

Экспортно-ориентированное развитие водородной энергетики и декарбонизация газовой отрасли: о развилике для ТЭК РФ на фоне «Зеленого курса» Европейского Союза

Андрей А. Конопляник, д.э.н., профессор,

Советник Генерального директора, ООО «Газпром экспорт»,

Соруководитель Рабочей группы 2 «Внутренние рынки» Консультативного совета Россия-ЕС по газу,

гл.н.с. Института проблем нефти и газа РАН,

Член Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике

Выступление на Международной научно-практической конференции «Решение Европейского союза о декарбонизации и новая парадигма развития топливно-энергетического комплекса России» в рамках Татарстанского Нефтегазохимического Форума – 2021, Казань, 31 августа - 1 сентября 2021 года, онлайн

Заявление об ограничении ответственности: Взгляды, изложенные в настоящей презентации, не обязательно отражают (могут/должны отражать) и/или совпадают (могут/должны совпадать) с официальной позицией Группы Газпром (вкл. ОАО Газпром и/или ООО Газпром экспорт), ее/их акционеров и/или ее/их аффилированных лиц, **отражают личную точку зрения автора настоящей презентации и являются его персональной ответственностью.**

Краткое содержание выступления (summary)

- Водородная стратегия ЕС построена на полуправде. В рамках искаженной системы координат «возобновляемый» H₂, получаемый электролизом воды с использованием электроэнергии ВИЭ, считается в ЕС единственно чистым, что не соответствует действительности. ЕС учитывает только две «группы охвата» выбросов при производстве «зеленого» H₂, где действительно нет прямых выбросов CO₂. И не учитывает третью «группу охвата», где все эти выбросы сконцентрированы, причем в повышенном объеме. Поэтому зеленый H₂ необоснованно ставится в привелигированное положение в ЕС, а остальные технологии (H₂ из природного газа, в том числе без прямых выбросов CO₂) дискриминируются и/или игнорируются. Цель – создание мирового рынка «зеленого» H₂ и технологий на основе Евро.
- России мягко навязывается концепция водородного сотрудничества с ЕС, построенная на разорительно-затратной и контрпродуктивной модели, которая де facto рассматривает Россию как рынок сбыта электролизеров и оборудования ВИЭ «Сделано в ЕС/Германии». Предлагается производить H₂ в России (на базе избыточных мощностей ГЭС и АЭС и мощностей по газодобыче) и поставлять его в ЕС по существующей ГТС, которая не приспособлена для транспортировки H₂/MBC, несмотря на многие заявления (в ЕС и в РФ) противоположного толка. Такой подход разрушит целостность ГТС РФ (прецедент СОИ).
- Однако Правительство РФ с подачи Минэнерго активно продвигает именно такую модель водородного сотрудничества, нацеленную на все более и более амбициозные планы по экспорту H₂ без каких-либо обоснований.
- Автор предлагает альтернативный вариант развития водородного сотрудничества с ЕС, построенный на сохранении экспорта природного газа в ЕС и производстве H₂ внутри ЕС в «водородных долинах» ЕС в объемах, необходимых этим локальным очагам потребления H₂ в ЕС, на основе коммерциализуемых совместно с партнерскими компаниями ЕС технологий производства H₂, в первую очередь – пиролизной группы (из природного газа без прямых выбросов CO₂). «Дорогу осилит идущий!»

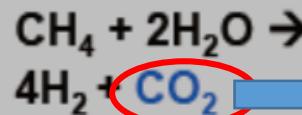
При прочих равных условиях, пиролиз метана (и сходные технологии: без доступа O₂ и выбросов CO₂) имеют конкурентное преимущество против: (1) электролиза как ключевого и (2) ПРМ+CCS как временного/вспомогательного направления производства H₂ в ЕС

Допускается в Водородной стратегии ЕС в качестве временного решения

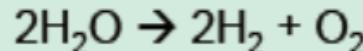
CCS необходим! => дополнительные вмененные затраты (CAPEX + OPEX) => +20-30% и более (Еврокомиссия: до +100%) => CCS = дополнительный элемент затратной сметы => **УХУДШЕНИЕ** финансируемости

Требуются дополнит. энергетические мощности с более высокой материалоемкостью их производства (дополнит. выбросы CO₂ при производстве оборудования ВИЭ) => решение проблемы высокой стоимостной энергоемкости = использование «избыточной» электроэнергии ВИЭ по нулевой и/или отрицательной цене => это ведет к рваному характеру и удлинению сроков окупаемости инвестиций => **УХУДШЕНИЕ** финансируемости

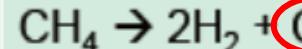
Steam reforming of natural gas



Water electrolysis



Methane pyrolysis



Безусловный долгосрочный приоритет ЕС

Игнорируется в Водородной стратегии ЕС !

CO₂ emissions
in kg CO₂/kg hydrogen



energy demand
in kJ/mol hydrogen*



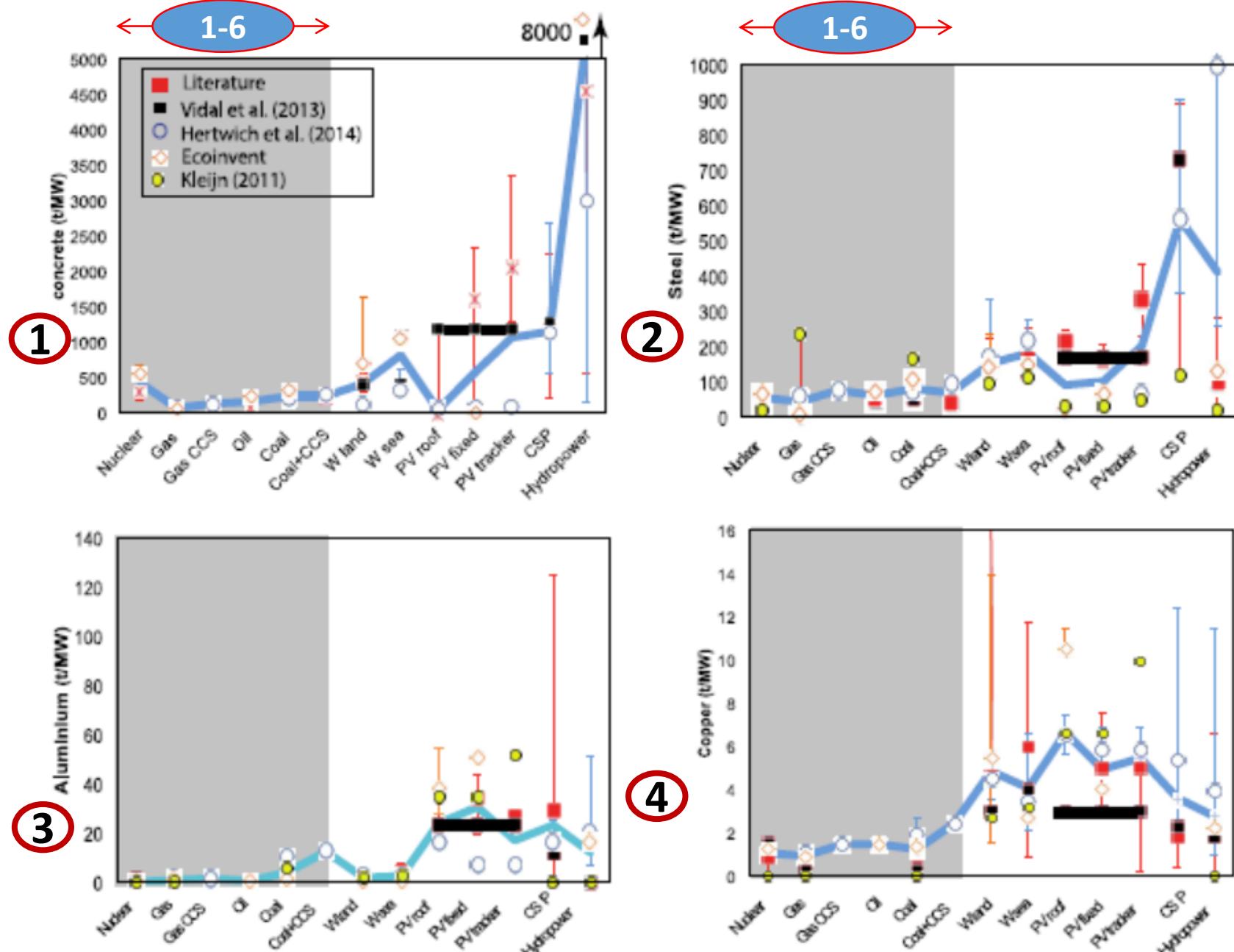
Источник:
A.Конопляник на основе: Dr. Andreas Bode (Program leader Carbon Management R&D). New process for clean hydrogen. // BASF Research Press Conference on January 10, 2019 / (<https://www.bASF.com/global/en/media/events/2019/bASF-research-press-conference.html>)

- (1) Нет необходимости в CC(U)S !!! => экономия затрат (CAPEX + OPEX)
(2) Маркетинг твердого углерода = дополнительный элемент доходной сметы => **дешевле** + запуск новых инвестциклов на основе «С»
(3) В случае хранения не обладает негативным эффектом CO₂ для окруж. среды => **УЛУЧШЕНИЕ** финансируемости

**Удельные расходы
(т/МВт) четырех
конструкционных
материалов, применя-
емых при производстве
энергооборудования
для различной
энергетической
инфраструктуры:**

**1 – бетон,
2 – сталь,
3 – алюминий,
4 – медь**
(энергогенерирующие
технологии на
органическом топливе – в
серой зоне)

Источник: Olivier Vidal. Mineral Resources and Energy. Future Stakes in Energy Transition. // ISTE Press Ltd - Elsevier Ltd, UK-US, 2018, 156 pp. (Figure 5.2./p. 72)
(цветная версия на:
www.iste.co.uk/vidal/energy/zip)



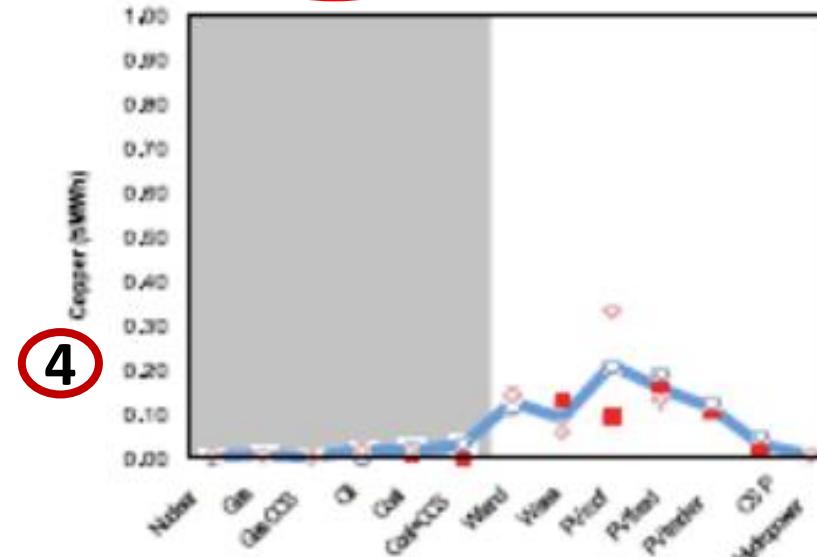
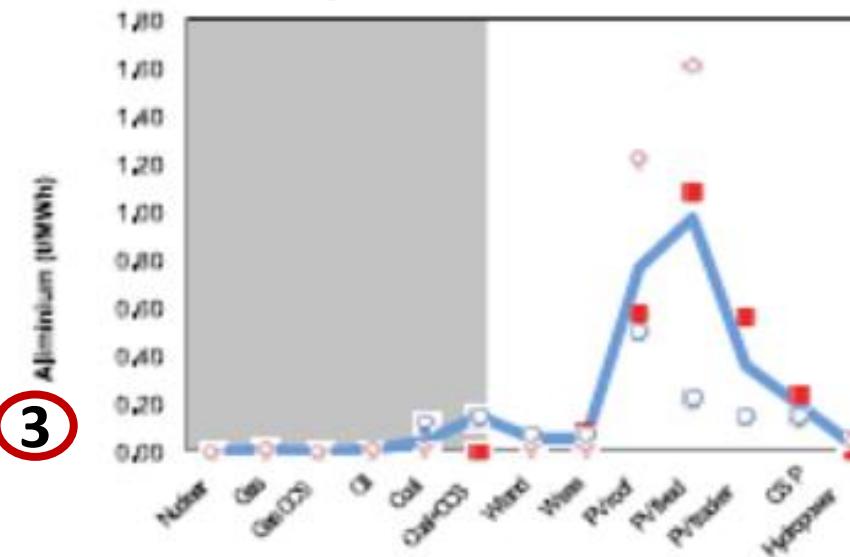
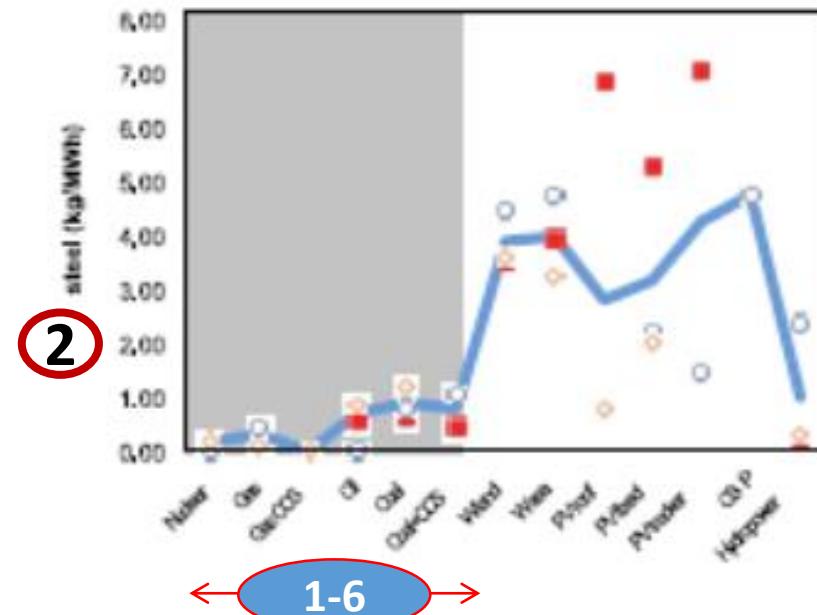
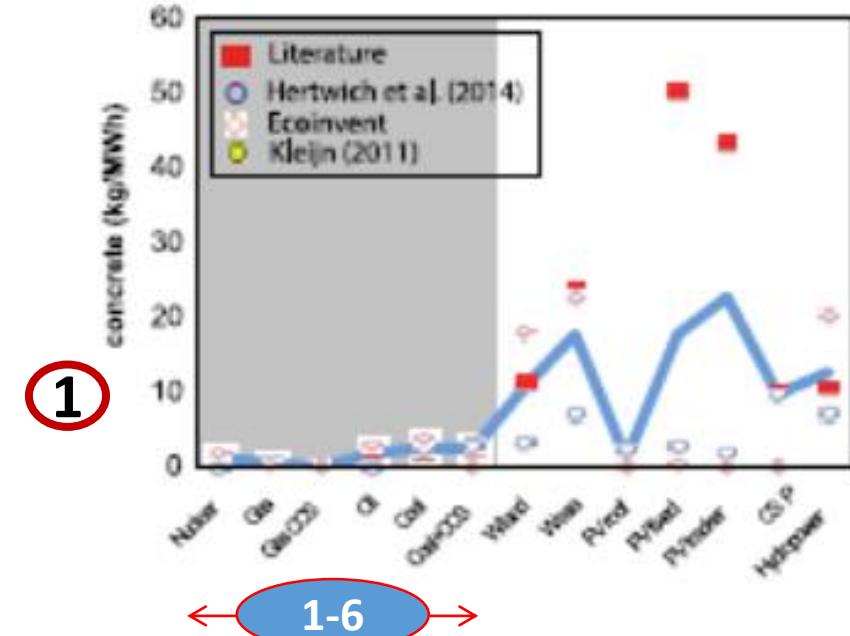
Слева направо: (1) АЭС, (2) газ, (3) газ + CCS, (4) нефть (мазут), (5) уголь, (6) уголь + CCS, (7) ветер/суша,
(8) ветер/море, (9) ФЭП индивид./кровельн., (10) ФЭП стац., (11) ФЭП следящие, (12) гелиотерм., (13) ГЭС

Удельные расходы (кг/Мвт*час) четырех конструкционных материалов на производство электроэнергии:

- 1 - бетона,
- 2 - стали,
- 3 - алюминия,
- 4 - меди

(энергогенерирующие
технологии на
органическом топливе
– в серой зоне)

Source: Olivier Vidal. Mineral Resources and Energy. Future Stakes in Energy Transition. // ISTE Press Ltd - Elsevier Ltd, UK-US, 2018, 156 pp. (Figure 5.3./p. 74) (расчет с использованием уровней материоемкости с табл.5.1 и на риск.5.2; цветная версия на: www.iste.co.uk/vidal/energy/zip)



From left to right: (1) Nuclear, (2) Gas, (3) Gas+CCS, (4) Oil, (5) Coal, (6) Coal+CCS, (7) Wind land, (8) Wind sea, (9) PV roof, (10) PV fixed, (11) PV tracker, (12) CSP, (13) Hydropower

Оценки Еврокомиссией издержек производства водорода основными технологиями - и цены на газ



Источник: цены на газ – Газпром экспорт; издержки – Еврокомиссия, Водородная стратегия ЕС (пунктирный контур – проект стратегии, май 2020 г., сплошной контур – окончательный документ, 08.08.2020)

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

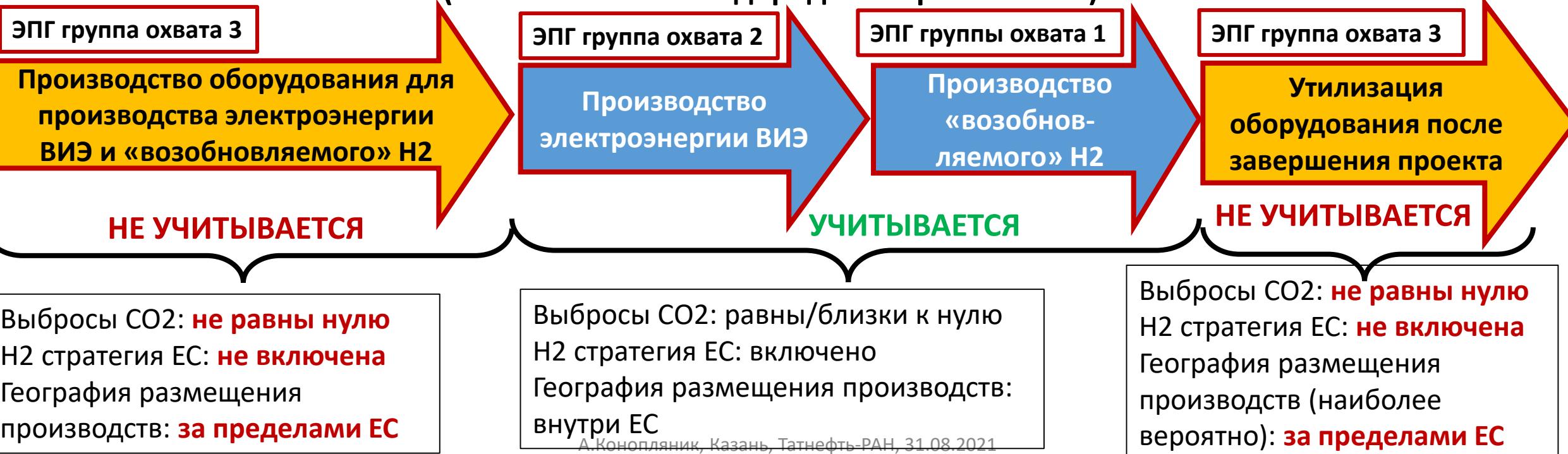
Водородная стратегия ЕС (Brussels, 8.7.2020 COM(2020) 301 final):

«'Возобновляемый H2' – это H2, произведенный электролизом воды (в электролизере, питаемом электроэнергией), и с использованием электроэнергии, полученной из ВИЭ. Эмиссия тепличных газов за полный жизненный цикл производства возобновляемого H2 **близка к нулю**. 'Чистый H2' относится к возобновляемому H2»

Siemens/Gascade/Nowega («Водородная инфраструктура – основа энергоперехода...», сент.2020):

«Если электроэнергия для электролиза поступает только от ВИЭ, источников свободных от выбросов CO2, весь производственный процесс **полностью свободен от выбросов CO2**».

Углеродный след «возобновляемого» H2 за полный жизненный цикл его производства (в соответствии с Водородной стратегией ЕС)



Scope 1

Scope 2

Scope 3

Apple's
carbon
footprint

25.1M metric tons of CO₂e

<1%
Direct emissions

0%
Emissions from electricity

3%
Business travel &
employee commute

<1%
Material recovery

5%
Product transport

14%
Product use

76%
Product manufacturing

Corporate emissions

Product life cycle emissions

Scope of emissions. Apple

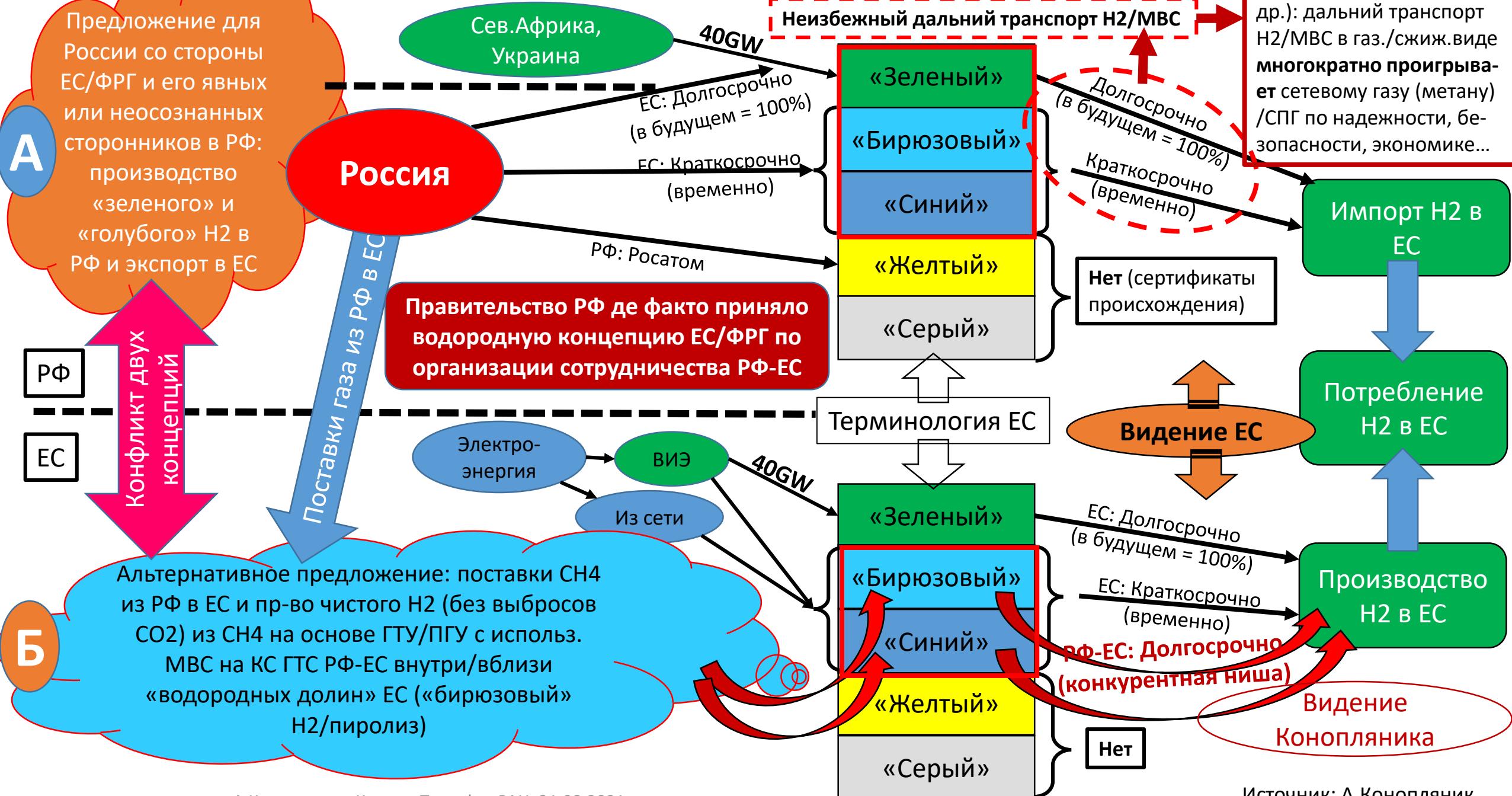
The importance of scope 3 emissions – Apple carbon footprint

Credit: Apple

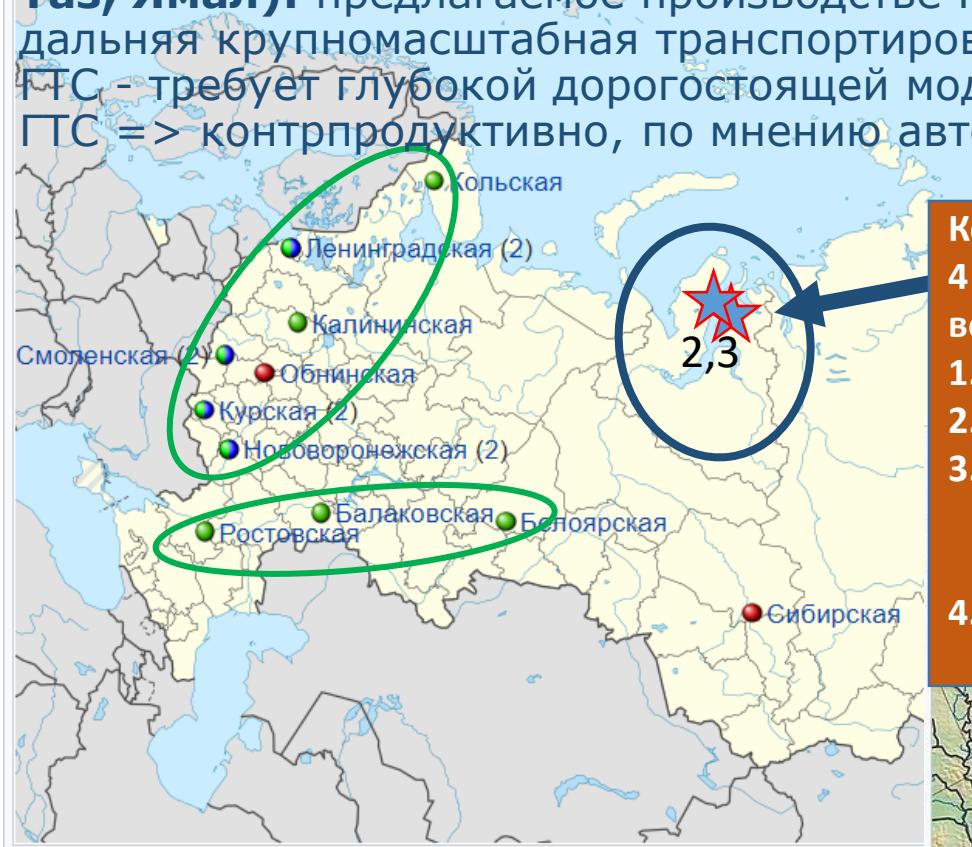
Почему важно учитывать выбросы в рамках всех трех «сфер охвата»?
(Иллюстративный пример на основе данных Apple, добровольно представленных компанией) – прямая аналогия с «зеленым» Н2

Source: What are Scopes 1, 2 and 3 of Carbon Emissions? // PlanA Academy, 12.08.2020 (<https://plana.earth/academy/what-are-scope-1-2-3-emissions/>)

Две концепции сотрудничества РФ-ЕС в области водородной энергетики



География АЭС, ГЭС и основной район газодобычи в России (Надым-Пур-Таз, Ямал): предлагаемое производство Н2 внутри РФ и экспорт его в ЕС - дальняя крупномасштабная транспортировка в виде Н2/МВС по существующей ГТС - требует глубокой дорогостоящей модернизации ГТС => контрпродуктивно, по мнению автора



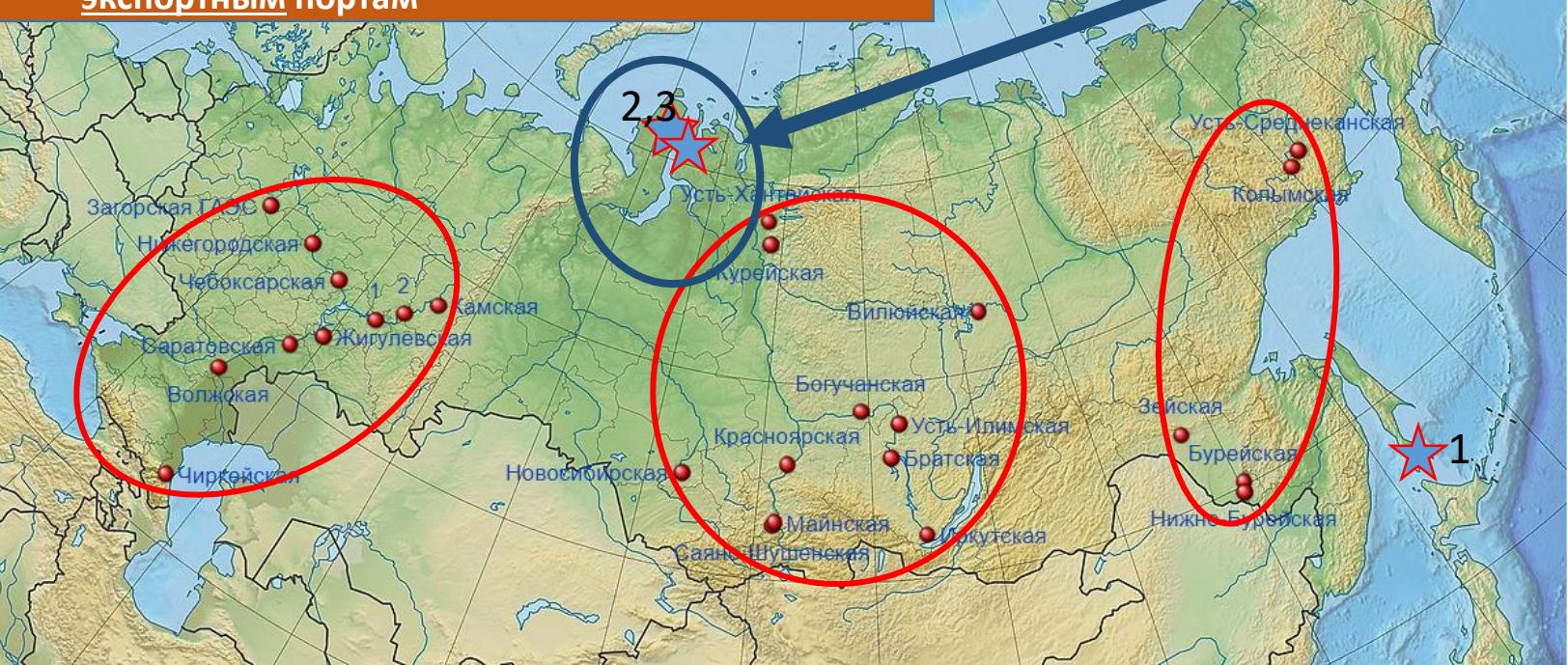
АЭС ГЭС Надым-Пур-Таз и Ямал

★ Действующие кт-СПГ проекты:: (1) Сахалин-2; (2) Ямал СПГ; (3) Арктик СПГ

Источник: <https://www.gazprom.ru/f/posts/15/770293/карта-ямал-ру-2019-12-30.png>;
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная энергетика России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная_энергетика_России);
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Список гидрорэлектростанций России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_гидрорэлектростанций_России);

Концепция Водородной стратегии РФ (09.08.2021) => 4 территориальных экспортно-ориентированных водородных кластера:

1. Северо-Западный: экспорт Н2 в страны ЕС,
2. Восточный: экспорт Н2 в Азию,
3. Арктический: безуглеродные системы энергоснабжения Арктической зоны РФ и/или экспорт Н2 и энергетических смесей на его основе,
4. Южный (на базе ПГ и ВИЭ): близость к экспортным портам



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...

Концепция водородной стратегии РФ, п.18 (05.08.2021): технологии транспортировки и хранения H2, применяемые в настоящее время, недостаточно отработаны в промышленности, имеют неудовлетворительные технико-экономические показатели и приводят к существенному увеличению стоимости H2

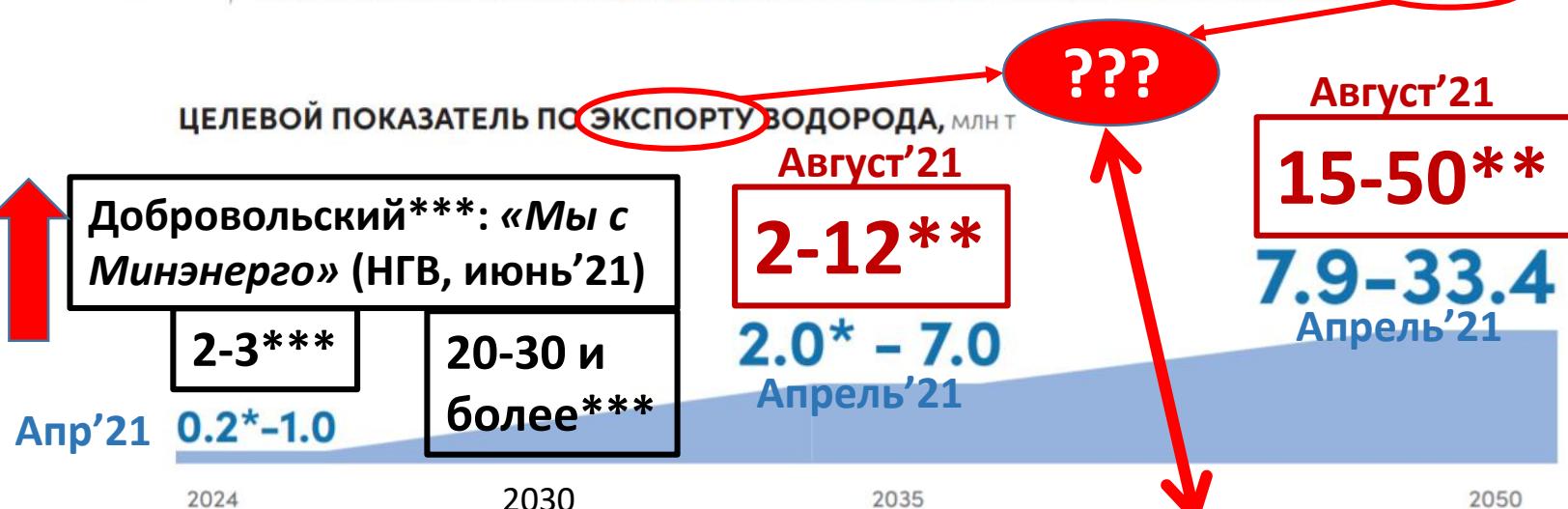
Развитие водородной энергетики

Добровольский (НГВ, июнь'21): «Мы с Минэнерго пытались спрогнозировать будущую картину экспорта, но она очень расплывчата, как и любые прогнозы на отдаленную перспективу. ПО КОНСЕРВАТИВНОМУ ПРОГНОЗУ, уже в 2025 году Россия сможет экспортить 2–3 млн тонн водорода, а к 2030 году эти объемы могут вырасти в десятки раз».

В 2020 году Правительством Российской Федерации утвержден план мероприятий «Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года»

ЦЕЛЬ

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА И РАСШИРЕНИЕ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА в качестве экологически чистого энергоносителя, а также ВХОЖДЕНИЕ РОССИИ В ЧИСЛО МИРОВЫХ ЛИДЕРОВ по его производству и экспорту



Источник:

Базисный слайд: Итоги работы Минэнерго России и основные результаты функционирования ТЭК в 2020 году. Задачи на 2021 год и среднесрочную перспективу. Материалы заседания Коллегии Минэнерго России, 12 апреля 2021 г., слайд 7 (<https://minenergo.gov.ru/system/download-pdf/20322/154219>)

(**) Концепция развития водородной энергетики в РФ. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 5 августа 2021 г. № 2162-р (<http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf>)

(***) Ю.Добровольский. Водороду нужна господдержка. // «Нефтегазовая Вертикаль», июнь 2021, №11-12, с.80-84 (84) (<http://www.ngv.ru/upload/iblock/ad7/ad759fe2657454a1adbe4d7435d1fba3.pdf>)

Это означает производство H2 внутри страны и его дальнюю транспортировку на экспортные рынки (в ЕС, Азию, ???). Каким образом? ГТС - H2/МВС? Жидкий H2?

Физико-химические барьеры для дальнего транспорта водорода (Литвиненко и др.)

Эффективность трубопроводной транспортировки газа напрямую зависит от объема продукции, а значит от плотности газа. Но с увеличением концентрации H_2 в МВС с 10% до 90% плотность смеси снижается в 4,3 раза.

При увеличении объемной доли H_2 в МВС с 10 до 100%, теплота сгорания смеси уменьшается в 3,3 раза, то есть энергия, получаемая из одного объема водорода, в 3,5 раза меньше, получаемой из того же объема метана.

Увеличение требуемой энергии на сжатие 1 кг МВС для повышения давления на 1 МПа: по мере увеличения доли H_2 в смеси с нуля до 100% энергозатраты вырастают в 8,5 раз.

Растет взрывоопасность МВС по мере увеличения объемной доли H_2 .

Если экспорт H_2 в жидкой фазе (сжижается при атм. давлении при минус 253 °C, уменьшается в объеме в 848 раз) по аналогии с СПГ (сжижается при атм. давлении при минус 162 °C, уменьшается в объеме в 600 раз), то: (1) по мере приближения температуры вещества к абсолютному нулю в нем все более начинают проявляться квантовые свойства. А это требует дополнительного изучения для каждого контактирующего с жидким водородом материала; (2) при прочих равных условиях в одном и том же объеме резервуара можно хранить или транспортировать почти в 5,9 раз больше СПГ, чем жидкого H_2 .

Из-за минимального размера молекулы, H_2 обладает чрезвычайно высокой проницаемостью, его молекулы проходят практически через любые металлы, при длительном хранении он способен улетучиваться даже из герметичных резервуаров.

Одна из наиболее критичных проблем - взаимодействие H_2 с металлом трубопровода (процесс водородного охрупчивания). Еще в 1967 году в СССР было сделано открытие «Водородный износ металлов», но реакционная способность водорода еще недостаточно хорошо изучена, хотя ее негативные проявления уже являются большой технической проблемой (стресс-коррозия). Особенно это касается мест стыков конструктивных частей в действующих трубопроводных системах.

Источник: Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики / В.С.Литвиненко, П.С.Цветков, М.В.Двойников, Г.В.Буслаев // записки Горного Института. 2020. Т.244. С.428-438. DOI: 10.31897/RMI.2020.4.5



Взаимодополняемость применения водородных технологий в Европе



Источник: А.Конопляник; штрих-пунктирные линии — по итогам бесед с Ральфом Дикелем; точечно-пунктирные линии — с добавлением Украины и Северной Африки согласно документу «Инициатива 2x40 ГВт» ассоциации «Водородная Европа», вкл. в «Водородную стратегию ЕС» (08.07.2020), приводится в иллюстративных целях с учетом скептицизма автора в отношении дальней транспортировки водорода, произведенного в географических регионах за пределами ЕС; источник карты - Европейская сеть операторов газотранспортных систем (ENTSOG)

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



Производство чистого Н₂ из природного газа внутри ЕС на основе поставок росс. газа по существующей ГТС

- Производство чистого водорода из природного газа у центров спроса на территории ЕС («водородные долины/острова»), расположенных вблизи существующих компрессорных станций (КС) на трансграничной ГТС РФ–ЕС. Использовать природный газ из этой сети:
- в качестве энергоресурса:
 - для совершения транспортной работы: для производства МВС на КС ГТС по маршрутам транспортировки российского газа в ЕС и использования МВС на этих же КС в качестве топливного газа (вместо метана) для дальнейшей прокачки газа по сети. Такое замещение метана на МВС в качестве топливного газа на КС дает уменьшение выбросов СО₂ на КС на треть;
 - для производства чистого водорода из природного газа: на заводах, которые будут (должны быть) построены в непосредственной близости от этих КС в зонах опережающего спроса на Н₂ («водородные долины/острова» ЕС), в масштабах, соответствующих ожидаемому спросу на водород на прилегающей территории этих «долин/островов». Привод газовых (паро-газовых) турбин соответствующей мощности может проходить по той же схеме, что указана в предыдущем пункте, только замещение метана на МВС происходит не для совершения транспортной работы, а для выработки необходимой для производства чистого Н₂ электрической и/или тепловой энергии;
- в качестве сырья:
 - для новых заводов по производству чистого водорода из метана, которые будут расположены вблизи этих КС и нацелены на удовлетворение локального (а не общеевропейского, чтобы минимизировать потребность в дальней транспортировке водорода и в создании новых специализированных транспортных его систем) спроса в рамках ближайших «водородных долин/островов» ЕС.

Благодарю за внимание!

www.konoplyanik.ru
andrey@konoplyanik.ru
a.konoplyanik@gazpromexport.com

Заявление об ограничении ответственности

- Взгляды, изложенные в настоящей презентации, не обязательно отражают (могут/должны отражать) и/или совпадают (могут/должны совпадать) с официальной позицией Группы Газпром (вкл. ОАО Газпром и/или ООО Газпром экспорт), ее/их акционеров и/или ее/их аффилированных лиц, **отражают личную точку зрения автора настоящей презентации и являются его персональной ответственностью.**

Примечание: Исследование осуществляется при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта «Влияние новых технологий на глобальную конкуренцию на рынках сырьевых материалов», проект № [19-010-00782](#)