

Научная статья

Original article

УДК 339.9

doi: 10.55186/2413046X_2025_10_7_182

**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ВОДОРОДНОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ
ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ
ECONOMIC EFFECTS OF HYDROGEN TRANSFORMATION OF THE
RUSSIAN GAS TRANSPORTATION SYSTEM**



Верпаховский Глеб Александрович, Госкорпорация «Росатом», Москва, Россия, E-mail: verpakhovskii@mail.ru

Verpakhovsky Gleb Aleksandrovich, State Corporation «Rosatom», Moscow, Russia, E-mail: verpakhovskii@mail.ru

Аннотация. В контексте ускоряющегося мирового энергоперехода ключевой задачей становится адаптация существующей газотранспортной инфраструктуры к транспортировке низкоуглеродных энергоносителей. Цель настоящего исследования – оценить технические и макроэкономические последствия интеграции низкоуглеродного водорода в газотранспортную систему (ГТС) России. Методологическая база включает сравнительный анализ национальных стратегий России, Германии и Японии, расчёты сценарного спроса водородо-метановых смесей, а также оценка инвестиционных потребностей при модернизации газораспределительных и компрессорных станций.

Полученные результаты показывают, что при концентрации водорода до 15–20 об.% существующие магистральные трубопроводы России сохраняют эксплуатационную надёжность, требуя в основном замены уплотнений, перенастройки газоанализаторов и локальной модернизации оборудования

учёта. Совокупные инвестиции в обновление критических узлов инфраструктуры оцениваются в ≈ 400 млрд. руб., что соизмеримо с затратами европейских программ создания водородных магистралей. Внедрение водородных смесей способно сократить внутреннее потребление природного газа на 3–5 % к 2030 г. и диверсифицировать экспортную корзину за счёт поставок H_2 и его производных.

Сравнительный анализ показывает, что Германия ориентируется на быстрое формирование внутренней сети водородных трубопроводов, тогда как Япония фокусируется на импортозависимых пилотных проектах. Россия занимает промежуточную позицию, располагая масштабной ГТС и конкурентным производством водорода, но испытывая дефицит отечественных электролизёров¹. Практическая значимость работы заключается в идентификации пороговых технико-экономических параметров смешения и в количественной оценке макроэкономических эффектов, необходимых для разработки координированной стратегии низкоуглеродной трансформации российской энергетики. Также была проведена оценка перспектив поставок водорода на европейский рынок с учётом текущей геополитической динамики развития отношений между РФ и ЕС. Результаты могут служить основой для корректировки налогово-тарифного стимулирования будущих водородных проектов, а также находить свое применение в инвестиционных стратегиях энергокомпаний.

Abstract. In the context of an accelerating global energy transition, adapting existing gas transportation infrastructure to low-carbon energy transportation becomes a key challenge. This study aims to assess the technical and macroeconomic implications of integrating low-carbon hydrogen into the Russian gas transportation system (GTS). The methodological framework includes a comparative analysis of the national strategies of Russia, Germany and Japan,

¹ Электролизёры – это установки, преобразующие электрическую энергию в химическую, разлагая воду (H_2O) на водород (H_2) и кислород (O_2).

scenario demand calculations for hydrogen-methane mixtures, and an assessment of investment needs for modernization of gas distribution and compressor stations.

The obtained results show that at hydrogen concentration up to 15-20 vol.% the existing main pipelines of Russia retain operational reliability, requiring mainly replacement of seals, reconfiguration of gas analyzers and local modernization of metering equipment. Aggregate investments in the renewal of critical infrastructure nodes are estimated at \approx 400 billion rubles, which is commensurate with the costs of European programs for the creation of hydrogen highways. The introduction of hydrogen mixtures can reduce domestic consumption of natural gas by 3-5% by 2030 and diversify the export basket by supplying H₂ and its derivatives.

The comparative analysis shows that Germany is focused on rapid development of a domestic hydrogen pipeline network, while Japan focuses on import-dependent pilot projects. Russia occupies an intermediate position, having a large-scale GTS and competitive generation, but lacking domestic electrolyzers. The practical relevance of the work lies in the identification of threshold technical parameters for blending and in the quantification of the macroeconomic effects needed to develop a coordinated strategy for the low-carbon transformation of the Russian energy sector. It also assessed the prospects for hydrogen supply to the European market, taking into account the current geopolitical dynamics of Russia-EU relations. The results can serve as a basis for adjusting tax and tariff incentives for future hydrogen projects, as well as being used in the investment strategies of energy companies.

Ключевые слова: водород, природный газ, газотранспортная система России, макроэкономические эффекты, энергетический переход, экспорт водорода, декарбонизация, рынок водорода Европы, межтопливная конкуренция

Keywords: hydrogen, natural gas, Russian gas transmission system, macroeconomic effects, energy transition, hydrogen exports, decarbonization, European hydrogen market, inter-fuel competition

Низкоуглеродный водород (прим. «голубой»², «зелёный»³, «биоводород»)

характеризуется широкой сырьевой вариативностью производства и минимальными выбросами CO₂ на этапе конечного энергопотребления. В связи с чем, его развитие рассматривается как одно из ключевых направлений декарбонизации мировой энергетики. По оценкам, к 2050 году водород может удовлетворять значительную долю энергетических потребностей промышленности и транспорта[2, 14].

По оценкам отраслевых аналитиков, совокупное мировое потребление водорода превышает 110 млн. т. / год, из которых около 74 млн. т. приходится на водород высокой чистоты, тогда как оставшиеся ≈ 40 млн. т. используются в составе технологических смесей при выработке тепловой и электрической энергии [6]. Производственная структура остаётся углеродоёмкой: около трёх четвертей выпуска обеспечивается паровой конверсией природного газа, ещё ≈ 23 % – газификацией угля; доля электролиза не превышает 2 %. Ввиду недостаточно развитой транспортно-логистической инфраструктуры полноценный глобальный рынок водорода пока не сформирован. Тем не менее при ускоренном внедрении низкоуглеродных технологий и государственном стимулировании дополнительный спрос на низкоуглеродный водород к 2050 г. может вырасти до 40–170 млн. т. в год, что открывает перспективы для становления крупнотоннажной международной торговли данным энергоносителем [6].

Дальнейшее расширение глобальной водородной отрасли сдерживается, прежде всего, недостаточной зрелостью промышленных технологий транспортировки: их текущие технико-экономические параметры остаются

² «Голубой» водород производится из ископаемого сырья (природного газа) с применением технологий улавливания CO₂ или пиролиза, предусматривающих извлечение водорода с минимальным углеродным следом.

³ «Зелёный» водород производится путём электролиза воды с использованием электроэнергии, вырабатываемой возобновляемыми источниками (ветровыми, солнечными или гидроэлектростанциями), что позволяет получить водород без прямых выбросов углерода и с минимальным воздействием на климат.

неоптимальными и ощутимо повышают итоговую цену. Среди приоритетных решений для крупнотоннажных потоков сегодня рассматривают:

- прокачку по трубопроводам;
- перевозку в сжиженном либо компримированном виде различными видами транспорта;
- транспортировку в химически преобразованном виде, прежде всего в форме аммиака или жидких органических носителей.

Россия обладает крупнейшей в мире газотранспортной системой, в связи с чем, рассматривается возможность использования существующих магистральных и распределительных сетей для транспортировки смесей метана с водородом (H_2/CH_4). Согласно Концепции развития водородной энергетики, Россия к 2035 г. может экспортировать порядка 2–12 млн. т. водорода [6], а в более широком горизонте до 15–50 млн. т. к 2050 г. (что составляет до 30% мирового прироста спроса на H_2). При этом акцент делается на экспортный потенциал. Одним из практических путей реализации «водородного будущего» является смешение H_2 с природным газом и его подача по существующим газотранспортным сетям. Такая стратегия уже реализуется в ряде стран. Так в Германии планируется задействовать более 90% имеющейся инфраструктуры ГТС для транспортировки водородосодержащих смесей [9]. В Японии, испытывающей дефицит собственных ископаемых ресурсов, также развивают поставки водорода (включая сжиженные и метановодородные смеси) для уменьшения зависимости от импорта СПГ [17, 1].

По данным исследования BusinesStat, выпуск водорода в России за 2018–2022 гг. вырос на 16,6 % – с 2,05 до 2,39 млрд. м³, причём около 90 % объёма остаётся во внутризаводском контуре крупных химических и нефтеперерабатывающих предприятий [4]. Такая структура рынка подчёркивает ограниченное использование существующей ГТС для внешних поставок водорода и объясняет, почему смешение с метаном рассматривается

как оперативный путь наращивания «зелёного» сегмента, не требующего радикальной перестройки существующих логистических цепочек. Однако значительная зависимость от импортного оборудования и технологий ограничивает рост крупнотоннажных мощностей. Отсутствие отечественных электролизёров среднего и большого диапазона усиливает технологический разрыв, тогда как экспортно-ориентированные сегменты: производство аммиака и метанола, а также агрохимических удобрений для сельского хозяйства – демонстрируют устойчивый спрос на дополнительный водород [5].

Технические аспекты интеграции водорода

Смешение водорода с природным газом в магистральных трубопроводах – одна из наиболее бюджетных стратегий развития водородной отрасли [15]. При концентрации водорода в смеси на уровне 15–20 об.% существующая инфраструктура требует лишь частичной модернизации [15, 13]. Министерство энергетики США отмечает: при добавлении до 15% водорода в природный газ потребуются лишь «умеренные модификации» инфраструктуры [15]. В странах ЕС Еврокомиссия допускает добавление до 20% водорода в газовые сети [16], Накапливаются данные пилотных проектов: например, в Великобритании проект H21 Leeds показал, что 20% водорода в городских сетях не снижает эффективность оборудования [13]. Соответственно, внедрение H_2/CH_4 -смесей позволит частично использовать существующие сети для доставки водорода без комплексной замены трубопроводной инфраструктуры.

Важно также влияние на газовые характеристики: добавление водорода меняет значение индекса Воббе (англ. Wobbe Index), однако при доле H_2 до 20 об.% изменения индекса Воббе не превышают нормативных допусков [13], и бытовые потребители (отопительные котлы, газовые плиты) могут работать без переналадки при такой смеси. При содержании свыше 20–30% по объёму прогнозируются существенные изменения характеристик газовой

смеси:

в таком случае потребуется замена или модернизация конечного оборудования (например, счётчиков и горелок). Из этого следует, что стратегически безопасный предел водородного компонента на среднесрочную перспективу составляет 10–20% [15].

Требования к материалам трубопроводов и оборудованию также отличаются. Водород может вызывать водородное охрупчивание металлических сплавов и уплотнений, особенно при высоком давлении и наличии дефектов. Тем не менее, исследования указывают, что при надлежащих режимах эксплуатации риск деградации металла под воздействием водорода остаётся сравнительно низким: высококачественная сталь современных труб выдерживает многолетнюю транспортировку смесей вплоть до 20–30% водорода (прим. «Северный поток» был рассчитан на 70% H_2 [13]). Критическим фактором является динамика загрузки и наличие микротрещин, поэтому программы модернизации должны включать усиленный контроль герметичности и замену устаревших/изношенных участков.

Модернизация инфраструктуры (ГРС и компрессоры)

Интеграция водорода в ГТС неизбежно потребует инвестиций в переоснащение узлов газораспределения и перекачки. Для России ключевыми объектами модернизации станут газораспределительные станции (ГРС), газораспределительные установки (ГРУ) и компрессорные станции (КС). По данным ПАО «Газпром», суммарная протяжённость магистральных газопроводов РФ превысила 180,6 тыс. км [7], а мощность ≈ 254 компрессорных станций – почти 47,1 тыс. МВт. ГРС «Газпрома» насчитывают несколько тысяч узлов, что отражает огромную географию распределения газа до потребителя. При смешении H_2/CH_4 может потребоваться замена уплотнений и регуляторов давления на водородоустойчивые аналоги, перекалибровка газоанализаторов и меры по

предотвращению утечек (водород имеет более высокую проницаемость). Значительные ресурсы потребуются на переоборудование ГРС: комплексная модернизация около 4 тыс. станций (с учётом ГРУ и ГРП) может обойтись в сотни млрд. руб. Компрессорные станции (КС), особенно газопоршневые и газотурбинные, также подлежат адаптации. Для чистого водорода и высоких концентраций H_2/CH_4 требуется иная технология сжатия: компрессоры должны учитывать меньшую молекулярную массу газа, что влияет на термодинамику процесса. Дополнительные затраты ожидаются на системы водяного охлаждения, очистки H_2 и новые системы контроля безопасности. Обобщая, модернизация КС оценивается экспертами в десятки–сотни млрд руб, сопоставимо с переоборудованием ГРС.

Социально-экономические риски смешения водорода с ПГ

Недавний отчёт некоммерческого аналитического центра Energy Innovation показал, что инициатива американских газовых компаний по добавлению до 20 об.% H_2 в бытовые и энергетические сети экономически неоправданна. Моделирование затрат для штатов Калифорния, Аризона и Мэн продемонстрировало, что даже при оптимистичных ценах на «зелёный» водород конечные тарифы на тепло вырастут на 9–20 %, а себестоимость сокращения выбросов превысит 500 \$/т. CO_2 -экв., что значительно дороже, чем прямое электрифицирование отопления или применение тепловых насосов. При этом удельное снижение выбросов оценивается лишь в 1-7 % вследствие низкой теплотворной способности H_2 и неизбежных утечек, поэтому авторы призывают регуляторов «проявлять скепсис» к проектам, финансируемым за счёт платежей потребителей [10,11].

Кроме прямых расходов отчёт подчёркивает сопутствующие социально-экологические риски: рост вероятности взрывоопасных ситуаций из-за большей диффузионной способности водорода и сохранение вредной бытовой эмиссии метана в зданиях малообеспеченных районов. Аналитики указывают, что такие факторы усугубляют существующие экологические

неравенства и откладывают декарбонизацию, «консервируя» газовую инфраструктуру, тогда как альтернативные меры (масштабирование ВИЭ, термopомпы, глубокая электрическая модернизация) обеспечивают большее сокращение выбросов при меньших совокупных издержках. Следовательно, смещение H_2 должно рассматриваться лишь как краткосрочный нишевый инструмент, а не как системная стратегия для достижения климатических целей [10].

Инвестиционные и технологические драйверы отрасли

Крупнейшим инфраструктурным проектом может стать атомная энерготехнологическая станция для производства водорода стоимостью 500 млрд. руб., которую планируют построить к 2035 г. в Республике Татарстан в рамках новой ОЭЗ «Алабуга-Менделеевск». Проект реализуется совместно с Росатомом и рассматривается как якорный элемент регионального водородного кластера, способный обеспечить масштабные поставки низкоуглеродного H_2 для внутреннего потребления и экспорта. Отечественная водородная отрасль активно развивает свой R&D-потенциал. Так, исследователи Института катализа СО РАН разработали и запатентовали электрохимическую установку, обеспечивающую извлечение свыше 90 % водорода с чистотой 99,96 % из углеводородов, спиртов и простых эфиров. Технология открывает перспективы для промышленного производства сверхчистого H_2 и интеграции в топливные элементы [8].

Сравнение отраслевых подходов: Германия и Япония

Германия, продвигающая цель углеродной нейтральности, планирует к 2030 году иметь порядка 10 ГВт мощностей электролизеров и крупномасштабную водородную сеть. Немецкие газотранспортные операторы уже представили проекты на 5900 км будущих трубопроводов для водорода, по большей части конвертированных из существующих [9]. Следует отметить, что газотранспортная инфраструктура Германии включает

около 40 тыс. км магистральных и порядка 470 тыс. км распределительных трубопроводов, что обеспечивает высокую степень адаптивности существующей сети к задачам водородной трансформации [10]. С экономической точки зрения Германия готова тратить десятки млрд. евро на создание H₂-инфраструктуры: по оценке Reuters, расходы до 2030 г. составят 65–80 млрд. евро (включая электролизёры и сети) [14]. Такая масштабность объясняется необходимостью частичного замещения импортного ПГ и снижения выбросов CO₂. Еврокомиссия прогнозирует, что за счёт водородных смесей к 2030 г. можно сократить европейский импорт газа примерно на 3% [16].

В Японии политика энергоперехода акцентирована на декарбонизации за счёт H₂ и синтетических углеводородов. Однако в отличие от Европы Япония почти полностью зависит от импорта первичного топлива. В стратегии Японии водород рассматривается как заменитель СПГ в электроэнергетике и тяжелой промышленности. Так, компания Tokyo Gas анонсировала планы по постепенному вводу «электрометана»: 1% от поставок к 2030 г. (\approx 60 тыс. т. эквивалента) и примерно 10% к 2040 г. [17]. В марте 2024 г. Tokyo Gas ввела в эксплуатацию первый в Японии водородный трубопровод протяжённостью 1 км, поставляя порядка 150 м³/ч чистого H₂ потребителям в районе Харюми. Таким образом, Япония экспериментирует с малыми масштабами смешения, но не имеет крупных национальных магистралей для водорода – большой акцент делается на импорт низкоуглеродного водорода и его химических носителей (например, аммиака).

Сравнительная оценка показывает, что экономически поддержка со стороны государства и инвесторов в Германии выше, в то время как

в Японии затраты на H₂ инфраструктуру ограничены отдельными пилотными и частными проектами⁴.

Экономический эффект и прогнозы

Интеграция водорода в газовые сети несёт многоаспектные экономические последствия:

Во-первых, в случае России внедрение водорода в газовую инфраструктуру может повлиять на структуру внутреннего потребления природного газа и экспортных объёмов. Рост доли водорода в энергетическом балансе способствует снижению потребности в ископаемых энергоресурсах для обеспечения заданного уровня энергоснабжения. Однако для России есть и обратная сторона: прогнозы предполагают, что при благоприятных сценариях экспортный доход от продажи 2–10 млн. т. H₂ может составить 3–30 млрд. долл. / год к 2040–2050 гг.

Во-вторых, внутренний энергетический переход. Внедрение водорода способствует декарбонизации промышленности (металлургия, химия) и транспорта (авиация, грузоперевозки), снижая выбросы. С экономической точки зрения это означает рост «зеленой» компоненты ВВП и возникновение новых отраслей – производства электролизёров, систем хранения H₂, сервисных услуг по подготовке газа.

По данным немецких исследований, к 2040 г. совокупный объём рынка водородной отрасли в ЕС может достигать десятков млрд. евро [3]. В России эффект будет более умеренным, но при аккуратном управлении рыночными механизмами суммарный вклад в ВВП может исчисляться единицами–десятками трлн. руб. к 2050 г., учитывая сырьевую базу и логистические возможности. Инвестиции в расширение газотранспортной и электросетевой инфраструктуры приведут к мультипликативному экономическому эффекту

⁴ В Японии приоритет развития водородной энергетики смещён в сторону конечных потребителей, прежде всего транспорта и отдельных промышленных сегментов.

– компании будут заказывать отечественное оборудование, технологические инновации, что создаст спрос на инженерные и строительные работы.

В-третьих, инвестиционные издержки и выгоды. Создание «водородной экономики» требует значительных вложений. Российские расчёты, подтверждающие, что только собственная инфраструктура потребует десятков–сотен млрд. руб. При этом успешное развитие водородной энергетики позволит увеличить экспортный потенциал страны (новые рынки и продукты: H_2 , аммиак, синтез-метан) и снизить углеродный след экономики. Чистый эффект для бюджета и ВВП зависит от того, перекрыет ли рост доходов от H_2 -экспорта и налогообложения затраты на модернизацию[2].

Задача государства – обеспечить экономические стимулы (субсидии, тарифные схемы), чтобы инвестиции в модернизацию сети и развитие производства H_2 приносили заметный эффект: снижение углеродной интенсивности промышленности, рост доходов от новых экспортных товаров и создание новых отраслей. Только такой сбалансированный подход, как сочетание технических мер и макроэкономического планирования, позволит реализовать потенциал «зелёного» и «голубого» водорода в масштабах российской экономики на горизонты 2030–2040 гг.

Приоритизация «голубого» водорода на начальном этапе, основанная на концепции «bridge technology concept» в энергетических переходах, позволяет использовать существующие конкурентные преимущества газового сектора и инфраструктуры для ускоренного формирования внутреннего рынка, диверсификации инвестиционных рисков и генерации ресурсов для последующего масштабирования более капиталоемких «зелёных» мощностей. Разработка чётких стандартов сертификации низкоуглеродного водорода (для «голубого» – не только улавливание CO_2 свыше 90%, но и достижение $\geq 70\%$ сокращения выбросов по полному жизненному циклу с учётом контроля метановых утечек по лучшим

практикам, напр. OGMP 2.0; для «зелёного» – соответствие критериям Renewable Fuels of Non-Biological Origin, EU RFNBO; при этом CertifHy выступает общеевропейской схемой гарантий происхождения, а формируемый европейский Low-Carbon Hydrogen Standard адресует «голубой») является институциональной предпосылкой для минимизации транзакционных издержек, повышения доверия рынка и соответствия требованиям ключевых импортёров.

Стратегия должна предусматривать синергию и перекрёстное финансирование технологий: инвестиции в инфраструктуру транспорта и хранения, стимулируемые развитием «голубого» водорода, создают платформу для последующего внедрения «зелёного», а развитие отечественных компетенций в CCS/CCUS, критически важных для «голубого», формирует технологический кластер, применимый для декарбонизации других энергоёмких отраслей, тем самым максимизируя мультипликативный эффект государственных стимулов в рамках системного подхода.

Перспективы российско-европейского сотрудничества по водороду

Первым и наиболее капиталоемким сценарием является техническая модернизация существующих экспортных магистралей (например, «Ямал-Европа») под транспортировку H_2/CH_4 -смесей либо чистого низкоуглеродного водорода. Техническая пропускная способность трубопроводов из России в ЕС превышает 265 млрд. m^3 в год – значительно больше, чем у действующих маршрутов из Норвегии или Северной Африки. Даже частичная конверсия 20–25 % мощностей позволила бы перемещать до 2 млн. т. H_2 ежегодно без строительства новых морских терминалов.

Второй вектор связан с внешними «водородными коридорами» REPowerEU. План Комиссии предусматривает три импорта – Средиземноморский, Североморский и, «когда позволят условия, – украинский». Российский низкоуглеродный водород мог бы поступать в ЕС

именно через восточно-украинский коридор, используя подземные хранилища ГТС Украины и смешиваясь с местным «зелёным» H_2 из ВИЭ-проектов Восточной Европы. Потенциал поставок оценивается субъектами ЕНВ в 10 ГВт эквивалентной протяжённости к 2030 г., при этом сертификация «low-carbon» (≤ 3 кг CO_2 -экв./кг H_2) стала бы ключевым элементом двусторонних соглашений.

Выводы

Внедрение водорода в газовую инфраструктуру России представляется технически реализуемым и экономически реализуемым направлением энергоперехода. Безопасная интеграция водородосодержащих смесей с концентрацией H_2 в пределах 10–20 об.% в существующую магистральную и распределительную газотранспортную инфраструктуру, позволит расширить внутреннее использование и создать основу для экспорта водорода без строительства принципиально новых магистралей. В макроэкономическом разрезе полноценная интеграция низкоуглеродного водорода способна повысить экспортный потенциал и добавить долю высокотехнологичного производства в ВВП.

Список источников

1. Берёзкин М., Синюгин О. Развитие водородной энергетики на примере Японии [Электронный ресурс] // Энергетическая политика. — 2023. — 23 мая. — URL: <https://energypolicy.ru/razvitie-vodorodnoj-energetikina-primere-yaponii/regiony/2023/13/23/> (дата обращения: 27.05.2025).
2. Веселов Ф., Соляник А. Экономика производства водорода с учетом экспорта и российского рынка [Электронный ресурс] // Энергетическая политика. — 2022. — 4 сент. — URL: <https://energypolicy.ru/ekonomika-proizvodstva-vodoroda-s-uchetom-eksporta-i-rossijskogo-rynka/energoperehod/2022/09/04/> (дата обращения: 26.05.2025).
3. Институт проблем естественных монополий (ИПЕМ). Водород: формирование рынка и перспективы России [Электронный ресурс]. —

Москва: ИПЕМ, 2022. — URL: https://decarbon.ru/wp-content/uploads/2022/09/Рынок-водорода_Доклад-ИПЕМ_апрель-2022.pdf

(дата обращения: 27.05.2025).

4. Как бренду повысить точность рекомендаций покупателям [Электронный ресурс] // РБК Маркетинг. — URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13954/> (дата обращения: 27.05.2025).

5. Карасевич В. Перспективы развития водородной промышленности России [Электронный ресурс] // Нефтегазовая вертикаль. — 2024. — 16 сент. — URL: <https://ngv.ru/articles/perspektivy-razvitiya-vodorodnoy-promyshlennosti-rossii/> (дата обращения: 27.05.2025).

6. Правительство Российской Федерации. Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Официальный сайт Правительства РФ. — 2021. — 5 авг. — URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (дата обращения: 27.05.2025).

7. Производственная деятельность ПАО «Газпром» [Электронный ресурс] // Официальный сайт ПАО «Газпром». — URL: <https://www.gazprom.ru/about/production/> (дата обращения: 27.05.2025).

8. Российские ученые создали установку для получения сверхчистого водорода [Электронный ресурс] // НАНГС. — 2025. — 25 апр. — URL: <https://nangs.org/news/renewables/hydrogen/rossijskie-uchenye-sozdali-ustanovku-dlya-polucheniya-sverkhchistogo-vodoroda> (дата обращения: 27.05.2025).

9. Сидорович В. Газотранспортная система ФРГ готовится к перекачке водорода [Электронный ресурс] // RenEn.ru. — 2020. — 4 февр. — URL: <https://renen.ru/germany-gas-transmission-system-prepares-for-hydrogen/> (дата обращения: 27.05.2025).

10. Baldwin S., Esposito D., Tallackson H. Assessing the Viability of Hydrogen Proposals: Considerations for State Utility Regulators and Policymakers

[Электронный ресурс] // Energy Innovation. — 2022. — 28 марта. — URL: <https://energyinnovation.org/report/assessing-the-viability-of-hydrogen-proposals-considerations-for-state-utility-regulators-and-policymakers/> (дата обращения: 27.05.2025).

11. Collins L. Hydrogen blending will raise consumer costs and risk public health while barely reducing emissions, US think tank [Электронный ресурс] // Recharge. — 2022. — 19 апреля. — URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/hydrogen-blending-will-raise-consumer-costs-and-risk-public-health-while-barely-reducing-emissions-us-think-tank/2-1-1193416> (дата обращения: 27.05.2025).

12. Findlay C. Repurposing natural gas infrastructure for hydrogen [Электронный ресурс] // Siemens Energy. — 2020. — 11 сент. — URL: <https://www.siemens-energy.com/us/en/home/stories/repurposing-natural-gas-infrastructure-for-hydrogen.html> (дата обращения: 27.05.2025).

13. Fritsche U.R. Renewable Gases – Hydrogen in the Grid: Synthesis Report [Электронный ресурс] / IEA Bioenergy Task 41. — Darmstadt, 2022. — URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/02/Renewable-Gases-H2-in-the-grid.pdf> (дата обращения: 27.05.2025).

14. How Germany's hydrogen economy could transform energy use [Электронный ресурс] // Reuters. — 2024. — 25 июля. — URL: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/how-germanys-hydrogen-economy-could-transform-energy-use-2024-07-25/> (дата обращения: 27.05.2025).

15. Hydrogen Pipelines [Электронный ресурс] // U.S. Department of Energy. — URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-pipelines> (дата обращения: 27.05.2025).

16. Parkes R., Collins L. REPowerEU: More than a million tonnes of green hydrogen will be used for gas blending in 2030, says Commission [Электронный ресурс] // Recharge. — 2022. — 19 мая. — URL:

<https://www.rechargenews.com/energy-transition/repowereu-more-than-a-million-tonnes-of-green-hydrogen-will-be-used-for-gas-blending-in-2030-says-commission/2-1-1221967> (дата обращения: 27.05.2025).

17. Tokyo Gas to start Japan's first pipeline hydrogen supply March 29 [Электронный ресурс] // S&P Global Commodity Insights. — 2024. — 28 марта. — URL: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/news-research/latest-news/energy-transition/032824-tokyo-gas-to-start-japans-first-pipeline-hydrogen-supply-march-29> (дата обращения: 27.05.2025).

References

1. Beryozkin M., Sinyugin O. Razvitie vodorodnoj ènergetiki na primere Yaponii [E`lektronny`j resurs] // E`nergeticheskaya politika. — 2023. — 23 maya. — URL: <https://energypolicy.ru/razvitie-vodorodnoj-energetikina-primere-yaponii/regiony/2023/13/23/> (data obrashheniya: 27.05.2025).
2. Veselov F., Solyanik A. E`konomika proizvodstva vodoroda s uchetom e`ksporta i rossijskogo ry`nka [E`lektronny`j resurs] // E`nergeticheskaya politika. — 2022. — 4 sent. — URL: <https://energypolicy.ru/ekonomika-proizvodstva-vodoroda-s-uchetom-eksporta-i-rossijskogo-rynka/energoperehod/2022/09/04/> (data obrashheniya: 26.05.2025).
3. Institut problem estestvenny`x monopolij (IPEM). Vodorod: formirovanie ry`nka i perspektivy` Rossii [E`lektronny`j resurs]. — Moskva: IPEM, 2022. — URL: https://decarbon.ru/wp-content/uploads/2022/09/Ry`nok-vodoroda_Doklad-IPEM_aprel`-2022.pdf (data obrashheniya: 27.05.2025).
4. Kak brendu povy`sit` tochnost` rekomendacij pokupatelyam [E`lektronny`j resurs] // RBK Marketing. — URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/13954/> (data obrashheniya: 27.05.2025).
5. Karasevich V. Perspektivy` razvitiya vodorodnoj promy`shlennosti Rossii [E`lektronny`j resurs] // Neftegazovaya vertikal`. — 2024. — 16 sent. — URL: <https://ngv.ru/articles/perspektivy-razvitiya-vodorodnoy-promyshlennosti-rossii/> (data obrashheniya: 27.05.2025).

6. Pravitel'stvo Rossijskoj Federacii. Konceptsiya razvitiya vodorodnoj e`nergetiki v Rossijskoj Federacii [E`lektronny`j resurs] // Oficial`ny`j sajt Pravitel'stva RF. — 2021. — 5 avg. — URL: <http://static.government.ru/media/files/5JFns1CDAKqYKzZ0mnRADAw2NqcVsexl.pdf> (data obrashheniya: 27.05.2025).
7. Proizvodstvennaya deyatel`nost` PAO «Gazprom» [E`lektronny`j resurs] // Oficial`ny`j sajt PAO «Gazprom». — URL: <https://www.gazprom.ru/about/production/> (data obrashheniya: 27.05.2025).
8. Rossijskie ucheny`e sozdali ustanovku dlya polucheniya sverxchistogo vodoroda [E`lektronny`j resurs] // NANGS. — 2025. — 25 apr. — URL: <https://nangs.org/news/renewables/hydrogen/rossijskie-uchenye-sozdali-ustanovku-dlya-polucheniya-sverkhchistogo-vodoroda> (data obrashheniya: 27.05.2025).
9. Sidorovich V. Gazotransportnaya sistema FRG gotovitsya k perekachke vodoroda [E`lektronny`j resurs] // RenEn.ru. — 2020. — 4 fevr. — URL: <https://renen.ru/germany-gas-transmission-system-prepares-for-hydrogen/> (data obrashheniya: 27.05.2025).
10. Baldwin S., Esposito D., Tallackson H. Assessing the Viability of Hydrogen Proposals: Considerations for State Utility Regulators and Policymakers [Электронныйресурс] // Energy Innovation. — 2022. — 28 марта. — URL: <https://energyinnovation.org/report/assessing-the-viability-of-hydrogen-proposals-considerations-for-state-utility-regulators-and-policymakers/> (дата обращения: 27.05.2025).
11. Collins L. Hydrogen blending will raise consumer costs and risk public health while barely reducing emissions, US think tank [Электронный ресурс] // Recharge. — 2022. — 19 апреля. — URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/hydrogen-blending-will-raise-consumer-costs-and-risk-public-health-while-barely-reducing-emissions-us-think-tank/2-1-1193416> (дата обращения: 27.05.2025).

12. Findlay C. Repurposing natural gas infrastructure for hydrogen [Электронный ресурс] // Siemens Energy. — 2020. — 11 сент. — URL: <https://www.siemens-energy.com/us/en/home/stories/repurposing-natural-gas-infrastructure-for-hydrogen.html> (дата обращения: 27.05.2025).

13. Fritsche U.R. Renewable Gases – Hydrogen in the Grid: Synthesis Report [Электронный ресурс] / IEA Bioenergy Task 41. — Darmstadt, 2022. — URL: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/02/Renewable-Gases-H2-in-the-grid.pdf> (дата обращения: 27.05.2025).

14. How Germany's hydrogen economy could transform energy use [Электронный ресурс] // Reuters. — 2024. — 25 июля. — URL: <https://www.reuters.com/sustainability/climate-energy/how-germanys-hydrogen-economy-could-transform-energy-use-2024-07-25/> (дата обращения: 27.05.2025).

15. Hydrogen Pipelines [Электронный ресурс] // U.S. Department of Energy. — URL: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-pipelines> (дата обращения: 27.05.2025).

16. Parkes R., Collins L. REPowerEU: More than a million tonnes of green hydrogen will be used for gas blending in 2030, says Commission [Электронный ресурс] // Recharge. — 2022. — 19 мая. — URL: <https://www.rechargenews.com/energy-transition/repowereu-more-than-a-million-tonnes-of-green-hydrogen-will-be-used-for-gas-blending-in-2030-says-commission/2-1-1221967> (дата обращения: 27.05.2025).

17. Tokyo Gas to start Japan's first pipeline hydrogen supply March 29 [Электронный ресурс] // S&P Global Commodity Insights. — 2024. — 28 марта. — URL: <https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/news-research/latest-news/energy-transition/032824-tokyo-gas-to-start-japans-first-pipeline-hydrogen-supply-march-29> (дата обращения: 27.05.2025).

© Вернаховский Г.А, 2025. Московский экономический журнал, 2025 № 7.