

# Метан, водород, углерод: НОВЫЕ РЫНКИ, НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

**ОЛЕГ АКСЮТИН**

Заместитель Председателя Правления ПАО «Газпром» - начальник Департамента, член-корреспондент РАН, д.т.н.

**АЛЕКСАНДР ИШКОВ**

Заместитель начальника Департамента – начальник Управления ПАО «Газпром», профессор кафедры ЮНЕСКО «Зеленая химия для устойчивого развития» РХТУ им. Д.И. Менделеева

**КОНСТАНТИН РОМАНОВ**

Ответственный секретарь Координационного комитета ПАО «Газпром» по вопросам рационального природопользования, начальник отдела ПАО «Газпром», к.э.н.

**РОМАН ТЕТЕРЕВЛЕВ**

Заместитель начальника отдела ПАО «Газпром»

Сегодня спрос на водород в чистом виде составляет около 70 млн тонн в год. Основным сырьем для производства водорода является природный газ, который используется в процессе паровой конверсии метана (steam methane reforming – SMR) – основного способа получения водорода в мире на нефтеперерабатывающих заводах, при производстве аммиака и метанола. По данным IEA, вклад природного газа в мировое производство водорода оценивается в 205 млрд м<sup>3</sup> в год [1].

Учитывая реализацию Водородной стратегии ЕС, сегодня важно соблюдать принцип технологической нейтральности. Для объективного сравнения различных технологий и способов производства водорода необходимо в полной мере учитывать жизненные циклы получаемого водорода. Внедрение же дискриминационных механизмов, направленных против водорода, получаемого из природного газа в соответствии с требованиями углеродоемкости процессов, может привести к экономически неэффективной политике декарбонизации экономики ЕС, а также к увеличению выбросов парниковых газов.

## МИРОВОЙ СПРОС НА ВОДОРОД: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

Технологии получения водорода из углеводородного сырья разработаны в первую очередь для крупнотоннажных промышленных процессов. Именно в этой области достигнуты лучшие показатели по энергетическим и капитальным затратам, а также по себестоимости водорода. Основным недостатком получения водорода из ископаемых топлив считаются выбросы в атмосферу  $\text{CO}_2$ .

На текущий момент более 95% мирового потребления водорода приходится на традиционные отрасли, в основном самостоятельно обеспечивающие собственные потребности за счет производства элемента на специализированных установках непосредственно в месте потребления. Таким образом, несмотря на рост потребления водорода в мире, глобального рынка этого продукта на данный момент не существует. Водород сейчас является сырьем или реагентом в отраслях промышленности, при этом рядом стран мира он начинает рассматриваться в качестве энергоносителя.

В условиях набирающего силу тренда на декарбонизацию мировой экономики возможность «энергетического» применения водорода связана с отсутствием прямых выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и диоксида углерода. Водород может являться новым энергоносителем для решения климатических задач, получения, накопления, хранения и доставки энергии.

К перспективным областям использования водорода относят энергетический комплекс, промышленность, транспортный сектор, а также бытовое применение в жилищно-коммунальном хозяйстве.

Возможным способом декарбонизации топливно-энергетического комплекса и промышленности является замещение высокоуглеродных топлив (уголь, нефтепродукты), используемых для энергетических целей, низкоуглеродными: природным газом, метано-водородным топливом, водородом, полученным в том числе из природного газа.

Необходимость в высокотемпературной тепловой энергии, используемой в промышленных процессах (плавка, газификация, сушка и др.), с минимизацией выбросов диоксида углерода способствует росту спроса на водород в химической и металлургической отраслях.

Электроэнергетика открывает множество возможностей для использования топлива на основе водорода. Метано-водородное топливо, аммиак, а также водород при использовании в газовых турбинах или топливных элементах способны обеспечить гибкость генерации электроэнергии с минимальными выбросами. Производители турбин активно занимаются водородной тематикой: проводят необходимые тестовые испытания и проектируют новые модели энергетического оборудования. По информации европейских ассоциаций и организаций в области турбинных технологий, некоторые современные промышленные газовые турбины уже обладают возможностями сжигания топливной смеси с содержанием водорода 100% об.

В долгосрочной перспективе водород может играть определенную роль в крупномасштабном и долгосрочном хранении электроэнергии, чтобы сбалансировать ее сезонные колебания. Системы топливных элементов, использующие в качестве топлива водород, метанол или аммиак, являются экологичной альтернативой дизельным генераторам или аккумуляторным системам. По сравнению с аккумуляторными батареями топливные элементы могут работать при температуре окружающей среды от  $-40^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$  без необходимости охлаждения.

Индустрия мобильной связи является примером сектора, который нуждается в резервной и внесетеевой электроэнергии. В настоящее время эксплуатируется более 7 млн базовых станций связи во всем мире, и это число ежегодно увеличивается, главным образом в развивающихся странах и странах с формирующейся рыночной экономикой. По данным Международного энергетического агентства, сегодня в Индии насчитывается около 650 тыс. телекоммуникационных станций, 20% из которых снабжаются электроэнергией от дизельных генераторов, что приводит к ежегодным выбросам диоксида углерода в размере 5 млн т  $\text{CO}_2$ .

В жилищно-коммунальном хозяйстве также прогнозируется рост спроса на водородные энергоносители, учитывая, что на отопление помещений, производство горячей воды и приготовление пищи сегодня приходится 30% мирового конечного потребления энергии. Предполагается, что в среднесрочной перспективе повышению спроса на водород в жилом секторе будет способствовать существующая газовая инфраструктура – смешивание водорода с природным газом в газораспределительных сетях и использование таких энергетических смесей в газовом оборудовании. По информации Международного энергетического агентства, даже 5%-ное содержание водорода в смеси создаст значительный спрос на водород. Ключевыми вопросами остаются риск увеличения расходов конечного потребителя и повышение доверия населения к водородным технологиям в быту. Долгосрочные перспективы в области отопления помещений могут включать 100%-ное прямое использование водорода в котлоагрегатах или топливных элементах, однако реализация таких подходов будет зависеть в первую очередь от технической возможности и экономической целесообразности модернизации инфраструктуры, оборудования и мер по обеспечению безопасности населения.

Транспортный комплекс неоднократно демонстрировал значимый водородный потенциал, однако амбициозные планы конца 2000-х годов, сформировавшиеся под влиянием прогресса в области топливных элементов, не были достигнуты. Стремление к производству легковых водородных автомобилей выглядит как желание сохранить и поддержать компетенции в этом направлении. Наибольшее преимущество технологии топливных элементов на транспорте могут продемонстрировать в области пассажирских и грузовых перевозок. В последние годы заметно существенное снижение (хотя все еще недостаточное для повсеместного внедрения) стоимости автомобилей на топливных элементах, однако до сих пор сдерживаю-

щим фактором остается отсутствие разветвленной инфраструктуры заправок для таких автомобилей. Многочисленные проекты касаются в основном локальных перевозок при ограниченном парке транспортных средств и являются скорее демонстраторами технологий мобильных электрохимических генераторов на топливных элементах. Однозначно можно сказать то, что широкое распространение водородные транспортные средства получат только по мере расширения водородной энергетики в целом.

Будущий рынок водорода оценивается в очень широких пределах. По разным оценкам, к 2050 году доля водорода в мировом энергетическом балансе может составить от 7% (IRENA) до 24% (Bloomberg NEF) при реализации различных сценариев декарбонизации мировой экономики.

## ВОДОРОДНАЯ СТРАТЕГИЯ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА

8 июля 2020 года Европейская комиссия опубликовала Стратегию в области водорода (Building a hydrogen economy for a climate-neutral Europe) [2]. В этот же день было официально объявлено о начале работы Альянса по развитию чистого водорода (Clean Hydrogen Alliance). В Стратегии впервые приводится подробная классификация различных видов водорода в зависимости от источника, происхождения и способа производства. При этом явное предпочтение отдается возобновляемому водороду, то есть произведенному с применением метода электролиза воды на основе возобновляемых источников энергии.

В соответствии с опубликованной водородной стратегией ЕС водород подразделяется на:

- ◆ «водород на основе электричества», который относится к водороду, получаемому в результате электролиза воды, независимо от источника электричества. Полный жизненный цикл выбросов парниковых газов при производстве водорода на основе электроэнергии зависит от того, как производится электроэнергия;
- ◆ «возобновляемый водород», получаемый электролизом воды с помощью электричества, добытого из возобновляемых источников. Считается, что выбросы парниковых газов в полном жизненном цикле производства возобновляемого водорода близки к нулю. Возобновляемый водород также может быть получен путем риформинга биогаза (вместо природного газа) или биохимической конверсии биомассы, если это соответствует принципам устойчивого развития;
- ◆ «чистый водород» – относится к «возобновляемому» водороду;
- ◆ «ископаемый водород» – относится к водороду, получаемому в результате различных процессов с использованием ископаемого топлива в качестве исходного сырья, главным образом риформинга природного газа или газификации угля. Основной способ получения водорода, производимого сегодня;
- ◆ «ископаемый водород с улавливанием углекислого газа» – это часть ископаемого водорода, но с улавливанием парниковых газов, выделяемых в процессе производства водорода. Выбросы парниковых газов

при производстве ископаемого водорода с улавливанием углекислого газа или пиролизом ниже, чем при производстве водорода на основе ископаемого топлива, но необходимо учитывать различную эффективность улавливания парниковых газов (максимум 90%);

- ◆ «низкоуглеродный водород» – включает «ископаемый водород с улавливанием углекислого газа» и «водород на основе электричества», при этом выбросы парниковых газов в течение всего жизненного цикла значительно ниже по сравнению с существующим производством водорода;

- ◆ «водородные синтетические топлива» – относятся к различным газообразным и жидким топливам на основе водорода и углерода. Для того чтобы синтетическое топливо считалось возобновляемым, возобновляемой должна быть и водородная часть синтетического газа. Синтетическое топливо включает, например, синтетический керосин в авиации, синтетическое дизельное топливо для автомобилей и различные вещества, используемые при производстве химических веществ и удобрений. Синтетическое топливо может быть связано с очень различными уровнями выбросов парниковых газов в зависимости от используемого сырья и процесса. Что касается загрязнения воздуха, то сжигание синтетического топлива приводит к тому же уровню выбросов загрязнителей воздуха, что и ископаемое топливо.

На первом этапе (2020–2024 гг.) в ЕС ставится стратегическая задача стимулировать производство 1 млн т ( $\approx 40$  ТВт·ч  $H_2$ ) «возобновляемого» водорода и установку электролизеров общей мощностью не менее 6 ГВт в целях декарбонизации существующих процессов по производству водорода, например, в химической промышленности, и, вероятно, в секторе большегрузного транспорта. Постепенно начнется процесс закачки водородных смесей в газовые сети, но потребности по созданию специальной инфраструктуры еще будут ограничены.

На втором этапе (2025–2030 гг.) водород должен стать неотъемлемой частью энергетической системы ЕС. Стратегическая задача на этот период – обеспечить производство 10 млн т ( $\approx 390$  ТВт·ч  $H_2$ ) «возобновляемого» водорода к 2030 году и установку мощностей по его производству в объеме не менее 40 ГВт. Предполагается, что в этот период водород будет играть важную роль в балансировке энергосистемы, обеспечивать ее безопасность и использоваться для дневного и сезонного хранения энергии. Полным ходом будет идти развитие локальных и региональных кластеров – «водородных долин». На этом этапе уже возникнет потребность в планировании и создании специализированной инфраструктуры, перепрофилирования газовых активов под нужды транспортировки водорода. Также возможно начало торговли с соседними странами Восточной Европы и южного и восточного Средиземноморья.

На третьем этапе (2030–2050 годы и далее) технологии по производству «возобновляемого» водорода должны достичь высокого уровня развития, они будут широко задействованы для снижения уровня выбросов в тех секторах, которые с трудом поддаются декарбонизации.

Таким образом, в ЕС установлены исключительно крат-

ко- и среднесрочные показатели для «возобновляемого» водорода. При этом ожидается, что доля водородного топлива (все виды) в энергобалансе ЕС вырастет с текущих менее 2% до 13–14% к 2050 году [2].

В соответствии с немецкой водородной стратегией спрос на водород в среднесрочной перспективе (до 2030 года) удвоится до 90–110 ТВт·ч H<sub>2</sub>. Существующие и перспективные мощности возобновляемой энергетики Германии будут способны обеспечить производство порядка 14 ТВт·ч H<sub>2</sub> (≈ 0,4 млн т) «зеленого» водорода электролизом воды. Оставшуюся часть спроса на водород (76–96 ТВт·ч H<sub>2</sub>) предполагается покрыть за счет использования других низкоуглеродных технологий производства водорода, в том числе из природного газа, или импорта водорода. Драйвером развития германского водородного сектора выступает металлургическая отрасль с объемом спроса на водород 10 ТВт·ч H<sub>2</sub> в 2030 году и 80 ТВт·ч H<sub>2</sub> в 2050 году [3].

«Зеленый курс ЕС» с акцентом на водородную энергетику открывает дополнительные возможности для природного газа, долгосрочный потенциал которого заключается в возможности производства из метана водорода без выбросов CO<sub>2</sub>. Это будет иметь жизненно важное значение для ЕС при реализации эффективной политики по декарбонизации экономики, поскольку ряд европейских исследований показывает, что «зеленый» водород будет значительно дороже, чем водород с низкими или нулевыми выбросами диоксида углерода, произведенный из природного газа, до 2050 года и, вероятно, дальше. Это связано с тем, что электролиз воды – очень энергоемкий процесс, требующий от 48 до 78 кВт·ч дорогой возобновляемой электрической энергии на 1 кг полученного водорода [4].

Дополнительный спрос на природный газ в ЕС как сырье для производства «низкоуглеродного» водорода может составить до 60 млрд м<sup>3</sup> уже к 2030 году.

## ПИРОЛИЗ МЕТАНА – ПРОЦЕСС ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА БЕЗ ВЫБРОСОВ CO<sub>2</sub>

Один килограмм водорода, получаемого с помощью парового риформинга природного газа, способствует образованию порядка 9 кг CO<sub>2,экв.</sub> («well-to-gate» охват) [2]. Однако предлагаемый ЕС целевой показатель углеродоемкости процессов получения водорода (в соответствии с инициативой CertifHy) составляет половину от этого значения. Следовательно, продолжение использования обычного парового риформинга метана потребует масштабного применения технологий улавливания, использования и захоронения диоксида углерода (CCUS), что несомненно отразится на себестоимости получаемого водорода, так как инвестиции в создание дополнительной производственной структуры возрастают в среднем на 16% [4].

Существующий технологический задел, имеющийся в мире, способен обеспечить низкоуглеродное производство водорода из природного газа методом пиролиза. Пиролиз метана – это умеренно эндотермический процесс

разложения природного газа (органического сырья). Пиролиз метана является альтернативным подходом к получению водорода из природного газа без образования CO<sub>2</sub> в ходе реакции:



При пиролизе метана образуется водород, который может быть использован в энергетике, транспортном секторе, в промышленных/химических процессах и т. д. для снижения выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, а также углерод в твердой форме.

Пиролиз метана относится к целому ряду процессов (по аналогии с конверсией метана), которые могут быть разделены на 4 больших класса – термический пиролиз, каталитический пиролиз, плазменный пиролиз, а также отдельно может быть выделен пиролиз в расплавах металлов (рис. 1).

В настоящее время процессы получения водорода пиролизом метана не выведены на промышленный уровень, но научные исследования ведутся по всем четырем направлениям. В то время как компании BASF, Thyssenkrupp и Linde сосредоточились на процессе термического пиролиза, американская компания Monolith занимается плазменным пиролизом. Другой подход применяют IASS и KIT – использование жидкого металла в качестве теплоносителя. Напротив, австралийский процесс HAZER® компании Hazer Group основан на каталитическом пиролизе метана. Степень готовности технологий находится в интервале TRL4–7.

Для термического разложения метана необходимы высокие температуры (выше 1000 °C). Использование катализатора помогает увеличить скорость реакции и таким образом снижает температуру, требуемую для конверсии природного газа. Технологической особенностью такого процесса является периодическое восстановление катализатора, что сопровождается выбросами диоксида углерода и повышает «углеродный след» получения водорода. Поиск дешевых катализаторов для исключения этапа восстановления – актуальное направление исследований, результаты которых уже существуют. Примером такого катализатора служит железная руда (The Hazer Process). Потребность процесса в тепловой и электрической энергии может покрываться за счет получаемого водорода.

Плазменный пиролиз – это способ разложения метана в плазме (например, сверхвысокочастотного разряда). В этом случае в качестве источника энергии используется электроэнергия (сетевая или возобновляемая) и, соответственно, процесс не сопровождается «прямыми» выбросами диоксида углерода.

Существенным преимуществом пиролиза метана является меньший удельный расход электроэнергии (оценивается менее 20 кВт·ч на килограмм водорода – рис. 2) в сравнении, например, с электролизом воды [4].

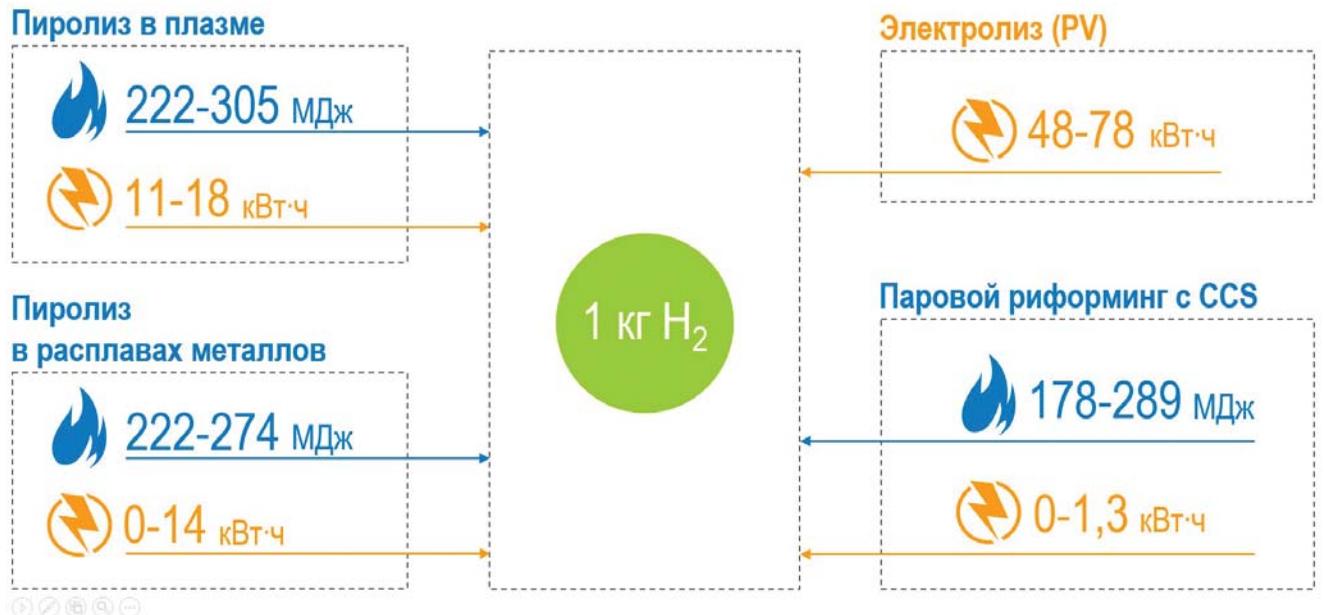
## «УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД» ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА В ЕС

Наиболее важно то, что водород, полученный из природного газа путем пиролиза метана, может иметь нулевые и даже отрицательные выбросы CO<sub>2</sub>. Эти водородные тех-

РИС. 1 ПИРОЛИЗ МЕТАНА



РИС. 2 ПИРОЛИЗ МЕТАНА. СРАВНЕНИЕ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ НИЗКОУГЛЕРОДНОГО ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА



нологии не производят прямых выбросов диоксида углерода, а их косвенные выбросы зависят от «углеродного следа» поставок природного газа и электроэнергии (сетевой или возобновляемой), используемых в процессе. При этом технологически обусловленные минимальные фугитивные выбросы метана при добыче и транспортировке природного газа могут быть потенциально компенсированы с помощью специальных мер (например, лесовосстановления), а использование возобновляемого электричества позволит значительно снизить «углеродный след» получения водорода методом пиролиза метана. Производство оборудования, транспортировка, а также эксплуатация и восстановление катализаторов играют второстепенную роль.

По экспертной оценке, выполненной Техническим университетом Мюнхена (TUM), пиролиз метана демонстрирует «углеродный след» в диапазоне 2,1–5,2 кг  $\text{CO}_{2\text{экв}}$  на 1 кг полученного водорода с учетом усредненного для ЕС «углеродного следа» поставок природного газа (рис. 3).

При использовании сетевого электричества в качестве источника энергии, пиролиз метана имеет преимущества в части «углеродного следа» по сравнению с электролизом воды из-за низкого потребления электрической энергии. При этом удельные выбросы углекислого газа при электролизе воды и плазменном пиролизе с использованием возобновляемого электричества (фотовольтаика) сопоставимы.

В зависимости от способов (сжиженный природный газ, трубопроводный газ) и маршрутов «углеродный след» поставок природного газа в ЕС может достигать значения 25 г  $\text{CO}_{2\text{экв}}/\text{МДж}_{\text{LHV}}$ . Для российских трубопроводных проектов «Северный поток – 1», «Северный поток – 2», «Турецкий поток» «углеродный след» поставок газа оценивается в пределах 6,3–7,3 г  $\text{CO}_{2\text{экв}}/\text{МДж}_{\text{LHV}}$  – это одни из самых минимальных значений для возможных маршрутов поставок природного газа до границы с ЕС (рис. 4) [5].

С учетом транспортировки газа по указанным российским газопроводам и использования возобновляемых источников энергии (ветра и солнца) «углеродный след» получения водорода, например, плазменным пиролизом метана, оценивается всего в 1,2–1,6 кг  $\text{CO}_{2\text{экв}}$  на 1 кг водорода.

Таким образом, водород, получаемый пиролизом метана, по критерию углеродоемкости соответствует «низкоуглеродному водороду» согласно опубликованной водородной стратегии Европы, а также проектным параметрам для устойчивых инвестиций [6], и является одним из эффективных решений для достижения краткосрочных и долгосрочных климатических целей ЕС.

## ПОБОЧНЫЙ УГЛЕРОД В ТВЕРДОЙ ФОРМЕ – ЦЕННЫЙ ПРОДУКТ

При пиролизе метана технологический процесс обеспечивает производство углерода в твердой форме – так называемого технического углерода. На один килограмм водорода, как правило, образуется около 3 кг углерода, при этом существует возможность получения ценных продуктов, например, синтетического графита, графена, фуллеренов, углеродных нанотрубок, использование

которых имеет перспективы в электротехнике, электронике, строительстве, машиностроении и др. Так, например, возможно применение углерода в различных кристаллических модификациях в качестве композитного материала, наполнителя или армирующего агента при производстве резиновых изделий, автомобильных шин, использование углерода в качестве добавки для улучшения свойств почв, строительных материалов (асфальта, бетона, цемента и др.). Получаемый углерод может найти применение в инновационных отраслях промышленности при разработке катализаторов для топливных элементов, аэрокосмической отрасли (усиление конструкций лопастей и фюзеляжей), производстве беспилотных летательных аппаратов. В отличие от диоксида углерода в газообразной форме, твердый углерод легко хранить, при этом он нетоксичен. Отдельным перспективным направлением углеродных материалов выступает адсорбционное хранение газов. Таким образом, производство твердого углерода позволяет не только снизить прямые выбросы диоксида углерода (парникового газа), но и создать новые рыночные возможности.

Если водород, производимый сегодня в мире, получать пиролизом метана, то образование твердого углерода составило бы порядка 200 млн т в год. При этом были бы исключены «прямые» выбросы диоксида углерода при производстве водорода, а сокращение выбросов парниковых газов с учетом «углеродного следа» составило бы 700–900 млн т  $\text{CO}_{2\text{экв}}$  в год (оценка выполнена на основе данных Международного энергетического агентства по производству водорода в мире – 70 млн т в год, доли природного газа 76%, угля – 23%, а также с учетом данных по «углеродному следу» получения водорода паровым риформингом метана – 12 кг  $\text{CO}_{2\text{экв}}/\text{кг H}_2$ , газификацией угля – 24 кг  $\text{CO}_{2\text{экв}}/\text{кг H}_2$  [1], [7]).

Кроме того, использование углеродного материала вместо традиционного угля позволило бы предотвратить выбросы парниковых газов угольной отрасли при добыче и транспортировке. Указанные преимущества могут оказаться актуальными для сталелитейной промышленности. По данным [8], 3 тонны твердого углерода, получаемого в качестве побочного продукта при пиролизе метана, могут заместить 3,7 тонны коксующегося угля. Другие доступные рынки углерода в мире и приблизительные их объемы представлены на рис. 5.

Потенциал использования углеродных материалов в будущем огромен, благодаря их уникальным физическим свойствам. Например, графен: сверхлегкий, в девять раз прочнее стали и невероятно гибкий, самый тонкий из возможных материалов, полностью прозрачен и может пропускать более 90 % света – идеальный проводник, который может выступать в качестве идеального барьера (гелий не может пройти через графен) и переносить электроны гораздо быстрее, чем кремний.

Прогнозируемый темп роста рынка графена оценивается 38,7 % в год. Ожидается, что к 2027 году мировой рынок графена достигнет \$1,08 млрд [9].

Пиролиз метана имеет преимущества с экономической точки зрения. При оценочных затратах на про-

РИС. 3 «УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД» РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

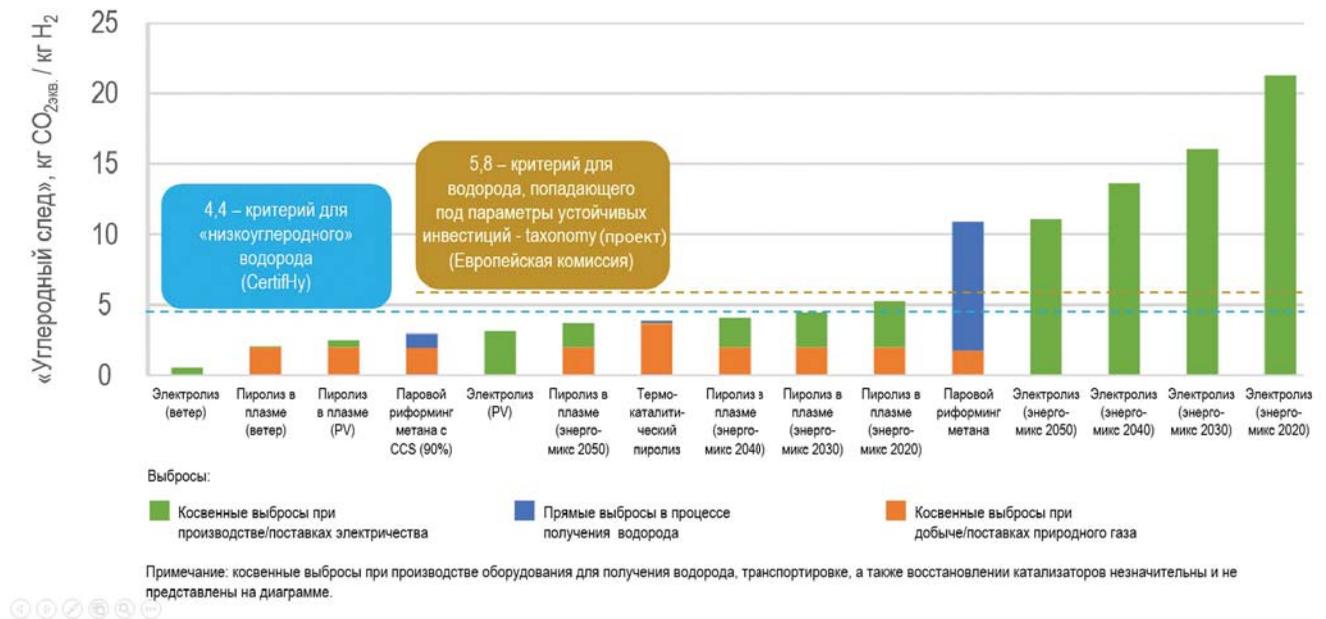
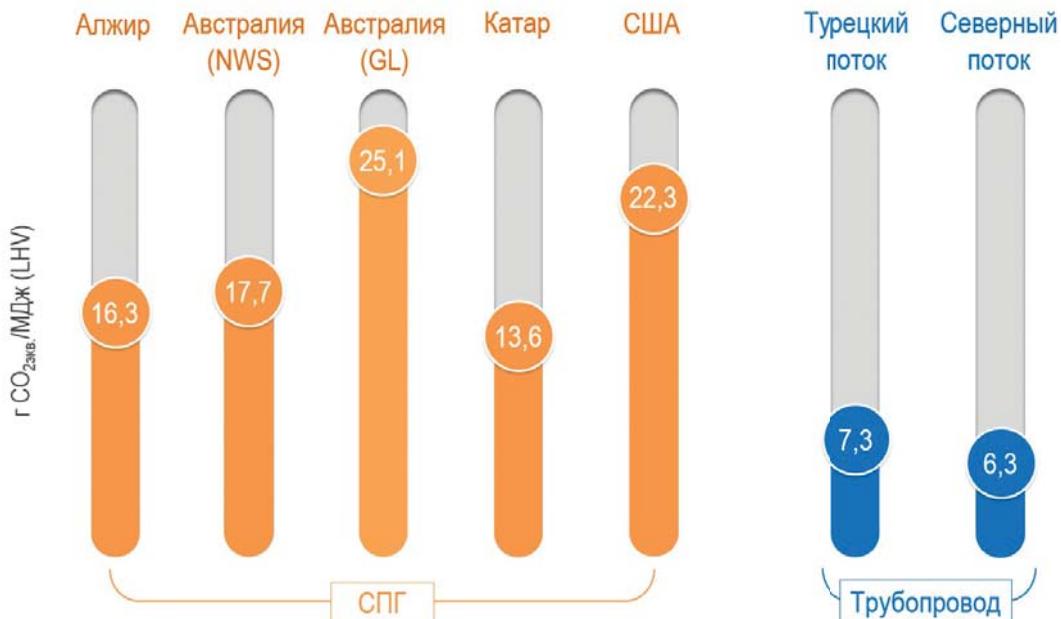
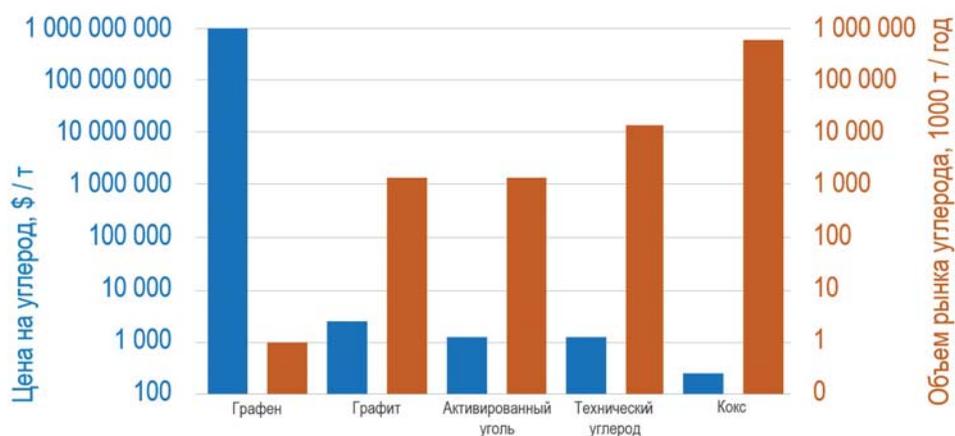


РИС. 4 «УГЛЕРОДНЫЙ СЛЕД» РАЗЛИЧНЫХ МАРШРУТОВ ПОСТАВОК ПРИРОДНОГО ГАЗА В ЕС



Примечание: оценка выполнена с учетом коэффициентов глобального потепления для метана на 100-летний период (IPCC AR4 GWP100)

РИС. 5 РЫНОК УГЛЕРОДА В МИРЕ



изводство 1 кг водорода \$1,36–1,79 (в зависимости от типа процесса) с учетом коммерческой реализации углерода, пиролиз метана конкурирует с электролизом (4,61–14,87 \$/кг H<sub>2</sub>) и паровым риформингом (1,03–2,16 \$/кг H<sub>2</sub>) [10] и может стать важной частью будущей экономики замкнутого цикла ЕС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В свете вышеприведенных фактов при реализации Водородной стратегии ЕС важно соблюдать принцип технологической нейтральности. Для объективного сравнения различных технологий и способов производства водорода необходимо в полной мере учитывать жизненные циклы получаемого водорода.

Внедрение дискриминационных механизмов, направленных против водорода, получаемого из природного газа в соответствии с требованиями углеродоемкости процессов, может привести к экономически неэффективной политике декарбонизации экономики ЕС, а также к увеличению выбросов парниковых газов.

Имеет смысл использовать экологические, экономические и технологические преимущества природного газа при развитии водородной энергетики в ЕС. Поэтапная декарбонизация экономики ЕС, основанная на использовании метано-водородного топлива, а затем и водорода, может обеспечить экономическое развитие и достижение климатических целей ЕС на 2030 и 2050 годы при использовании существующей газовой инфраструктуры для поставок природного газа в качестве сырья для производства водорода. ❗

## ЛИТЕРАТУРА:

1. IEA. The Future of Hydrogen. Report prepared by the IEA for the G20, Japan.
2. European Commission. 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.
3. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Die Nationale Wasserstoffstrategie
4. Hydrogen and hydrogen-derived fuels through methane decomposition of natural gas – GHG emissions and costs. Sebastian Timmerberg, Martin Kaltschmitt, Matthias Finkbeiner. Energy Conversion and Management: X 7 (2020) 100043.
5. Life Cycle Emissions of Natural Gas Transported via TurkStream. Final Report. © thinkstep, a Sphera Company.
6. Guidehouse. Hydrogen generation in Europe: overview of costs and key benefits.
7. Life Cycle Assessment and Water Footprint of Hydrogen Production Methods: From Conventional to Emerging Technologies. Andi Mehmeti, Athanasios Angelis – Dimakis, George Arampatzis, Stephen J. McPhail, Sergio Ulgiati. Environments 2018
8. Hydrogen production using methane: Techno-economics of decarbonizing fuels and chemicals. Brett Parkinson, Mojgan Tabatabaei, David C. Upham, Benjamin Ballinger, Chris Greig, Simon Smart, Eric McFarland. International Journal of Hydrogen Energy. Volume 43, Issue 5, 1 February 2018
9. <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-graphene-market>
10. Parkinson, B., Balcombe, P., Speirs, J. F., Hawkes, A. D., Hellgardt, K. Levelized cost of CO<sub>2</sub> mitigation from hydrogen production routes. Energy & Environmental Science 12 (2019), Nr. 1, S. 19–40 – Überprüfungsdatum 2019-08-22.

*Информационные бюллетени по материалам Представительства ПАО «Газпром» в Королевстве Бельгия в г. Брюсселе.*