

# Водородная энергетика России: по какому пути развивать сотрудничество с Европой

**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,

Член Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике,

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

**Выступление на Международной научно-практической конференции «Перспективы развития энергетических систем: декарбонизация экономики, водородная энергетика», организованной ОАО «Татнефтехиминвест-холдинг» при поддержке Президента и Правительства Республики Татарстан, Казань, 31 августа 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.**

# Содержание

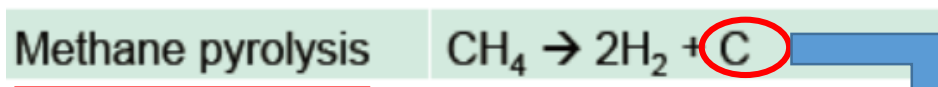
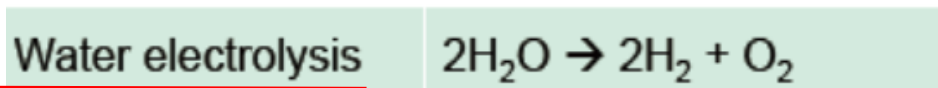
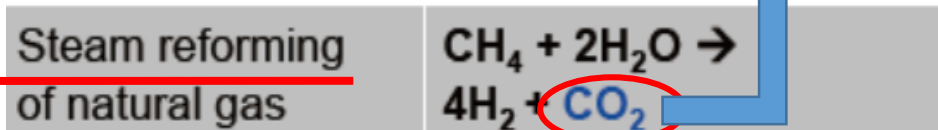
- 1) Водородная стратегия ЕС: энергопереход на полуправде => искаженные «преимущества» и мнимая экологическая исключительность «зеленого/возобновляемого» водорода**
- 2) Два пути развития внешнеэкономического сегмента водородной энергетики России: следовать мягко навязываемой нам европейской концепции, отражающей национальные интересы ЕС/ФРГ, - или отстаивать концепцию водородного сотрудничества, построенную на балансе интересов сторон?
- 3) Правительственная концепция развития водородной энергетики России – почему по европейской модели?
- 4) Альтернативная концепция, построенная на балансе интересов сторон, неискаженной системе аргументов и принципе технологической нейтральности: удешевляет декарбонизацию ЕС, повышает монетизацию ресурсов российского газа, ведет к повышению благосостояния граждан РФ и ЕС

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

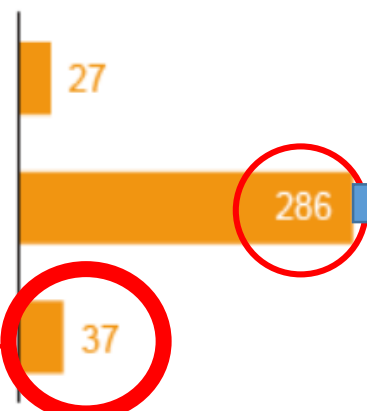
Требуются дополнит. энергетические мощности с более высокой материалоемкостью их производства (дополнит. выбросы CO2 при производстве оборудования ВИЭ) => решение проблемы высокой стоимостной энергоемкости = использование «избыточной» электроэнергии ВИЭ по нулевой и/или отрицательной цене => это ведет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



CO<sub>2</sub> emissions in kg CO<sub>2</sub>/kg hydrogen



energy demand in kJ/mol hydrogen\*



Источник: А.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>)

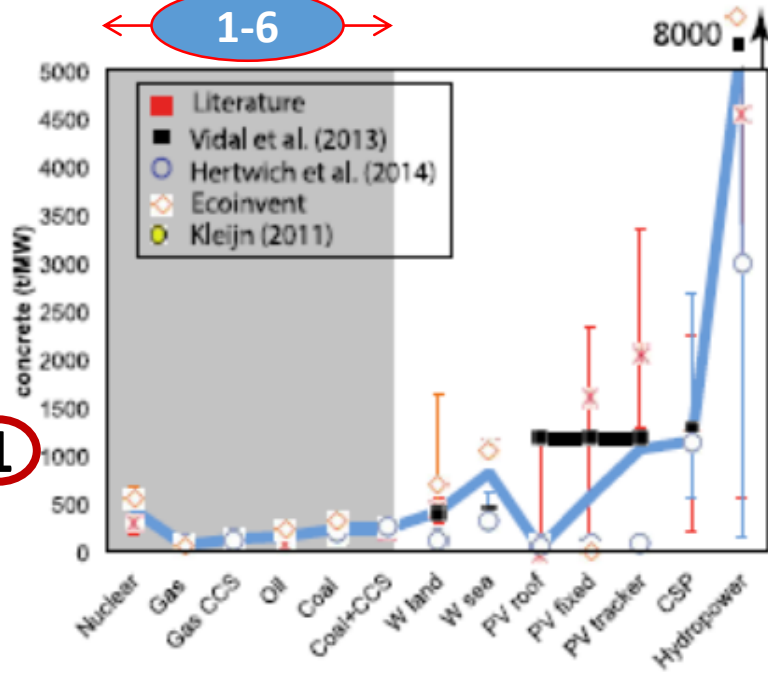
Безусловный долгосрочный приоритет ЕС

Игнорируется в Водородной стратегии ЕС!

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

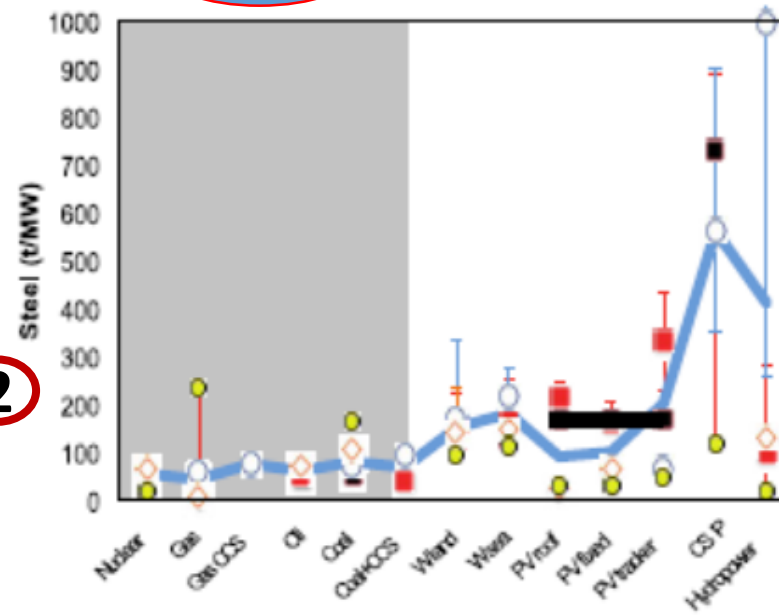
1-6

1

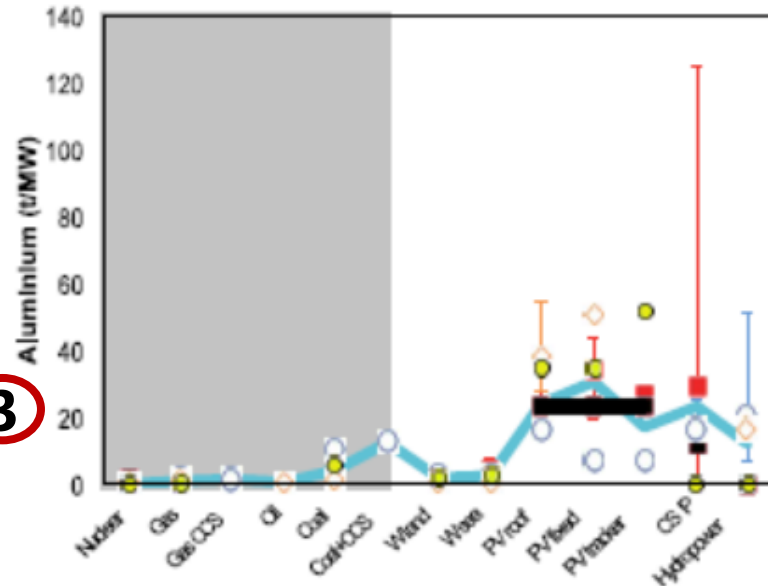


2

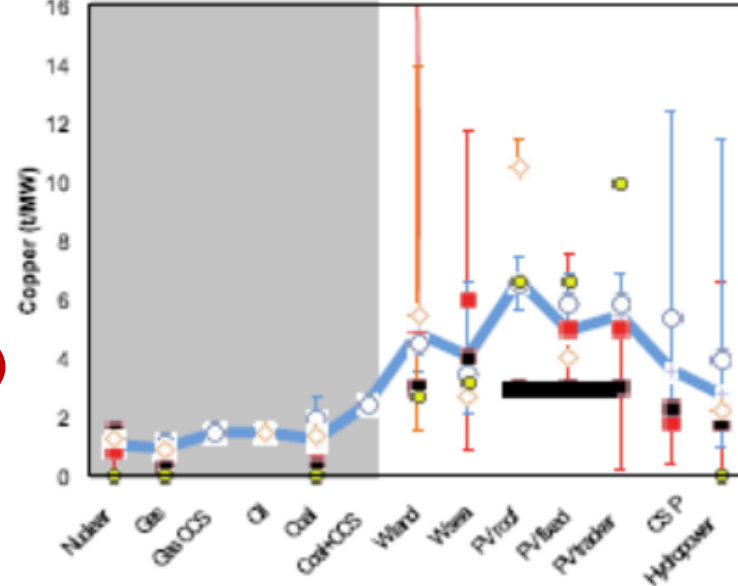
1-6



3



4



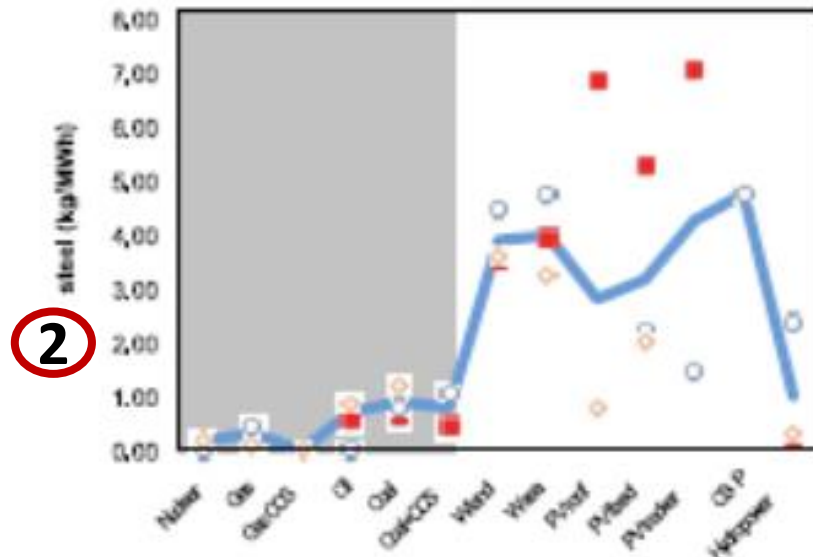
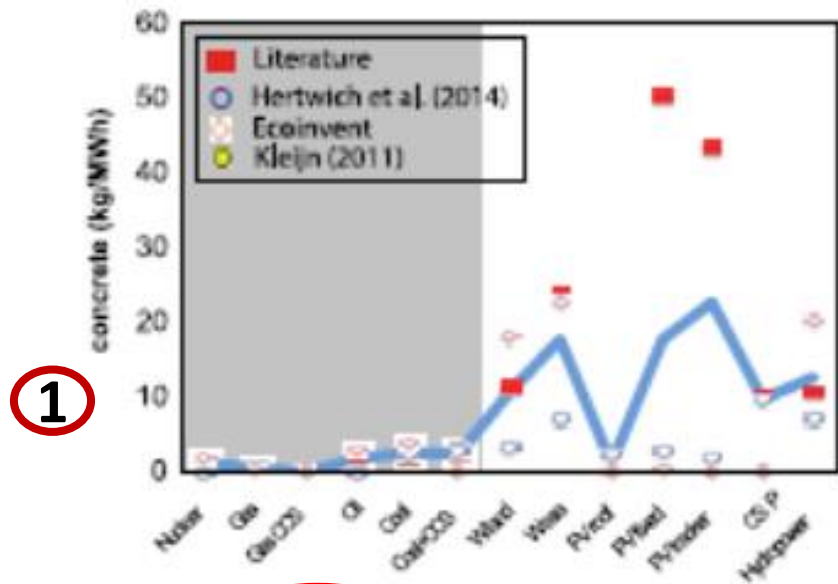
**Удельные расходы (т/МВт) четырех конструкционных материалов, применяемых при производстве энергооборудования для различной энергетической инфраструктуры:**

- 1 - бетон,
- 2 - сталь,
- 3 - алюминий,
- 4 - медь

(энергогенерирующие технологии на органическом топливе – в серой зоне)

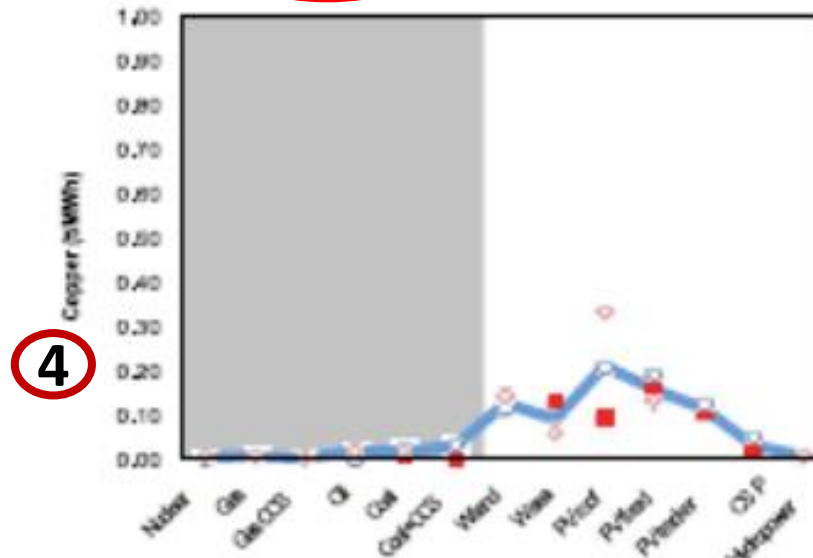
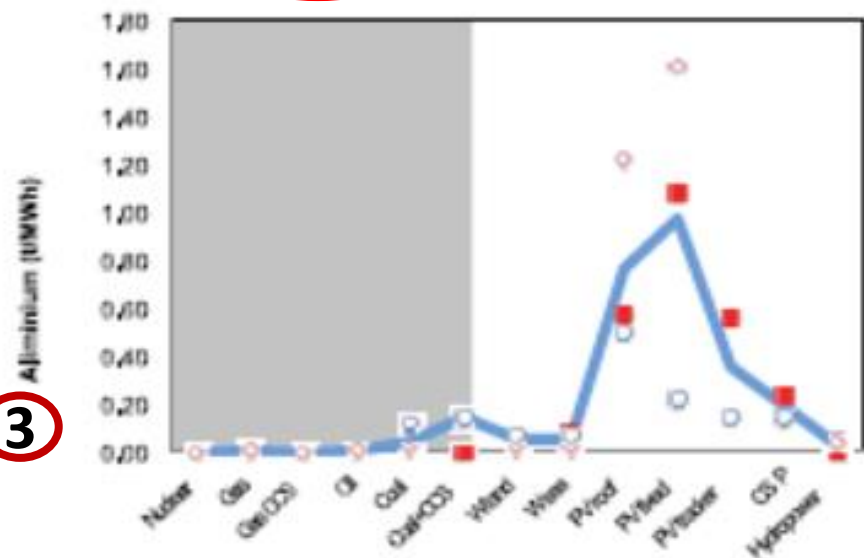
Источник: Olivier Vidal. Mineral Resources and Energy. Future Stakes in Energy Transition. // ISTE Press Ltd - Elsevier Ltd, UK-US, 2018, 156 pp. (Figure 5.2./p. 72)  
(цветная версия на: [www.iste.co.uk/vidal/energy/zip](http://www.iste.co.uk/vidal/energy/zip))

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



1-6

1-6



## Удельные расходы (кг/Мвт\*час)

четырёх 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 материалоемкости с табл.5.1 и на риск.5.2; цветная версия на: [www.iste.co.uk/vidal/energy/zip](http://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)

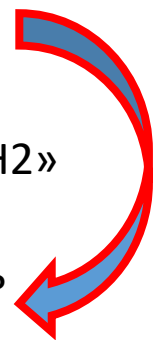
# Что есть «чистая» энергия? Зависит от того, как считать углеродный след... и/или от системы допущений...

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»

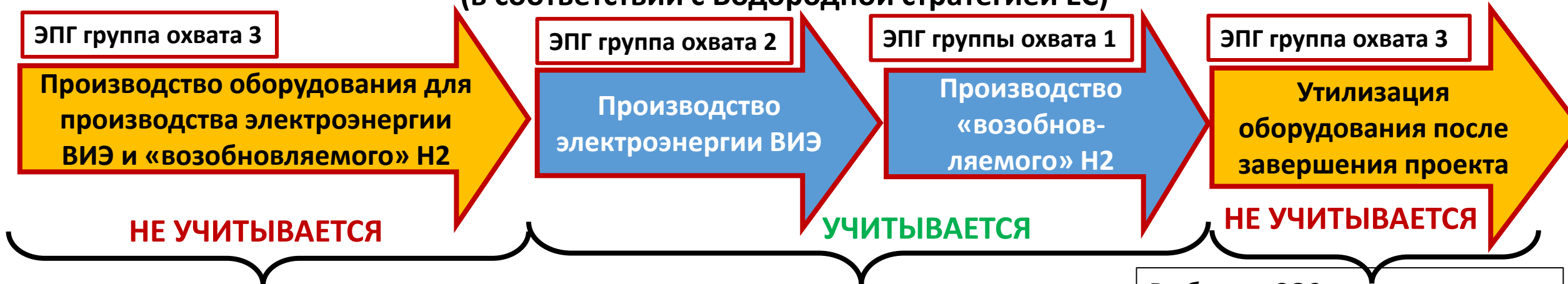
Siemens/Gascade/Nowega («Водородная инфраструктура – основа энергоперехода...», сент.2020):

«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

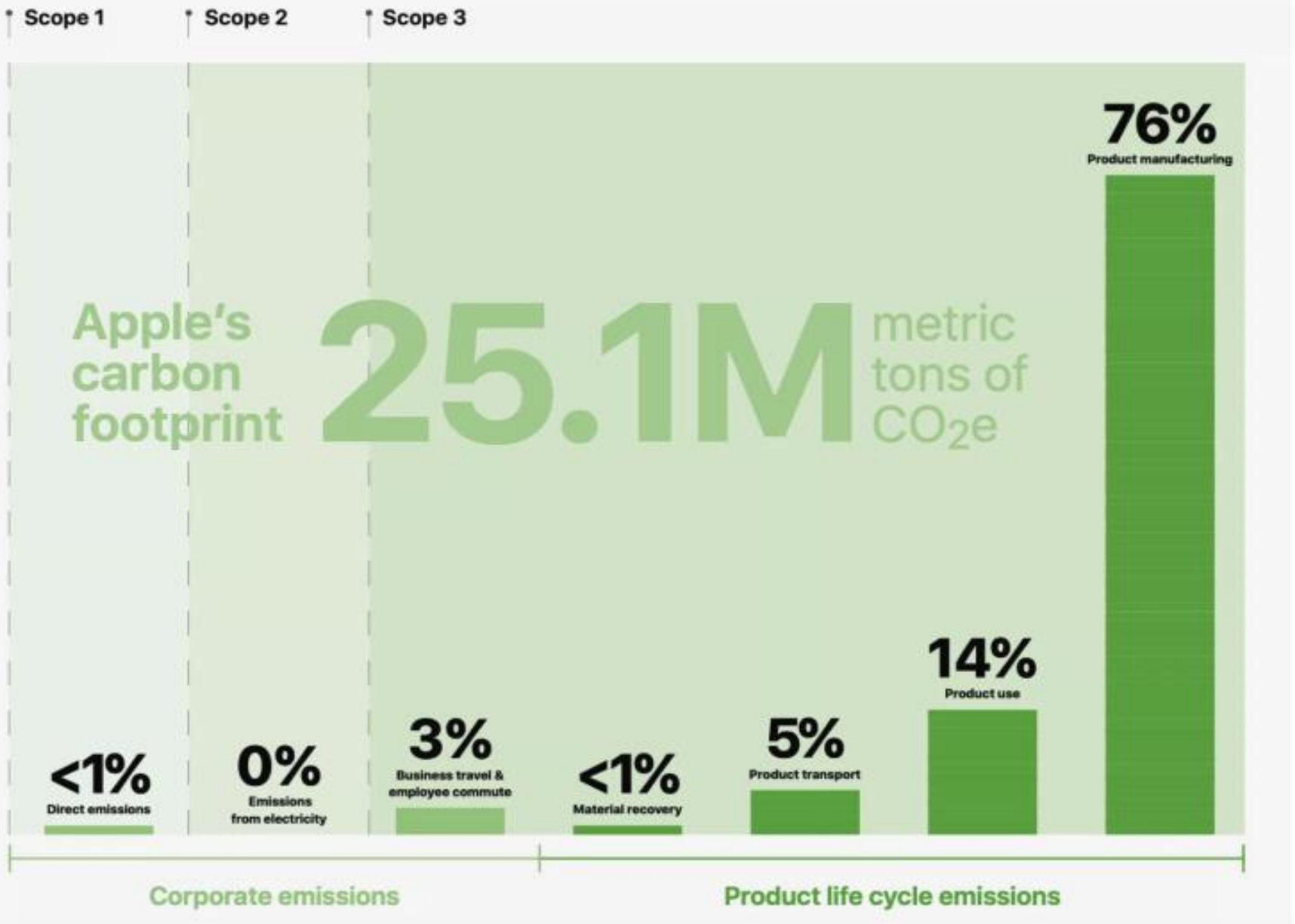
(в соответствии с Водородной стратегией ЕС)



Выбросы CO2: **не равны нулю**  
H2 стратегия ЕС: **не включена**  
География размещения производств: **за пределами ЕС**

Выбросы CO2: равны/близки к нулю  
H2 стратегия ЕС: включено  
География размещения производств: **внутри ЕС**

Выбросы CO2: **не равны нулю**  
H2 стратегия ЕС: **не включена**  
География размещения производств (наиболее вероятно): **за пределами ЕС**



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» H2**

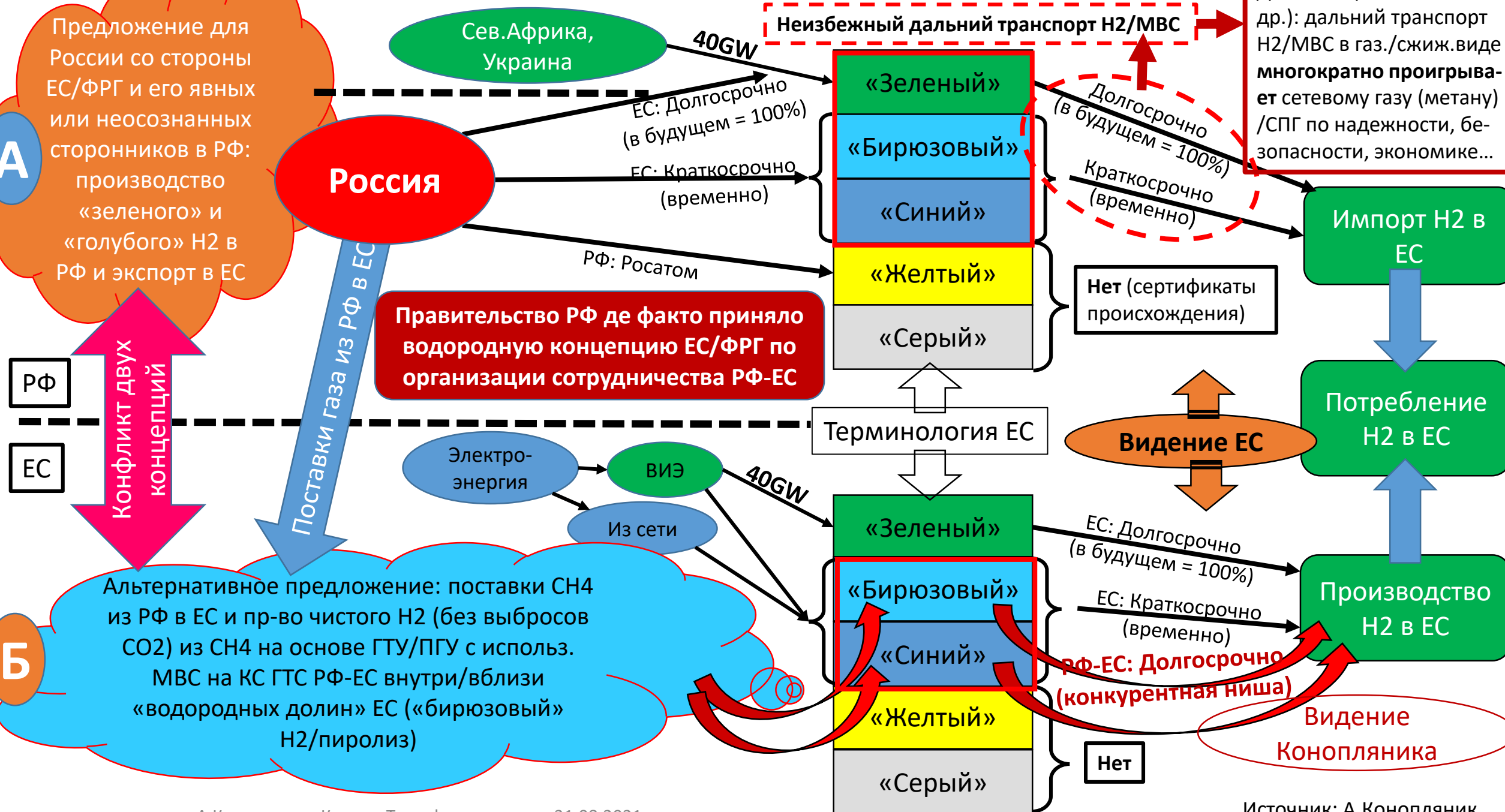
Source: What are Scopes 1, 2 and 3 of Carbon Emissions? // PlanA Academy, 12.08.2020  
(<https://plana.earth/academy/what-are-scope-1-2-3-emissions/>)



# Содержание

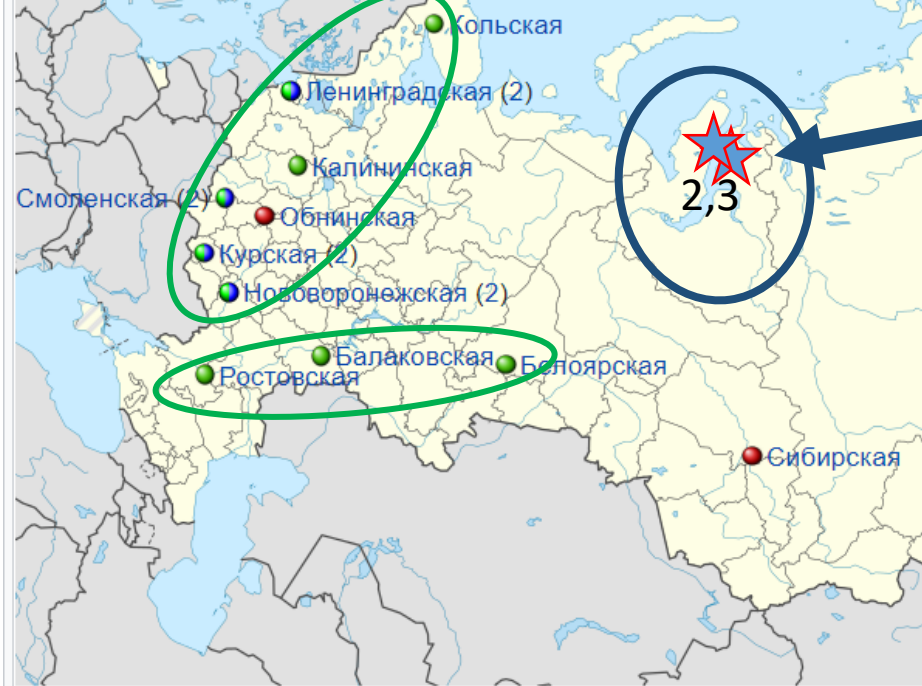
- 1) Водородная стратегия ЕС: энергопереход на полуправде => искаженные «преимущества» и мнимая экологическая исключительность «зеленого/возобновляемого» водорода
- 2) **Два пути развития внешнеэкономического сегмента водородной энергетики России: следовать мягко навязываемой нам европейской концепции, отражающей национальные интересы ЕС/ФРГ, - или отстаивать концепцию водородного сотрудничества, построенную на балансе интересов сторон?**
- 3) Правительственная концепция развития водородной энергетики России – почему по европейской модели?
- 4) Альтернативная концепция, построенная на балансе интересов сторон, неискаженной системе аргументов и принципе технологической нейтральности: удешевляет декарбонизацию ЕС, повышает монетизацию ресурсов российского газа, ведет к повышению благосостояния граждан РФ и ЕС

# Две концепции сотрудничества РФ-ЕС в области водородной энергетики



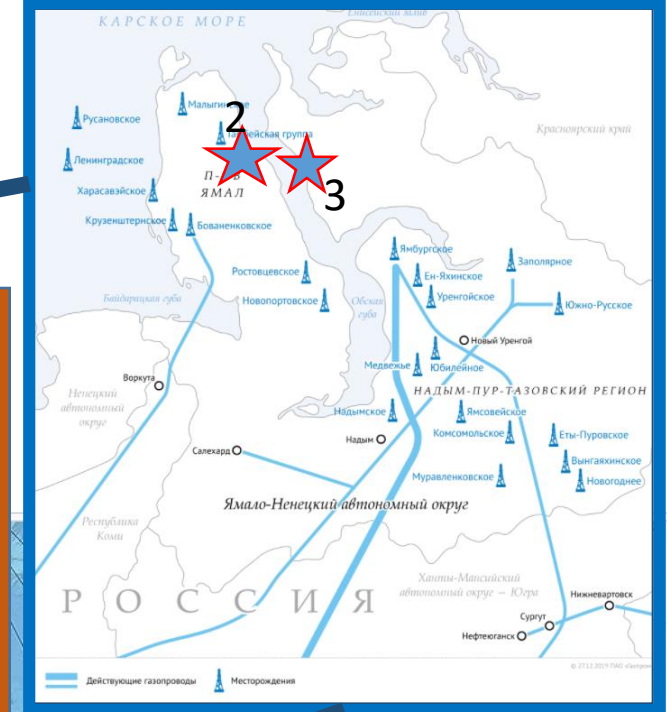


# География АЭС, ГЭС и основной район газодобычи в России (Надым-Пур-Таз, Ямал): предлагаемое производстве H2 внутри РФ и экспорт его в ЕС - дальняя крупномасштабная транспортировка в виде H2/МВС по существующей ГТС - требует глубокой дорогостоящей модернизации ГТС => контрпродуктивно, по мнению автора



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

1. Северо-Западный: экспорт H2 в страны ЕС,
2. Восточный: экспорт H2 в Азию,
3. Арктический: безуглеродные системы энерго-снабжения Арктической зоны РФ и/или экспорт H2 и энергетических смесей на его основе,
4. Южный (на базе ПГ и ВИЭ): близость к экспортным портам



  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/map-yamal-ru-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\\_гидроэлектростанций\\_России](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_гидроэлектростанций_России);  
 А.Конопляник, Казань, Татнефтехиминвест, 31.08.2021

# Содержание

- 1) Водородная стратегия ЕС: энергопереход на полуправде => искаженные «преимущества» и мнимая экологическая исключительность «зеленого/возобновляемого» водорода
- 2) Два пути развития внешнеэкономического сегмента водородной энергетики России: следовать мягко навязываемой нам европейской концепции, отражающей национальные интересы ЕС/ФРГ, - или отстаивать концепцию водородного сотрудничества, построенную на балансе интересов сторон?
- 3) Правительственная концепция развития водородной энергетики России – почему по европейской модели?**
- 4) Альтернативная концепция, построенная на балансе интересов сторон, неискаженной системе аргументов и принципе технологической нейтральности: удешевляет декарбонизацию ЕС, повышает монетизацию ресурсов российского газа, ведет к повышению благосостояния граждан РФ и ЕС



# 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 H<sub>2</sub>, применяемые в настоящее время, недостаточно отработаны в промышленности, имеют неудовлетворительные технико-экономические показатели и приводят к существенному увеличению стоимости H<sub>2</sub>

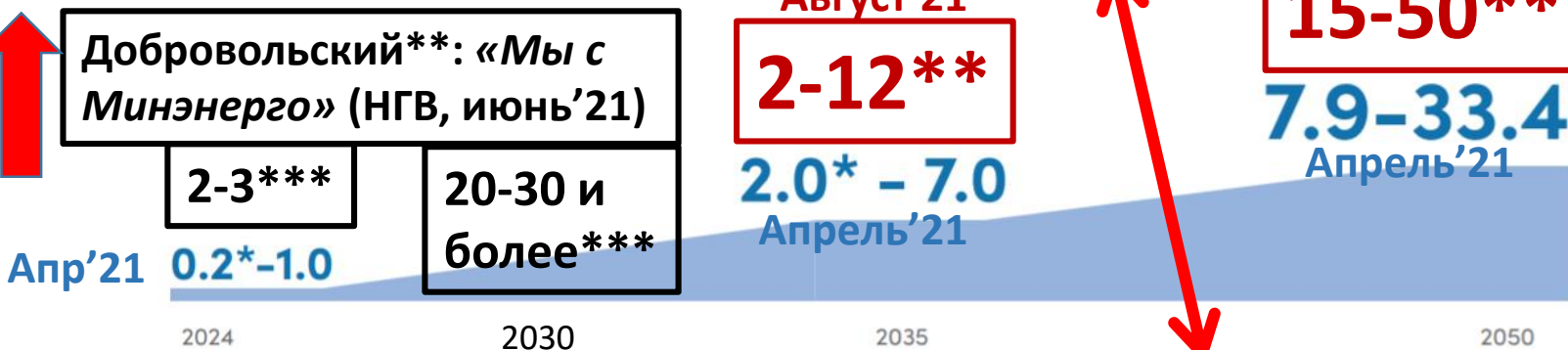
**Добровольский (НГВ, июнь'21):** «Мы с Минэнерго пытались спрогнозировать будущую картину экспорта, но она очень расплывчата, как и любые прогнозы на отдаленную перспективу. ПО КОНСЕРВАТИВНОМУ ПРОГНОЗУ, уже в 2025 году Россия сможет экспортировать 2–3 млн тонн водорода, а к 2030 году эти объемы могут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

## Развитие водородной энергетики

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

ЦЕЛЕВОЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПО **ЭКСПОРТУ ВОДОРОДА**, млн т



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>)

\* А.Конюпляник, Казань, Татарстанский филиал Института Энергетика до 2035 года

**Это означает производство H<sub>2</sub> внутри страны и его дальнюю транспортировку на экспортные рынки (в ЕС, Азию, ???). Каким образом? ГТС - H<sub>2</sub>/МВС? Жидкий H<sub>2</sub>?**



## 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 °С, уменьшается в объеме в 848 раз) по аналогии с СПГ (сжижается при атм. давлении при минус 162 °С, 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 проникаемостью, 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.



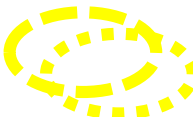



*Источник: Барьеры реализации водородных инициатив в контексте устойчивого развития глобальной энергетики / В.С.Литвиненко, П.С.Цветков, М.В.Двойников, Г.В.Буслаев // записки Горного Института. 2020. Т.244. С.428-438. DOI: 10.31897/PMI.2020 4.5*

# Содержание

- 1) Водородная стратегия ЕС: энергопереход на полуправде => искаженные «преимущества» и мнимая экологическая исключительность «зеленого/возобновляемого» водорода
- 2) Два пути развития внешнеэкономического сегмента водородной энергетики России: следовать мягко навязываемой нам европейской концепции, отражающей национальные интересы ЕС/ФРГ, - или отстаивать концепцию водородного сотрудничества, построенную на балансе интересов сторон?
- 3) Правительственная концепция развития водородной энергетики России – почему по европейской модели?
- 4) **Альтернативная концепция, построенная на балансе интересов сторон, неискаженной системе аргументов и принципе технологической нейтральности: удешевляет декарбонизацию ЕС, повышает монетизацию ресурсов российского газа, ведет к повышению благосостояния граждан РФ и ЕС**

# Взаимодополняемость применения водородных технологий в Европе (видение А.Конопляника)



-  ветровая
-  гидро
-  солнечная
-  ядерная
-  Паровой/автотермический риформинг метана плюс улавливание и захоронение CO2
-  Пиролиз метана, плазмохимический и другие методы производства чистого водорода без выбросов CO2 (с учетом реализации совместных мер, предусмотренных шагами 2 и 3 «Трех-ходовки Аксютин»).  
*Электролиз с использованием различных источников первичной электроэнергии*

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)





# Производство чистого H<sub>2</sub> из природного газа внутри ЕС на основе поставок российского 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 CO<sub>2</sub> 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 H<sub>2</sub> («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 H<sub>2</sub> 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 дальнейшей транспортировке водорода и в создании новых специализированных транспортных его систем) спроса в рамках ближайших «водородных долин/островов» ЕС.



# Благодарю за внимание!

**[www.konoplyanik.ru](http://www.konoplyanik.ru)  
[andrey@konoplyanik.ru](mailto:andrey@konoplyanik.ru)  
[a.konoplyanik@gazpromexport.com](mailto: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](#)*