

"Особенности седьмого энергоперехода и его развилки и взаимоприемлемые внешнеэкономические решения для России"

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

Выступление на Секции 2 «Системные исследования энергетики страны и мира» 9-х Мелентьевских чтений, Иркутск, ИСЭМ СО РАН, 21-22.09.2021, 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**. Информация, используемая для/в настоящей презентации получена исключительно из открытых публичных источников и общеизвестных знаний.

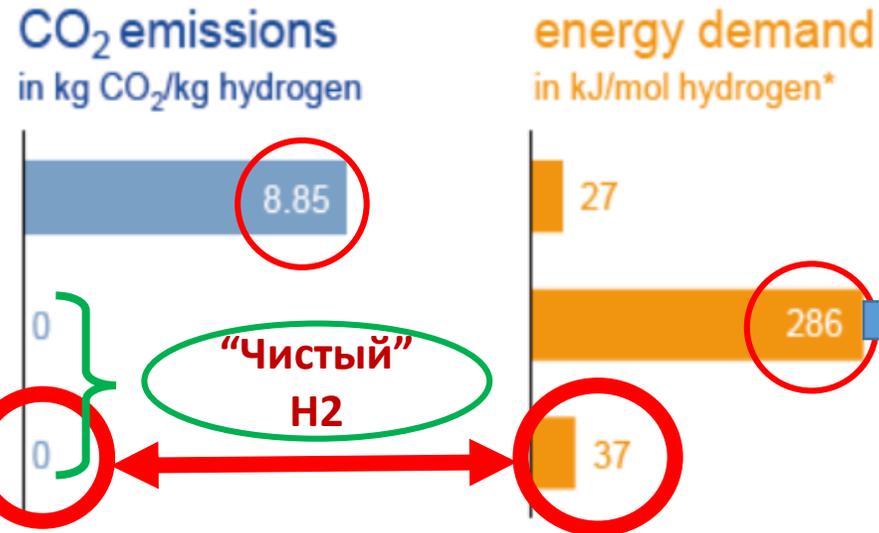
При прочих равных условиях, пиролиз метана (и сходные технологии: без доступа O2 и выбросов CO2) имеют конкурентное преимущество против: (1) электролиза как ключевого и (2) ПРМ+CCS как временного/вспомогательного направления производства H2 в ЕС

Допускается в Водородной стратегии ЕС в качестве временного решения

CCS необходим! => дополнительные временные 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	$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$
Water electrolysis	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$
Methane pyrolysis	$\text{CH}_4 \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{C}$

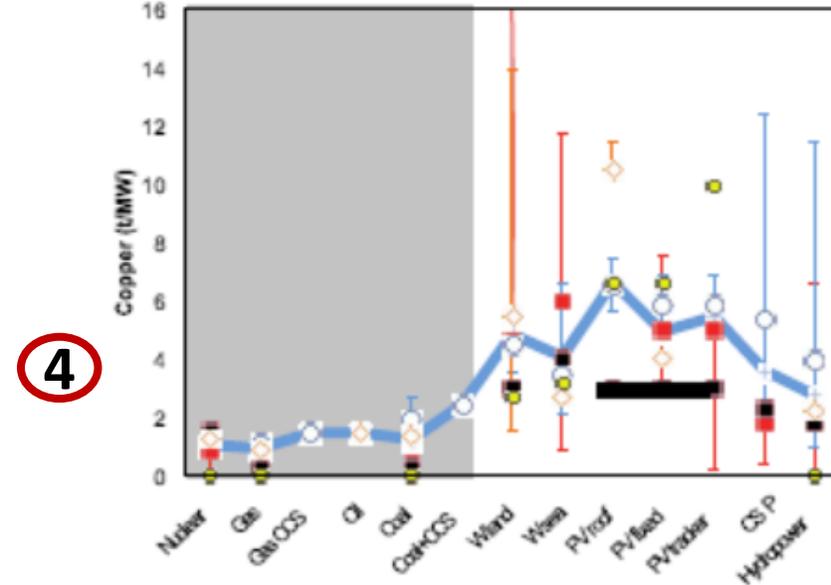
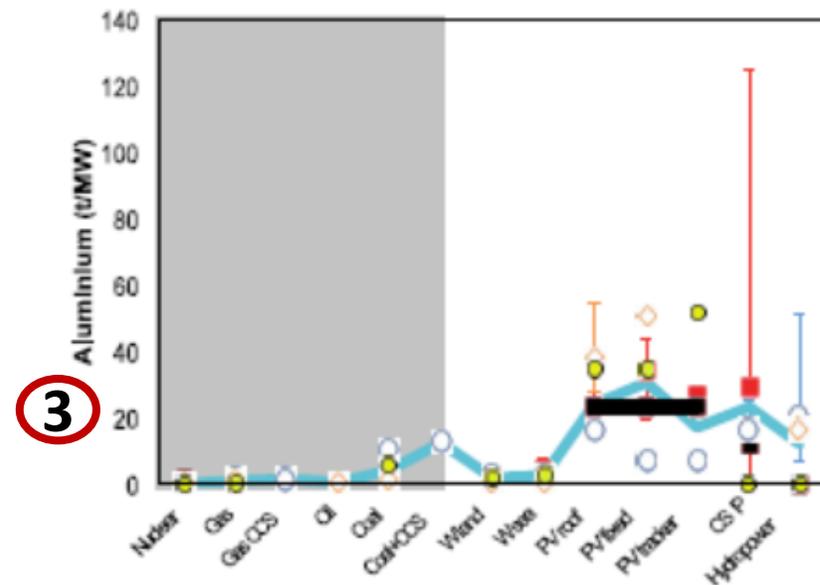
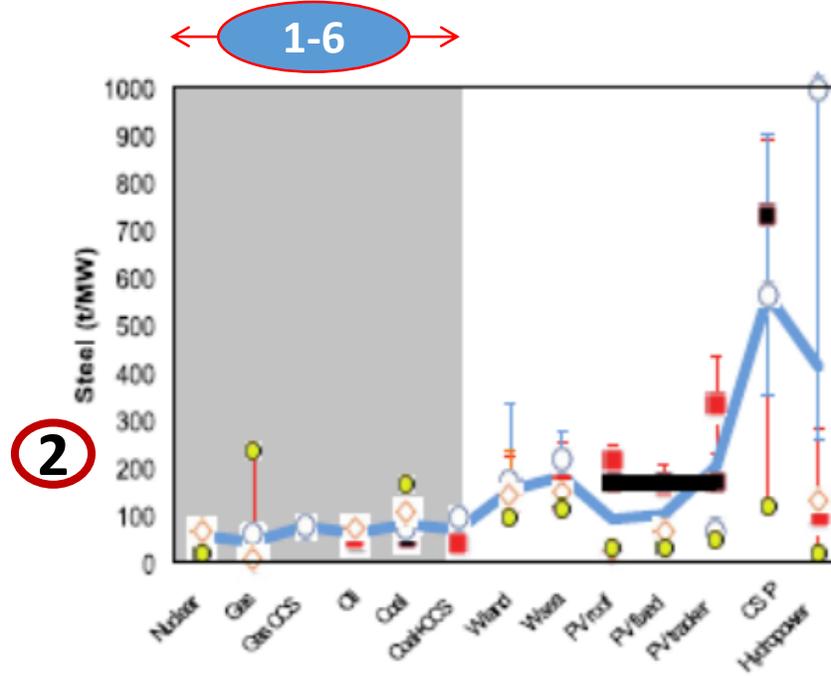
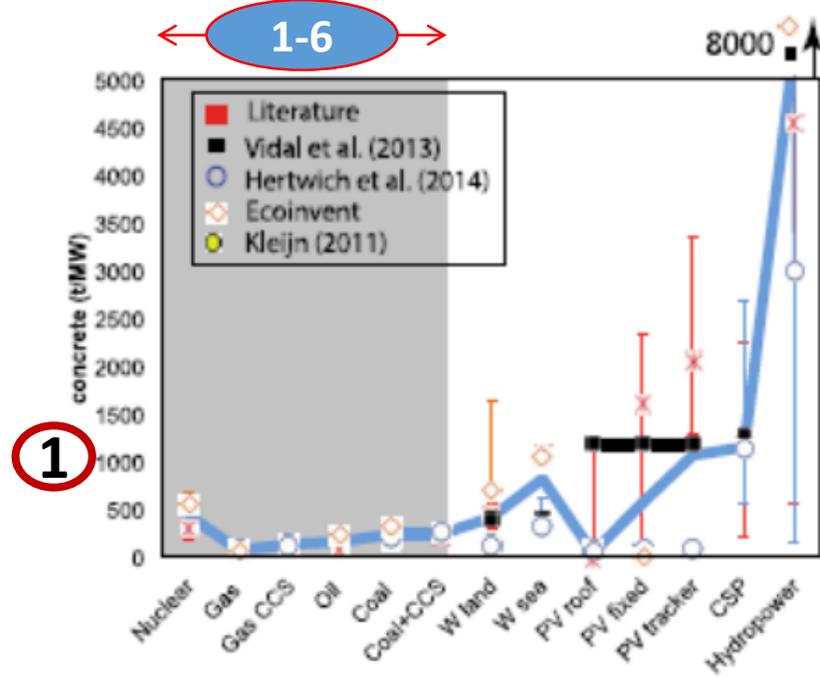


Источник: А.Конопляник на основе: Dr. Andreas Bode (Program leader Carbon Management R&D). New process for clean hydrogen. // BASF Research Press Conference on January 10, 2019 / (<https://www.basf.com/global/en/media/events/2019/basf-research-press-conference.html>)

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



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

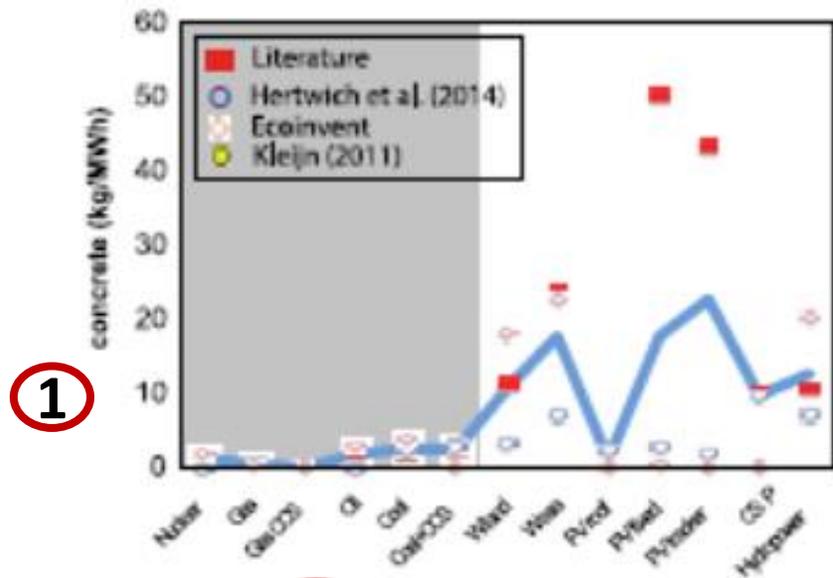
- 1 - бетон,
- 2 - сталь,
- 3 - алюминий,
- 4 - медь

(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)

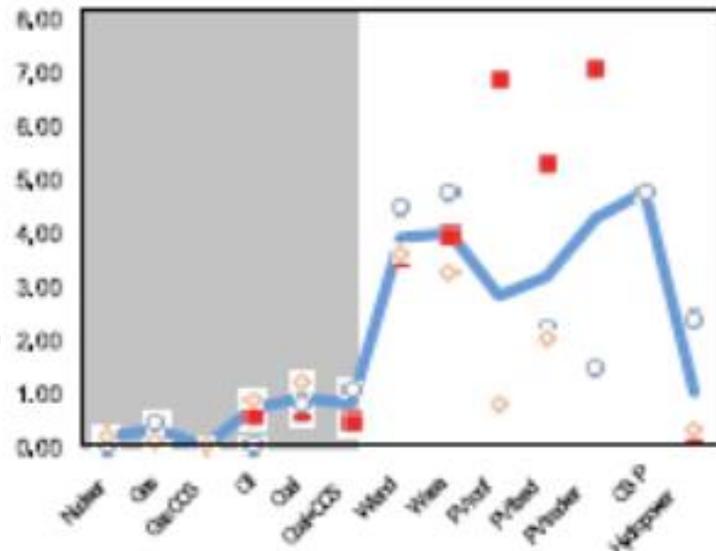
(цветная версия на: www.iste.co.uk/vidal/energy/zip)

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

2



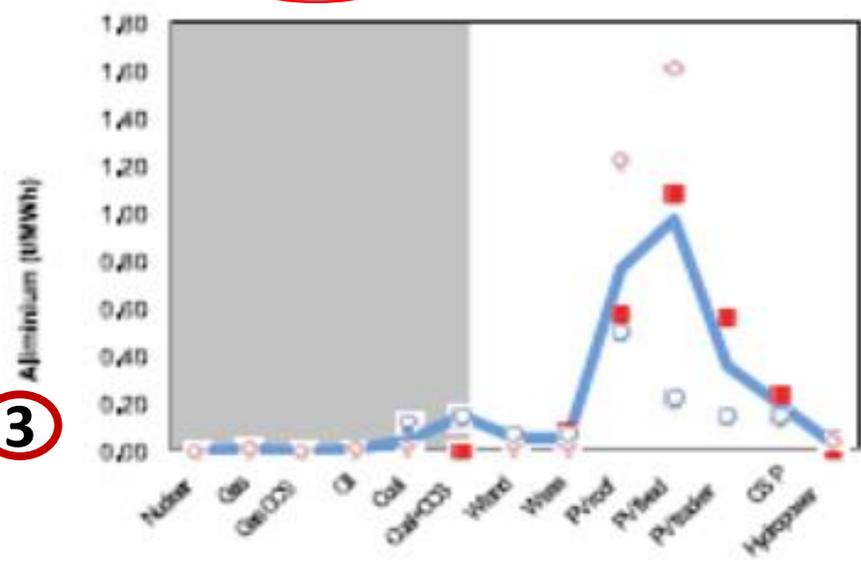
Удельные расходы (кг/Мвт*час) четырех конструкционных материалов на производство электроэнергии:

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

(энергогенерирующие технологии на органическом топливе – в серой зоне)

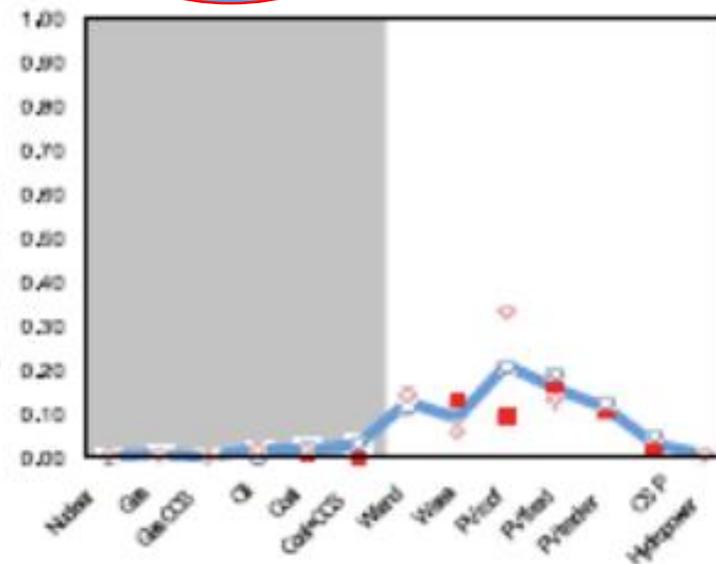
1-6

1-6



3

4



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

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)

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... => Энергопереход на полуправде...

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**».

Более высокие выбросы при пр-ве оборуд. эл.эн. ВИЭ по сравн. с пр-вом оборуд. эл.эн. НВЭР

ЭПГ группа охвата 3

Производство оборудования для производства электроэнергии ВИЭ и «возобновляемого» H2

НЕ УЧИТЫВАЕТСЯ

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

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

ЭПГ группа охвата 2

Производство электроэнергии ВИЭ

УЧИТЫВАЕТСЯ

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

ЭПГ группы охвата 1

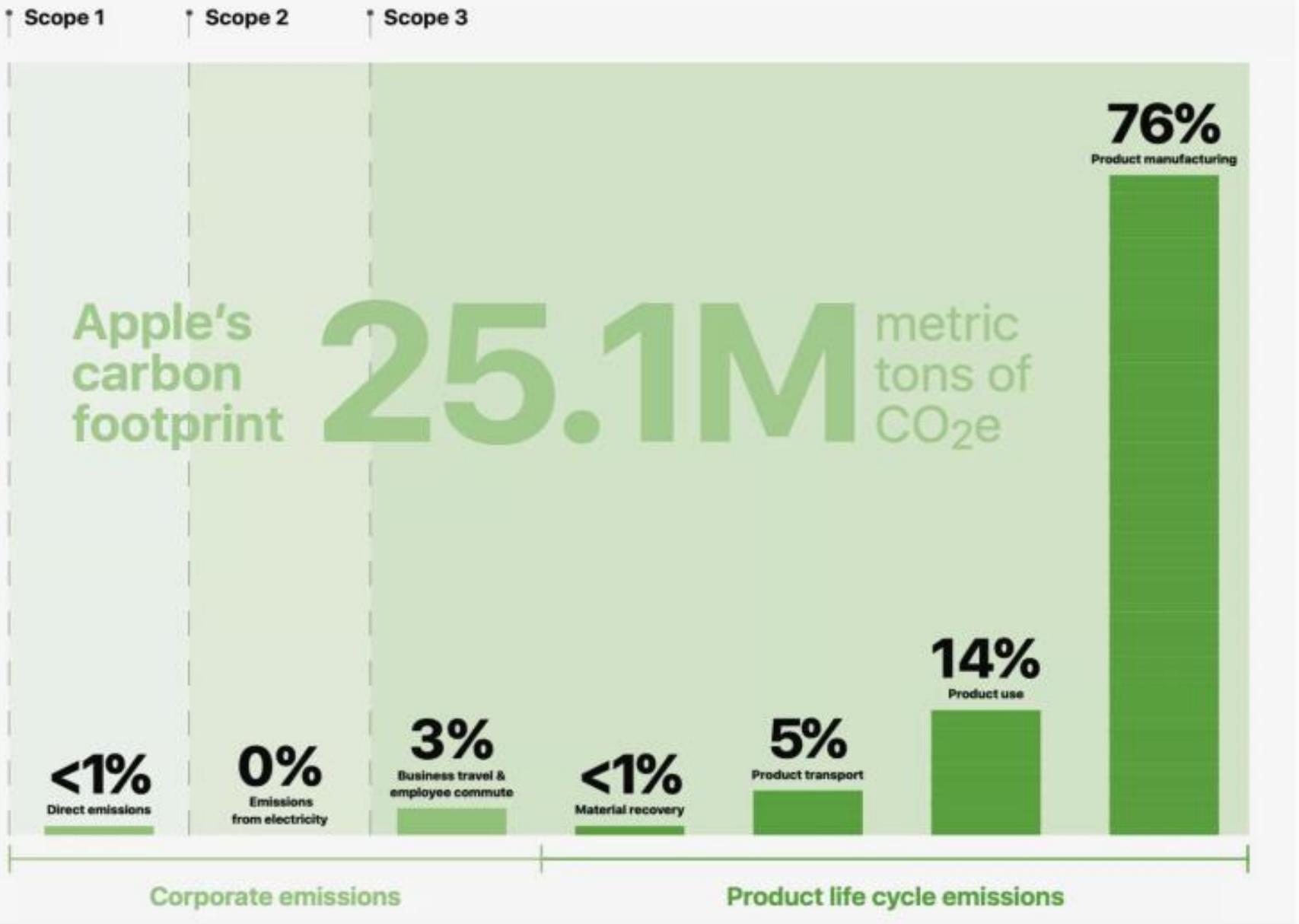
Производство «возобновляемого» H2

ЭПГ группа охвата 3

Утилизация оборудования после завершения проекта

НЕ УЧИТЫВАЕТСЯ

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

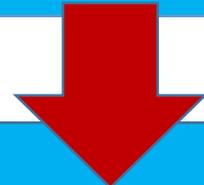
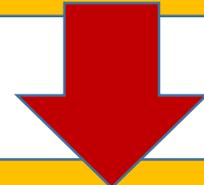
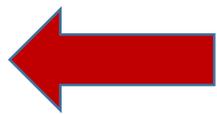
Source: What are Scopes 1, 2 and 3 of Carbon Emissions? // PlanA Academy, 12.08.2020
(<https://plana.earth/academy/what-are-scope-1-2-3-emissions/>)

Проблемы и предлагаемые решения для «возобновляемого/зеленого» H2 в ЕС

= f (цена покупной электроэнергии)

Электролиз: высокие издержки =

= f (стоимости электролизеров)



Покупка избыточной электроэнергии ВИЭ по нулевой/отрицат. цене => ФРГ (2019): избыточная эл.эн. ВИЭ = 211 из 8760 час. => КИУМ по избыточной эл.эн. = 2.5% (КИУМ ВЭС: суша = 20%, море = 45%)

Эффект масштаба (закон Райта и др.) => внутренний рынок ЕС недостаточен => экспансия за пределы ЕС (2X40 ГВт зеленого H2) => сотрудничество по зеленому H2 для сбыта электролизеров «Сделано в ЕС/ФРГ» => 2 млрд.Евро в Водородной стратегии ФРГ на продвижение такой модели водородного сотрудничества с зарубежными странами

Не сработает как основной путь снижения издержек ?

Соответствует нац. интересам ЕС/ФРГ, НЕ соответствует нац. интересам РФ => НЕ обеспечивает баланс интересов ЕС/ФРГ-РФ !

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

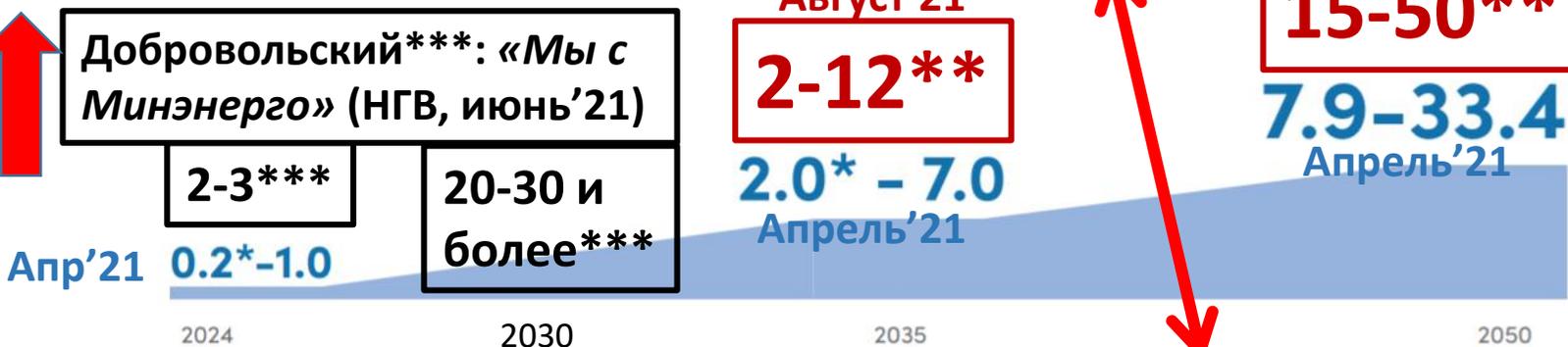
Добровольский (НГВ, июнь'21): «Мы с Минэнерго пытались спрогнозировать будущую картину экспорта, но она очень расплывчата, как и любые прогнозы на отдаленную перспективу. ПО КОНСЕРВАТИВНОМУ ПРОГНОЗУ, уже в 2025 году Россия сможет экспортировать 2–3 млн тонн водорода, а к 2030 году ЭТИ ОБЪЕМЫ МОГУТ ВЫРАСТИ 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>)

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.)(*)

(1) 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.**

(2) 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.

(3) 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.**

(4) **Растет взрывоопасность** МВС по мере увеличения объемной доли H_2 .

(5) 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 .**

(6) 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.**

(7) 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.**

(*) Среди **43** пп. плана Правительства РФ по H_2 (12.10.2020), СПб Горный Университет указан как соисполнитель в **42** пп.

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

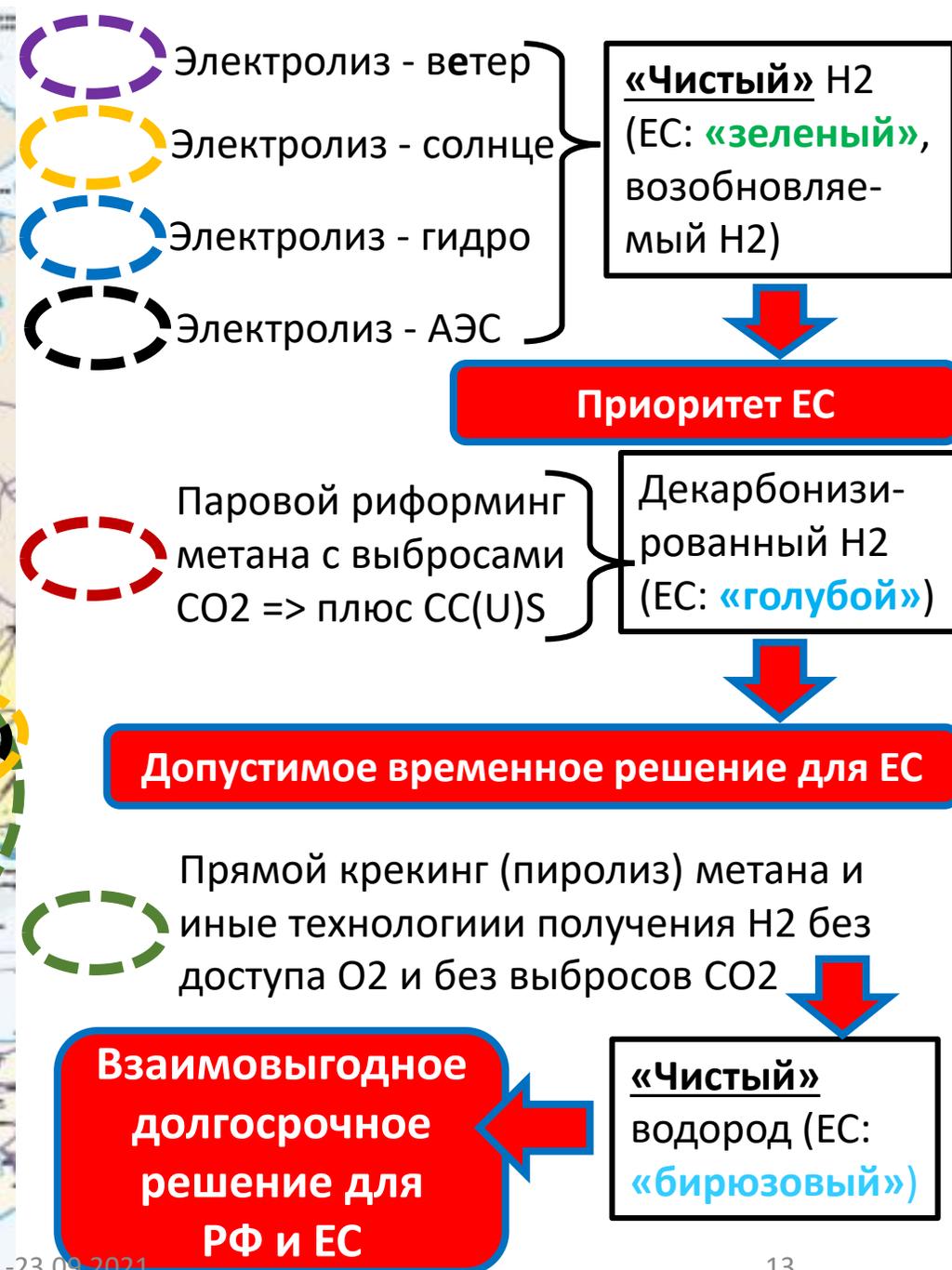
А.Конопляник, 9-е Мелентьевские чтения, 21-23.09.2021

Примерные возможные зоны преимущественного применения основных технологий производства H2 в Европе - потенциальная новая конкурентная ниша для российского газа и технологий по производству чистого H2 (без выбросов CO2) из газа

Составлено по итогам дискуссий с Ральфом Дикелем и материалам проекта водородной стратегии ЕС "Towards a hydrogen economy in Europe: a strategic outlook" (будет опубликовано 24.06.2020)

Источник карты: ENTSOG

А.Конопляник, Zoom-заседание Экономического клуба ФБК "Россия без нефти: рецепты выживания", 09.06.2020



Производство чистого H₂ из природного газа внутри ЕС на основе ГТС и МВС

- 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 CO₂ 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 H₂ («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 H₂ 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.

Конкурентные ниши для российского газа на рынке газа ЕС до начала (существующие) и в процессе движения (возможные дополнительные) ЕС по пути декарбонизации



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 привилегированное 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 факто 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/МВС, 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 и его экспертов 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, 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 коммерциализируемых совместно с партнерскими компаниями ЕС технологий производства H₂, в первую очередь – пиролизной группы (из природного газа без прямых выбросов CO₂). «Дорогу осилит идущий!»

Благодарю за внимание!

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

С публикациями и презентациями автора, в том числе по теме выступления, можно ознакомиться на сайте www.konoplyanik.ru

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.** Информация, используемая для/в настоящей презентации получена исключительно из открытых публичных источников и общеизвестных знаний.

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