве энергооборудования для различной энергетической инфраструктуры.

«безэмиссионных» технологиях, в «эмиссионные». Пример компании Apple, которая добровольно предоставила общественности свои данные, показывает, что, как и в случае с возобновляемым H_2 , выбросы в рамках «сфер охвата 1 и 2» у Apple близки к нулю. Однако выбросы в рамках «сферы охвата 3» весьма велики, а внутри этой группы на стадию производства оборудования приходится три четверти выбросов по всем трем «сферам охвата» [35].

В исследовании Оливье Видала [36] обобщены данные по четырем основным конструкционным материалам (цемент, сталь, медь, алюминий) и 13 технологиям производства электроэнергии (из них шесть на основе НВЭР и семь на основе ВИЭ). Показано кратное превышение материалоемкости по всем четырем материалам при производстве оборудования для производства электроэнергии на основе ВИЭ против соответствующих технологий на основе НВЭР: как в расчете на единицу мощности (рис. 6), так и на единицу выработки электроэнергии (рис.7). В случае ГЭС, например, расход цемента на единицу мощности просто зашкаливает.

Таким образом, при корректном научном подходе зеленый, или возобновляемый, H_2 , лишенный прямых выбросов CO_2 , перестает быть «единственно чистым» (как это декларируется в Водородной стратегии ЕС [13]) по сравнению с H_2 из природного газа, особенно пиролизным, на который делает ставку Газпром и при производстве, которого также нет прямых выбросов CO_2 . Однако, увы, искаженная система координат используется для обоснования единственной приемлемости именно «зеленого», или «возобновляемого», (и при этом существенно более дорогого) H_2 как безальтернативного пути декарбонизации ЕС.

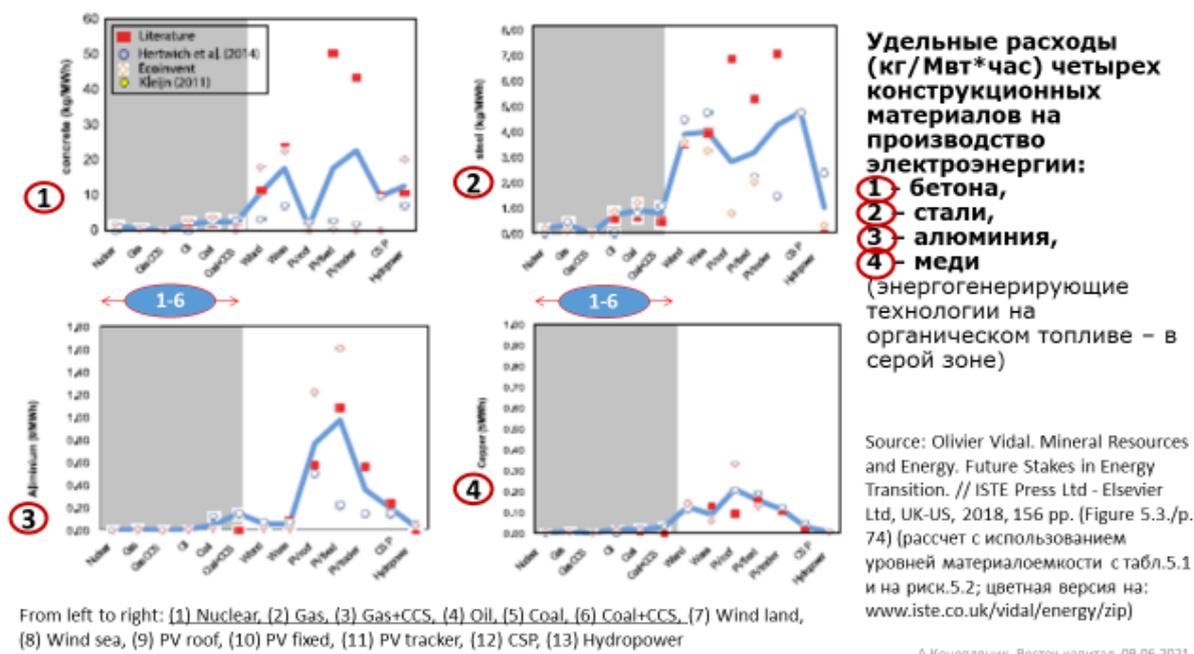


Рис. 7. Удельные расходы (кг/Мвт*час) четырех конструкционных материалов на производство электроэнергии.

Поэтому, на мой взгляд, концепция предлагаемого водородного сотрудничества по лекалам ЕС (или ФРГ) (рис. 1-А) является неприемлемой для России, поскольку построена на полуправде и не отвечает национальным интересам моей страны. В частности, задачам эффективной монетизации ресурсов российского природного газа и существующих производственных активов, в первую очередь трансграничной ГТС Россия–ЕС. Хотя такая концепция, повторюсь, в полной мере отражает национальные интересы ЕС, ФРГ и бизнеса этих стран.

7. Взаимоприемлемая альтернатива: позиция автора

А есть ли альтернатива, построенная на балансе интересов сторон? Утверждаю – есть (рис. 1-Б). На основе существующих наработок, в том числе ПАО «Газпром», предлагаю такую альтернативную концепцию развития сотрудничества России–ЕС в водородной сфере [39-42]. В ее основе – экспорт в ЕС российского природного газа как по существующей ГТС Россия–ЕС, так и в виде СПГ, и производство H_2 внутри ЕС в районах опережающего роста спроса на него («водородные долины») пиролизом метана (или сходными технологиями производства «чистого» H_2 - без прямых выбросов CO_2) по всей Европе или ПРМ+CCS в прибрежных районах Северо-Западной Европы (СЗЕ) (рис. 8).

В случае поставок СПГ на регазификационные терминалы на побережье СЗЕ, а также при поставках сетевого газа по газопроводам «Северного потока», производство H_2 на установках пиролиза или ПРМ вблизи пунктов сдачи-приемки газа может использовать электроэнергию ВИЭ, получаемую с ветропарков морского базирования в Северном море. Выделяемый при ПРМ CO_2 может сжигаться с использованием «энергии холода», выделяемой при

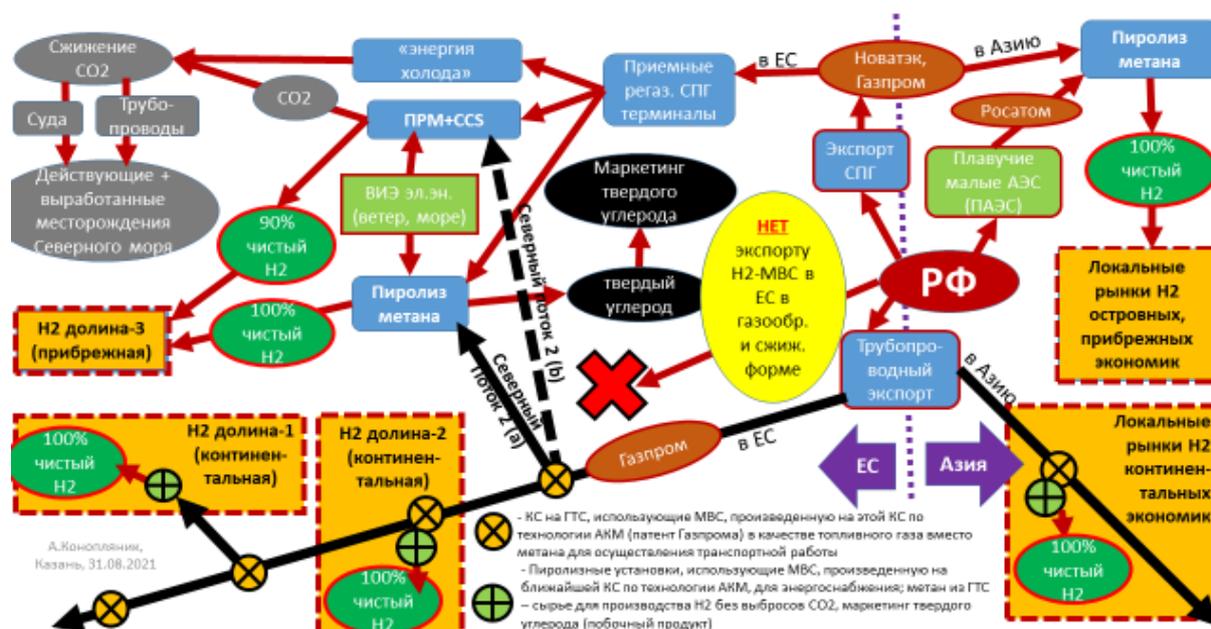


Рис. 8. Альтернативная концепция внешнеэкономического раздела Водородной стратегии РФ на основе чистого H₂ (без выбросов CO₂ при его производстве) из природного газа.

регазификации СПГ, и танкерами или по запущенным в реверсном режиме трубопроводам поставляться для закачки в продуктивные пласты действующих нефтяных месторождений и/или в отработанные залежи на шельфе Северного моря. При производстве H₂ методами пиролиза метана и подобными ему без выбросов CO₂ (первые такие (пилотные) установки должны появиться в России к 2024 г. в соответствии с Планом «Развитие водородной энергетики в РФ до 2024 г.» [37]) возможности для производства H₂ из российского природного газа резко расширяются в континентальной Европе.

В этом случае поставляемый по ГТС Россия–ЕС природный газ будет использоваться по трем направлениям. Во-первых, традиционно, в качестве энергоресурса для совершения транспортной работы. На компрессорных станциях (КС) по маршрутам транспортировки российского газа в ЕС метан будет преобразовываться в МВС (запатентованная Газпромом технология адиабатической конверсии метана [38]), которая будет использоваться на этих же КС в качестве топливного газа (вместо метана) для дальнейшей прокачки газа по сети. По данным Газпрома, это дает уменьшение выбросов CO₂ на КС на треть [38]. Никакого транспорта МВС по ГТС – производство МВС на КС исключительно в объемах, необходимых для собственных нужд данной КС. Во-вторых, в качестве сырья для производства «чистого» (без выбросов CO₂) H₂ из метана. Это новая ниша для российского газа с высоким потенциальным спросом на европейском рынке. Пиролизные установки должны быть расположены вблизи КС и нацелены на удовлетворение локального (а не общеевропейского, чтобы минимизировать потребность в дальней транспортировке водорода) спроса в рамках ближайших «водородных долин» ЕС. Это значит, в основу разработки коммерческих

пиролизных установок должен быть положен модульный принцип их использования – сборка установок (как в конструкторе «Лего») мощностью, адекватной уровню спроса на H_2 в рамках данной «водородной долины». В-третьих, в качестве энергоресурса для производства «чистого» H_2 из природного газа на указанных пиролизных установках. Топливом для газовых турбин соответствующей мощности будет МВС, произведенная в зоне ближайшей КС.

На мой взгляд, именно это является взаимоприемлемым вариантом сотрудничества России и ЕС в сфере водородной энергетики (в части производства «чистого» H_2). Это более дешевый для ЕС вариант декарбонизации. И он обеспечивает дополнительную монетизацию природных ресурсов российского газа. Именно в этом направлении необходимо продолжать работать с коллегами из ЕС.

Статья отражает личную точку зрения автора. Более подробно некоторые положения статьи представлены в работах автора [39-42 и др.] и доступны на его сайте www.konoplyanik.ru.

Список литературы.

1. Мастепанов А.М. Энергетический переход как новый вызов мировой нефтегазовой отрасли // «Энергетическая политика», 31.10.2019. <https://energypolicy.ru/energeticheskijperehodkaknovyjvyz/energetika/2019/14/31/>
2. Как изменится ваша жизнь с приходом ветроэнергетики, 26.08.2019. <https://regnum.ru/news/economy/2699667.html>
3. Дипломатия в контексте глобального энергетического перехода, 15.01.2019. <https://globalenergyprize.org/ru/2019/01/15/diplomatiya-v-kontekste-globalnogo-energeticheskogo-perehoda/>
4. Телегина Е.А., Халова Г.О. Тенденции развития мировой экономики и мировой энергетики в 2001-2018 гг.: вызовы и возможности для России (С. 88–92). – в кн.: Мировая экономика и энергетика: драйверы перемен / Под ред. д.э.н. С.В. Жукова. М.: ИМЭМО РАН, 2020. 90 с.
5. Митрова Т. Четвертый энергопереход: риски и вызовы для России // Ведомости, 01.02.2021. https://www.vedomosti.ru/opinion/articles/2021/01/31/856101chetvertii-energoperehod?utm_campaign=newspaper_1_2_2021&utm_medium=email&%E2%80%A6
6. Еремин С.В. Природный газ в условиях энергетического перехода (С. 57–65). – в кн.: Мировая экономика и энергетика: драйверы перемен / под ред. д.э.н. С.В. Жукова. М.: ИМЭМО РАН, 2020. 57 с.
7. All you need to know on the EU energy market in 2018-2019 in one interview! Interview Klaus-Dieter Borchardt, (Director, DG ENER), by Ilaria Conti (Head of FSR Gas Area), recorded in Brussels on 9th January – on the future of the EU energy market. // Florence School of Regulation, 19.01.2018. <https://fsr.eui.eu/need-know-eu-energy-market-2018-2019-one-interview/>
8. In focus: Hydrogen – driving the green revolution // DG ENERGY, 14.04.2021.

- https://ec.europa.eu/info/news/focus-hydrogen-driving-green-revolution-2021-apr-14_en?pk_campaign=ENER%20Newsletter%20April%202021
9. FT Debate: Is Hydrogen Overhyped.
<https://hydrogen.live.ft.com/agenda/session/488519>
 10. Samuel Furfari. The Hydrogen Illusion // Independently published. 2020. 160 p. P. 17-18.
 11. W. Peters. Accelerated Decarbonisation Commands Ever More Gas // The Gas Value Chain Company, Friedrichskoog, July 2021.
 12. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. № 2162-п
<http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf>
 13. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brussels, 8.7.2020 COM(2020) 301 final
https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
 14. Немецкий и российский бизнес за сотрудничество в области водорода // Российско-Германская внешнеторговая палата
<https://russlandmeister.ru/ru/novosti/nemeckijirossijskijbizneszasotrudnichestvo-v-oblasti-vodoroda>
 15. Россия станет ключевым игроком в сфере водородных технологий // Российско-Германская внешнеторговая палата
<https://russlandmeister.ru/ru/novosti/rossiya-stanetklyuchevymigrokom-v-sfere-vodorodnyh-tehnologij>
 16. ВТП выступает за партнерство РФ и ФРГ в сфере водородной энергетики // Российско-Германская внешнеторговая палата
<https://russlandmeister.ru/ru/novosti/vtp-vystupaet-za-partnerstvo-rf-i-frg-v-sfere-vodorodnoj-energetiki>
 17. Саудовская Аравия формирует водородный альянс с Германией, 12.08.2021 <https://tgstat.ru/channel/@daytec/30364>
 18. Memorandum of Understanding for German-Moroccan hydrogen initiative signed // Kooperation International, 30.07.2021
<https://www.kooperationinternational.de/aktuelles/nachrichten/detail/info/memorandum-of-understanding-forgermanmoroccanhydrogeninitiative-signed/>
 19. S.R.K. Bhagvat, M. Olczak. Green Hydrogen: Bridging the Energy Transition in Africa and Europe // Africa-EU Energy Partnership, Florence School of Regulation, European University Institute, September 2020. 33 p. https://africa-eu-energy-partnership.org/wp-content/uploads/2020/10/AEEP_Green-Hydrogen_Bridging-the-Energy-Transition-in-Africa-and-Europe_Final_For-Publication.pdf
 20. The National Hydrogen Strategy // German Federal Government, 10.06.2020
<https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/the-national-hydrogen-strategy.html>

21. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года (утверждена распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-п)
<http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>
22. Итоги работы Минэнерго России и основные результаты функционирования топливно-энергетического комплекса в 2020 годы. Задачи на 2021 год и среднесрочную перспективу. 12 апреля 2021 г.
<https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/20322/154219>
23. Чубайс рассказал о перспективах экспорта российского водорода. Новости от 03.06.2021.
https://piter.tv/event/Chubajs_rasskazal_o_perspektivah_eksporta_rossijskogo_vodoroda/
24. Чубайс назвал два главных процесса в экономике в ближайшие 10 лет. 08.07.2021.
https://piter.tv/event/Chubajs_nazval_dva_glavnih_processa_v_ekonomike_v_blizhajshie_10_let_/
25. А. Чубайс. Россия в глобальном энергопереходе: оценка рисков и описание возможностей. Выступление на Семинаре «Механизмы государственного углеродного регулирования: каковы возможные последствия для российской экономики?», Москва, ЦЭНЭФ, 26 июля 2021.
<https://www.youtube.com/watch?v=XAI7GawS8OA&feature=youtu.be>
26. Чубайс боится проиграть Украине в борьбе за водородную энергетику // Репортер, 09.07.2021. <https://topcor.ru/20661-chubajs-boitsja-proigrat-ukraine-v-borbe-za-vodorodnuju-jenergetiku.html>
27. В.Б. Белов. Водородная энергетика – новая ниша российско-германской кооперации // Институт Европы РАН, Аналитическая записка №37 (220), 2020.
<http://www.instituteofeurope.ru/images/uploads/analitika/2020/an220.pdf>
28. S. Cowan. In Russia, they started talking about Nord stream-3 // «Free news», 04.10.2020. <https://freenews.live/in-russia-they-started-talking-about-nord-stream-3/>
29. В. Белов. Новые водородные стратегии ФРГ и ЕС: перспективы кооперации с Россией // Современная Европа. 2020. № 5. С. 65–76.
<http://www.sov-europe.ru/2020-5.html>
30. Карасевич В.А., Родичкин И.Г. «Северный поток – 2» для водорода. Оценка возможности использования магистральных газопроводов для экспорта водорода из России в ЕС // «Нефтегазовая Вертикаль». 2021. № 9-10. С. 101-107.
<http://www.ngv.ru/upload/iblock/f73/f73855ed8d22460c573c84217c22f493.pdf>
31. А. Серова, М. Юшков, В. Полякова. Эксперты оценили возможность поставлять водород через «Северный поток-2» // РБК, 13.07.2021
<https://www.rbc.ru/business/13/07/2021/60ed0d279a79472cc5a03d8f>
32. В.С. Литвиненко, П.С. Цветков, М.В. Двойников, Г.В. Буслаев. Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития

- глобальной энергетики // Записки Горного Института. 2020. Т. 244. С. 428-438. DOI:10.31897/PMI.2020 4.5
33. PJSC Gazprom's Proposals for the Roadmap on the EU Hydrogen Strategy (discussion paper), June 2020. <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12407-A-EU-hydrogen-strategy/F523992>
 34. Dr. Andreas Bode (Program leader Carbon Management R&D). New process for clean hydrogen. // BASF Research Press Conference on January 10, 2019. <https://www.basf.com/global/en/media/events/2019/basf-research-press-conference.html>
 35. What are Scopes 1, 2 and 3 of Carbon Emissions? // Plan A Academy, 12.08.2020. <https://plana.earth/academy/what-are-scope-1-2-3-emissions/>
 36. Olivier Vidal. Mineral Resources and Energy. Future Stakes in Energy Transition. // ISTE Press Ltd. Elsevier Ltd, UK-US. 2018. 156 p. (Figure 5.2./p. 72; Figure 5.3./p. 74) www.iste.co.uk/vidal/energy.zip
 37. План мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года». Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. №2634-р. <http://static.government.ru/media/files/7b9bstNfV640nCkkAzCRJ9N8k7uhW8mY.pdf>
 38. Dr. Oleg Aksyutin, Future role of gas in the EU. Gazprom's vision of low-carbon energy future. Presentation at the 33rd round of Informal Russia-EU Consultations on EU Regulatory Topics (Consultations) & 26th meeting of the EU-Russia Gas Advisory Council's Work Stream on Internal Market Issues (GAC WS2), 10.07.2018, Russia, St. Petersburg. <https://minenergo.gov.ru/node/14646>
 39. А. Конопляник. Перспективы взаимодействия РФ и ЕС в сфере декарбонизации. Есть ли возможности для расширения рынка для российского газа в Европе? (часть 1) // «Нефтегазовая вертикаль». Август 2019. № 13. С. 101-105 (часть 1). Сентябрь 2019. №1 4. С. 43-49 (часть 2). Сентябрь 2019. № 15. С. 26-32 (часть 3).
 40. А. Конопляник. Декарбонизация газовой отрасли в Европе и перспективы для России. Чистый водород из природного газа как новая основа для взаимовыгодного сотрудничества РФ и ЕС в газовой сфере. // «Нефтегазовая Вертикаль». 2020. № 16. С. 30-41 (часть 1). № 17. С. 29-38 (часть 2). № 18. С. 50-56 (часть 3). № 19. С. 66-74 (часть 4). № 20. С. 39-45 (часть 5).
 41. A. Konoplyanik. Gas Decarbonisation in Europe: Clean Hydrogen as the New Prospective Area for Russia-EU Cooperation. // OGEL Special Issue on "The Hydrogen Economy", OGEL, February 2021. Vol. 19, issue 2.
 42. А. Конопляник. Водородная энергетика России: альтернативный внешнеэкономический сценарий. // «Энергетическая политика», 2021, № 3 (157), с. 20-32.