

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

М.А. Плетнев, А.Н. Копысов

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
г. Ижевск, Россия

ORCID*: <http://orcid.org/0000-0003-3275-2699>, pletnevm@list.ru

Резюме: *ЦЕЛЬ.* Рассмотреть особенности социально-экономического развития России в условиях четвертого энергетического перехода, который основан на использовании возобновляемых источников энергии и водорода в качестве энергоносителя. Выполнить сравнительный анализ подходов к разработке и реализации программ водородной энергетики в развитых странах и в России. *МЕТОДОЛОГИЯ.* Для решения поставленной задачи применялся метод анализа нормативной базы, монографической, научной и аналитической литературы, программных документов различного уровня, реальных шагов органов власти при реализации четвертого энергетического перехода. *ОБСУЖДЕНИЕ.* Показано, что действующая экономическая модель энергопотребления основана на возрастании энтропии, что приводит к необратимым изменениям мировой экосистемы. Четвертый энергетический переход отличается тем, что предусматривают снижение энтропии за счет аккумуляирования рассеянной энергии и локализации продуктов ее производства. При этом переход к использованию возобновляемых источников энергии несет экономические риски, связанные с потерей сложившихся рынков традиционных энергоносителей, снижение производства продукции услуг для нефтегазового сектора экономики, введением «углеродного налога» на экспортную продукцию российских компаний, а также репутационные издержки. Показано, что Россия имеет ряд важных преимуществ в развитии водородной энергетики, которые могут привести к выходу на международные рынки технологий и энергоносителей. Обоснована важность работы с населением по разъяснению преимуществ зеленой энергетики, важность согласованных действий Правительства Российской Федерации и бизнеса с целью снижения издержек при переходе к новой энергетике. *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Сформулированы предложения, которые целесообразно учесть в рамках реализации Плана мероприятий («дорожной карты») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года:

1. Дополнить дорожную карту системой мероприятий по донесению до населения необходимости внедрения зеленой энергетики, включая программы дополнительного, общего среднего и высшего образования.
2. Изменить структуру ФГОС общего среднего образования в части включения в перечень обязательных предметов химию и биологию с целью обеспечения кадрами водородной энергетики.
3. Определить приоритетность проектов по возобновляемым источникам энергии и водородной энергетики при формировании конкурсной документации институтами развития РФ.
4. Обеспечить реальную декарбонизацию энергетики страны для сохранения позиций экспорта сырьевых, продовольственных и промышленных товаров российских производителей.

Ключевые слова: четвертый энергетический переход, водородная энергетика, энтропия, экономические риски, дорожная карта по развитию водородной энергетики.

Для цитирования: Плетнев М.А., Копысов А.Н. Социально-экономические проблемы развития водородной энергетики // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 2. С. 36-45. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-2-36-45.

SOCIO-ECONOMIC PROBLEMS OF HYDROGEN ENERGY DEVELOPMENT

MA. Pletnev, AN. Kopysov

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

pletnevm@list.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3275-2699>

Abstract: *THE PURPOSE.* To consider the features of the socio-economic development of Russia in the context of the fourth energy transition, which is based on the use of renewable energy sources and hydrogen as an energy carrier. To carry out a comparative analysis of approaches to the development and implementation of hydrogen energy programs in developed countries and in Russia. *METHODOLOGY.* To solve this problem, the method of analyzing the regulatory framework, monographic, scientific and analytical literature, program documents of various levels, real steps of the authorities in the implementation of the fourth energy transition was used. *DISCUSSIONS.* The current economic model of energy production and consumption is based on an increase in entropy, which leads to irreversible changes in the global ecosystem. The fourth energy transition involves the delocalization of energy production and the use of dissipated energy, which leads to a decrease in entropy. The transition to the use of renewable energy sources carries economic risks associated with the loss of established markets for traditional energy sources, a reduction in the production of products and services for the oil and gas sector of the economy, as well as the introduction of a "carbon tax" on the export products of Russian companies. Russia has achieved certain results in the development of hydrogen energy technologies, which can lead to access to international markets for hydrogen and technologies for its production. It is necessary to work with the public to explain the benefits of green energy. It is important to coordinate the actions of the Government of the Russian Federation and business to reduce costs during the transition to new energy. *CONCLUSION.* The authors have proposed measures that must be taken into account when implementing the Action Plan ("road map") for the development of hydrogen energy in the Russian Federation until 2024. 1. To supplement the roadmap with a system of measures to inform the population of the need to introduce green energy, including programs of additional, general secondary and higher education. 2. To change the structure of the Federal State Educational Standard of general secondary education in terms of including chemistry and biology in the list of compulsory subjects in order to provide personnel with hydrogen energy. 3. Determine the priority of projects on renewable energy sources and hydrogen energy in the formation of tender documentation by the development institutes of the Russian Federation. 4. Ensure real decarbonization of the country's energy sector to maintain the export positions of raw materials, food and industrial goods of Russian manufacturers.

Keywords: fourth energy transition, hydrogen energy, entropy, economic risks, a roadmap for the development of hydrogen energy.

For citation: Pletnev MA, Kopysov AN. Socio-economic problems of hydrogen energy development. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021; 23(2): 36-45. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-2-36-45.

Введение

Четвертый энергетический переход явился стимулом к развитию возобновляемой энергетики (ВИЭ), интеллектуальных электрических систем и использования водорода в качестве энергоносителя. В мире реализуются крупные проекты по развитию ВИЭ, производства, транспортировки и использования водорода в качестве топлива для различных видов транспорта, производства «зеленого» углеводородного топлива, газификации жилого фонда. Япония [1], Германия [2], США [3], Китай [4] и ряд других стран приняли «Зеленые» энергетические стратегии, смысл которых ясно изложен в Энергетической стратегии Европы [5]. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 г. № 2634-р утвержден план мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года [6].

Министерство энергетики считает, что Россия обладает важными конкурентными преимуществами по развитию водородной энергетики: наличием значительного энергетического потенциала и ресурсной базы, наличием недозагруженных

генерирующих мощностей, географической близостью к потенциальным потребителям водорода, научным заделом в сфере производства, транспортировки и хранения водорода, а также наличием действующей транспортной инфраструктуры. Это может позволить России в перспективе занять место лидера в сфере производства и поставок водорода на глобальный рынок.

Для реализации имеющегося в стране потенциала и достижения заложенных в Энергетической стратегии целей планом мероприятий («дорожной картой») по развитию водородной энергетики предусмотрены следующие основные направления работ:

- разработка отечественных низкоуглеродных технологий производства водорода методами конверсии, пиролиза метана, электролиза и других технологий, в том числе с возможностью локализации зарубежных технологий;
- увеличение масштабов производства водорода из природного газа, а также с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), атомной энергии;
- обеспечение законодательной поддержки производства водорода;
- разработка и реализация мер государственной поддержки создания инфраструктуры транспортировки и потребления водорода и энергетических смесей на его основе;
- стимулирование спроса на внутреннем рынке на топливные элементы на водороде в российском транспорте, а также на использование водорода и энергетических смесей на его основе в качестве накопителей и преобразователей энергии для повышения эффективности централизованных систем энергоснабжения;
- создание нормативной базы в области безопасности водородной энергетики; интенсификация международного сотрудничества в области развития водородной энергетики и выход на зарубежные рынки.

По оценкам экспертов, к 2050 году доля водорода в мировом энергетическом балансе может увеличиться в разы. Во многом это связано с развивающимся в мире трендом на декарбонизацию экономики и снижение антропогенного воздействия на окружающую среду. Водородная энергетика рассматривается как одно из ключевых направлений достижения углеродной нейтральности, поскольку водород можно получать из низкоуглеродных источников, а его использование в качестве энергоносителя не приводит к выбросам парниковых газов [6].

В России задача по развитию водородной энергетики закреплена в ключевом отраслевом документе стратегического планирования – актуализированной Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года [7].

Методология

Для решения поставленной задачи применялся метод анализа нормативной базы, монографической, научной и аналитической литературы, программных документов различного уровня, реальных шагов органов власти при реализации четвертого энергетического перехода.

Обсуждение

В России задача по развитию водородной энергетики закреплена в ключевом отраслевом документе стратегического планирования – актуализированной Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года. Однако этот документ не всегда увязан с уже принятой до этого нормативной базой и требует уточнений [7].

В большинстве документов, разработанных для развития водородной энергетики в России и в мире, главным образом обсуждаются технологические, организационные и нормативно-правовые проблемы развития новой энергетики [8]. Однако важнейшей особенностью четвертого энергетического перехода является не технология, а принципиальное изменение подхода к использованию энергетических ресурсов. Существующая в настоящее время система обеспечения энергией построена главным образом на извлечении концентрированных запасов энергетического сырья на различных месторождениях, последующей транспортировки, выработки и распределения энергии. С точки зрения термодинамики, как отмечает Дж. Рифкин, это энергетика и построенная на ней экономика возрастания энтропии [9]. Изменения в мировой экосистеме последних десятилетий показывают, что уменьшение количества кислорода происходит более чем на 10 млн. тонн в год. Следовательно, содержание углекислого газа в атмосфере может достичь критической ситуации. По расчетам некоторых ученых известно, что увеличение количества CO₂ в 2 раза в атмосфере увеличит среднюю температуру Земли на 1,5-2 градуса из-за парникового эффекта. Вследствие повышения температуры происходит быстрое таяние ледников, которое

приводит к серьезному изменению всего окружающего мира, а также, возможен подъем уровня Мирового океана на 5 м [10]. Иначе говоря. Цепочка хозяйственной деятельности человечества выстроена следующим образом: поиск крупной локализации ресурсов (месторождений), добыча, транспортировка, переработка на энергию либо на продукты потребления, использование и делокализация продуктов потребления (зола, шлаки, углекислый газ, тепловые выбросы в системах охлаждения, продукты коррозии металлов и т.д.). результатом этой деятельности является уже упомянутое таяние горных и морских ледников, обезвоживание громадных территорий и последующее опустынивание – все это и есть примеры возрастания энтропии в масштабе всего мира.

Предложенная альтернатива в рамках четвертого энергетического перехода базируется на принципиально иной термодинамической модели: резкое снижение добычи и потребления углеродных энергоресурсов и снижение и выбросов углекислого газа, концентрирование рассеянной энергии для формирования энергетических потоков: ветра, солнечного излучения, гидроресурсов, тепловой энергии Земли, биомассы. Очевидно, что снижение энтропии при этом требует дополнительного расхода этой самой энергии (и денег), но при этом достигается главная цель – снижение разрушительных последствий предыдущего цикла производства и распределения энергии.

Сама постановка вопроса в этом контексте предполагает, что антиэнтропийная энергетическая политика не может быть реализована легко, поскольку несет в себе целый ряд вызовов существующей системе производства и перераспределения разных подсистем валового мирового продукта: денежных потоков, производственных и логистических схем, нормативно-правовой базы, систем обеспечения безопасности. Но самым сложным является изменение в мировоззрении людей, которым предстоит реализовывать все это, устраивать свою жизнь во всех ее проявлениях.

Целые поколения воспитаны на известной фразе И.В. Мичурина: «Мы не можем ждать милостей от природы, взять их у нее – наша задача» [11]. Не все помнят, что эта фраза была посвящена деятельности селекционеров, а не энергетических компаний, но сама фраза стала девизом развития экономики эксплуатации ресурсов.

В работу по реализации модели роста энтропии вовлечены громадные деньги, человеческие и интеллектуальные ресурсы. Прогноз мирового рынка нефти до 2040 года показывает, что до 2040 года потребность в инвестициях составит порядка 11 трлн. долл. США, из них 8,3 трлн. долл. США придется на добычу, 1,5 трлн. долл. США – на переработку и 1 трлн. долл. США – на транспортировку [12]. При этом потребление углеродных видов топлива будет неуклонно сокращаться, следовательно, снизится привлекательность инвестиций для потенциальных инвесторов [8].

Прогнозируемые изменения в структуре потребления энергоресурсов приведут к изменению в структуре экспорта российских энергоносителей, включая нефть, газ, уголь, электроэнергию. Кроме того, использование Зеленой энергии приведет к изменению структуры потребления энергоресурсов, материалов и оборудования внутри страны [8]. На примере развитых стран Европы и Азии мы видим, что для электрификации железной дороги не потребуется проводной сети, поскольку электричество генерируется водородными топливными элементами [13]. Автобусы в крупных городах также оснащаются топливными элементами на водороде [14]. Аналогичная работа начата в авиации [15]. Однако выводить из оборота имеющееся оборудование на газовом топливе экономически не целесообразно, поэтому энергетические компании начали разработку проектов по производству синтетического жидкого топлива из углекислого газа и Зеленого водорода, который можно использовать в имеющихся транспортных средствах без риска санкций за углеродный след [16].

Реализация в Европе и Азии мер по развитию Зеленой энергетики приведет к 2030 году к существенному снижению потребности этих регионов в традиционных энергоносителях, следовательно, к снижению российского экспорта. Кроме того, введение «углеродного налога» изменит конкурентоспособность не только энергоносителей, но и всей продукции, произведенной в России с использованием электроэнергии, полученной с помощью углеродной генерации. Одна из крупнейших в мире сетей, оказывающих профессиональные услуги, и одна из аудиторских компаний Большой четверки наряду с *Deloitte, Ernst & Young и PwC*, компания *KPMG* предсказала, что при базовом варианте налог будет введен в 2025 году и распространится только на прямые выбросы парниковых газов (непосредственно при производстве продукции). В этом случае нагрузка для российских экспортеров составит €33,3 млрд в 2025–2030 годах (более \$40 млрд) [17].

Важнейшим фактором влияния энергетического перехода будет снижение прибыли в традиционной энергетике, что приведет к постепенному сокращению объемов инвестиций, исследований, потребности в сырье, материалах и оборудовании, снижения потребности в сервисных и транспортных услугах и, как следствие, к сокращению числа занятых в отрасли и в связанных с нею отраслях. В настоящее время в российские предприятия освоили выпуск продукции и услуг для нефтегазового комплекса, их доля в общем объеме поставок предприятиям ТЭК в 2020 году составит более 50% [18] продукция многих из них вышла на зарубежные рынки. Большое число транспортных компаний обслуживают перевозку угля, нефти, газа и нефтепродуктов. Поэтому в настоящее время важно грамотно сориентировать бизнес на подготовку к изменению структуры спроса на их продукцию и услуги, что можно сделать через инструменты РВК, фонда Бортника и другие институты развития, обозначить приоритеты в проектах по Постановлению 218, ФРП и т.д. Хочется, чтобы не повторилась история с СПГ, когда для первых проектов в этой области в России пришлось использовать импортные готовые решения.

В последние годы в России проводится все больше исследований, связанных с развитием возобновляемых источников энергии [19,20] и других компонентов четвертого энергетического перехода. Начаты работы по применению водорода параллельно с природным газом на тепловых электростанциях [21].

Водород является надежным и универсальным источником чистой энергии, обладая большим потенциалом как инструмент реализации перехода к устойчивой низкоуглеродной экономике, выполняет семь функций в декарбонизации крупнейших секторов экономики:

1. Позволяет осуществить эффективную интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергосистему. Существуют два пути увеличения гибкости и эффективности энергетической системы с большим количеством разнообразных ВИЭ при помощи водородных технологий:

- водород, получаемый методом электролиза, используя излишки электроэнергии в период перепроизводства, позволяет либо монетизировать электроснабжение в других секторах экономики (на транспорте, в промышленном производстве, при обогреве жилых зданий), либо сохранить эту электроэнергию для последующего использования;

- водород может выступать в качестве резервного источника энергии в период дефицита ее поставок или долгосрочного безуглеродного источника энергии сезонного хранения с тем, чтобы получать энергию тогда, когда производство ее из ВИЭ снижается, а спрос растет.

2. Обеспечивает распределение энергии между различными отраслями экономики и регионами. Поскольку водород и его соединения отличаются высокой энергетической плотностью и их можно легко транспортировать, он содействует эффективному и гибкому распределению энергии. Перевозка водорода морским или автомобильным транспортом, а также его перекачка по трубопроводам позволяют эффективно перераспределять энергию как на региональном, так и международном уровнях. Это преимущество использования водорода становится с экономической точки зрения привлекательным решением задачи транспортировки больших объемов энергии на значительные расстояния или в тех секторах экономики, где технологические и/или экономические факторы препятствуют прямой электрификации.

3. Действует в качестве буферного элемента для повышения устойчивости энергосистемы. Высокая теплотворная способность водорода, его пригодность для хранения в течение длительного времени, а также самые разнообразные варианты его использования делают водород перспективным буферным элементом, в том числе с точки зрения формирования стратегического запаса. Наиболее эффективной формой создания резервов было бы сочетание различных энергоносителей (ископаемые виды топлива, биотопливо/биомасса/синтетическое топливо и водород), которые могут использоваться по своему целевому назначению напрямую или после определенной трансформации.

4. Содействует декарбонизации транспортного сектора.

Декарбонизация транспорта потребует повсеместного внедрения транспортных средств с нулевыми выбросами, например автомобилей на водородных топливных элементах (FCEV). Использование водорода в топливных элементах позволяет избежать выбросов в атмосферу, а также получить бесшумные двигатели.

5. Содействует декарбонизации промышленного сектора. Промышленный сектор нуждается в повышении энергоэффективности (в том числе путем рекуперации

отработанного тепла). Технологии парового электролиза могут превратить отработанное тепло в водород. Промышленности также необходимо декарбонизировать источники тепла для технологических нужд, в том числе тепла низкого и высокого потенциала.

В промышленности существует несколько способов декарбонизировать тепло низкого потенциала. Там, где водород является побочным продуктом химической промышленности и вследствие этого легко доступен, или там, где требуются не только тепло, но и непрерывное электроснабжение, водород, безусловно, будет являться самым лучшим решением благодаря сочетанию топливных элементов с топливно-энергетической установкой (ТЭУ), печами или модифицированными газовыми турбинами.

Топливные элементы обладают большей эффективностью, чем печи, так как одновременно дают и тепло, и электричество, но их внедрение требует существенных капиталовложений. С другой стороны, для перевода печей на водород требуется лишь некоторая модификация уже имеющегося оборудования.

6. Содействует декарбонизации нефте- и газохимических отраслей. При применении технологий улавливания и использования углекислого газа (УИУ) (в качестве альтернативы хранению CO_2) потребуется водород, чтобы превращать собранный углерод в полезные химические вещества, такие как метанол, метан, муравьиная кислота или мочевины. Подобное использование водорода сделает технологии УИУ жизнеспособной альтернативой для тех отраслей, декарбонизация которых представляет особую сложность, например производство цемента и стали, а также будет способствовать декарбонизации определенных частей газо- и нефтехимической производственно-сбытовой цепочки.

7. Способствует декарбонизации жилищно-коммунального сектора. При отоплении зданий водород может использоваться непосредственно в качестве топлива или в составе водородных технологий.

Однако предпочтительнее всего было бы использовать их комбинацию, например ТЭУ на топливных элементах в качестве конвертера энергии. Такие установки позволяют вести эффективное производство тепла и электрической энергии (> 90 %). Для домов, подсоединенных к газовой сети, переход на отопление на основе технологий сжигания водорода может дать возможность использования существующей газовой сети. При весьма небольшой модификации и капиталовложениях такая сеть позволит безопасно перекачивать смесь водорода и природного газа [22].

Необходимым элементом развития Зеленой энергетики является организация подготовки кадров [23]. В Калининградской области откроют ресурсный центр по подготовке специалистов для возобновляемой энергетики. Консорциум «Технологическая водородная долина» был создан в ноябре 2020 года по инициативе Томского политехнического университета, Института катализа СО РАН, Института проблем химической физики РАН, Института нефтехимического синтеза РАН, Самарского политеха и Сахалинского государственного университета. На Международном симпозиуме «Устойчивая энергетика и энергомашиностроение – 2021: SUSE-2021» было заявлено о развитии Консорциума технического образования России и Казахстана (КТОРК), одной из целей которого является координация усилий вузов России и Казахстана по развитию Зеленой энергетики.

За последнее десятилетие в области водородной энергетики и технологии произошли качественные изменения. Если ранее основное внимание уделялось научным, технологическим и энергетическим аспектам, то в настоящее время на первый план выходят экологические, экономические и политические составляющие проблемы создания межотраслевой инфраструктуры, обеспечивающей широкомасштабное использование водорода. В то же время следует отметить, что в большинстве работ по конкретным направлениям водородной энергетики, технологии и экономики ощущается недостаток системного подхода, выявления взаимосвязи между этими направлениями и, как следствие, отсутствуют сбалансированные рекомендации стратегического порядка. Одним из немногих исключений являются экономические исследования по учету фактора загрязнения окружающей среды. В результате экономическая мотивация водородных программ остается в рамках представлений сегодняшнего дня. Без должного внимания к стационарным водородным установкам, в первую очередь технически и экономически апробированным в настоящее время, реализация такого подхода, по мнению Тарасова Б.П. и Потоцкого М.В., представляется проблематичной [24].

Важным элементом при реализации крупномасштабных проектов, к которым относится Четвертый энергетический переход, является работа с населением. В стратегических документах Японии [1], Европы [5] и ряда других стран предполагается реализация информационной и разъяснительной работы с населением в части использования новых видов энергии, повышения уровня экологического мышления. Для населения, научной общественности и бизнеса сигналом является политика руководства

страны. А вот здесь не все гладко. Министр энергетики заявил о предполагаемом снижении бюджетных инвестиций в развитие ВИЭ на 30% до 2035 года с целью сдерживание цен на электроэнергию в пределах инфляции [22]. Не совсем понятно, как это согласуется с общемировыми векторами развития энергетики. Кроме того, надвигающаяся угроза «углеродного налога» должна стимулировать развитие технологий ВИЭ.

Еще одним важным фактором работы с населением является повышение его просвещения в самом широком смысле этого слова. Необходимо, чтобы люди осознанно подходили к проблеме. Однако Министерство просвещения РФ инициировало введение нового ФГОС среднего общего образования, в котором с целью создания условий, позволяющих решить стратегическую задачу Российского образования – повышение качества образования, достижение новых образовательных результатов, соответствующих современным запросам личности, общества и государства. В результате школьники старших классов не естественнонаучного профиля вообще не будут изучать химию и биологию. А потом они придут в вузы, в том числе и энергетического профиля, и не смогут освоить соответствующие разделы, основанные на знании химии и биологии. Поэтому целесообразно внимательно изучить результаты введения нового ФГОС и при необходимости его скорректировать.

В странах Европы с 90-х годов прошлого века широко обсуждаются принятые в европейских странах программы экологически чистой водородной энергетики. Образовательная работа в этой сфере ведется в университетах, школах, колледжах, среди населения и туристов, в средствах массовой информации, в том числе в Интернете. В жизнь общества входят действующие модели водородных установок, линии водородных автобусов со стационарными заправками, престижные авторалли, продажа и аренда водородных автомобилей, демонстрация на выставках другой водородной техники, торговля водородными игрушками и т.п. Такой подход приносит результаты. К примеру, управление городским транспортом Барселоны в рамках европейского проекта «Чистый городской транспорт для Европы» в порядке эксперимента запустило в эксплуатацию три линии автобусов с водородными топливными элементами. Через некоторое время был проведен массовый опрос пассажиров. Новый вид транспорта безоговорочно поддержало 89,2%, и только 1,3% заявили, что новшество им не нравится.

В Российской Федерации водородная энергетика известна преимущественно по публикациям и то, главным образом, специалистам. Широким массам водородная энергетика почти не известна. Сложившееся в этой части отставание общественного сознания необходимо срочно преодолевать, ибо новая техника и технология могут войти в жизнь только при активном участии всего населения. В свое время так было с паровыми и углеводородными двигателями, с электричеством и газом. То же самое предстоит пройти и с водородной энергетикой [26].

Водородная тематика – важная часть Европейской зелёной сделки, ставшей первым масштабным стратегическим документом нового состава Европейской комиссии ЕС (ЕК), одобренным в середине декабря 2019 г., а также Новой промышленной стратегии Евросоюза, презентованной 10 марта 2020 г. 10 июня 2020 г. правительство Германии опубликовало давно ожидаемую стратегию производства и использования водорода – газа, который, с точки зрения европейского научного и экспертного сообщества, должен стать одной из основ энергетической трансформации и перехода к климатически нейтральной экономике.

Россия – на сегодняшний день важнейший поставщик ископаемых энергоносителей в ЕС – ни в германском, ни в европейском документах не упоминается.

Эксперты Германско-Российской внешнеторговой палаты в своих документах учли положения «Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года», в первую очередь, раздела «Водородная энергетика», в котором поставлена задача всестороннего развития этой отрасли и вхождения РФ в число мировых лидеров по производству и экспорту водорода, в том числе за счет реализации следующих ключевых мер:

- государственная поддержка производства и создания инфраструктуры транспортировки и потребления водорода и энергетических смесей на его основе;
- увеличение масштабов производства H_2 из природного газа, в том числе с использованием возобновляемых источников энергии и атомной энергии;
- разработка отечественных низкоуглеродных технологий производства водорода методами конверсии, пиролиза метана, электролиза и других технологий, в том числе с возможностью локализации зарубежных технологий;
- стимулирование спроса на внутреннем рынке на топливные элементы на основе водорода и природного газа в российском транспорте, а также на использование H_2 и энергетических смесей на его основе в качестве накопителей и преобразователей энергии для повышения эффективности централизованных систем энергоснабжения;

- интенсификация международного сотрудничества в области развития водородной энергетики и выхода на зарубежные рынки.

Кооперация с Германией способна дать импульсы не только для развития отечественного рынка водородной энергетики, но и сектора ВИЭ и постепенного внедрения принципов климатически нейтрального народного хозяйства [27].

Заключение

Вектор развития энергетики в мире определен, поэтому необходимо разработать и реализовать комплекс мер, направленных на развитие Зеленой энергетики, в том числе водородной, в Российской Федерации. Как уже отмечалось, ряд базовых документов Правительством РФ уже приняты [6,7]. Однако эти документы носят скорее декларативный характер, комплекс реальных мероприятий по вхождению страны в четвертый энергетический переход еще предстоит разработать. Поэтому можно сформулировать ряд предложений, которые могли бы быть учтены при реализации Плана по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года (далее – План).

1. Дополнить План системой мероприятий по донесению до населения необходимости внедрения зеленой энергетики, включая программы общего среднего и высшего образования.

2. Изменить структуру ФГОС общего среднего образования в части включения в перечень обязательных предметов химию и биологию с целью обеспечения кадрами водородной энергетики.

3. Определить приоритетность проектов по возобновляемым источникам энергии и водородной энергетики при формировании конкурсной документации институтами развития РФ.

4. Обеспечить реальную декарбонизацию энергетики страны для сохранения позиций экспорта сырьевых, продовольственных и промышленных товаров российских производителей.

Литература

1. Akimova V.V., Tikhotskaya I.S. A way to a sustainable future: the solar industry in Japan// *Geography, environment, sustainability*. 2015. V.8. N3. pp. 92-100.
2. Shuvalova O.V., Chernyaev M.V., Rodionova I.A., et al. Peculiarities of the Russian and German Energy Policies in the Field of Alternative Energy Development // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2018. V. 8. N 4. pp. 199-206.
3. Amin S. M., Gellings C. W. The North American power delivery system: Balancing market restructuring and environmental economics with infrastructure security// *Energy*. 2006. V. 31, N. 6-7. pp. 967-999. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.013>.
4. Jiang B., Sun Z., Liu M. China's energy development strategy under the low-carbon economy // *Energy*. 2010. V. 35. N11. pp. 4257-4264.
5. Pepermans G. European energy market liberalization: experiences and challenges // *International Journal of Economic Policy Studies*. 2018. V. 13 N 3.
6. План мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года. <https://minenergo.gov.ru/node/19194>. Ссылка активна на 15 февраля 2021.
7. Alekseev A.N., Bogoviz A.V, Goncharenko L.P., et al. Critical Review of Russia's Energy Strategy in the Period until 2035 // *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2019. V. 9. N 6. pp. 95-102.
8. Kobrinskaya I., Machavariany G., Dynkin A., Baranovsky V. Russia and the World: 2019 IMEMO Forecast // *New Perspectives*. 2019. V. 27. N 2. pp. 87-114.
9. Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. St. Martin's Press; 2011.
10. Okuma K. *The Evolving Relationship between Economy and Environment*. Springer: 2015.
11. Мичурин И. В., *Итоги шестидесятилетних трудов по выведению новых сортов плодовых растений*. 3-е изд., М. 1934. С.11.
12. Galkina A.A., Grushevenko D.A., Kulagin V.A, et al. Development prospects of the world energy industry over the period up to 2040 and outcomes for the Russian fuel and energy sector // *St. Petersburg State Polytechnical University Journal Economics*. 2015. V. 211. N 1. pp. 59-70.
13. Noussan M., Raimondi P.P., Scita R., et al. The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition: A Technological and Geopolitical Perspective// *Sustainability*. 2021. V.13. N 1. P. 298.
14. Hamurcu M., Eren T. Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation// *Sustainability*. 2020. V.12. N 7. P.2777.

15. Lin Z.-M. Making aviation green // *Adv. Manuf.* 2013. N 1. pp.42–49.
16. Yao B., Xiao T., Makgae O.A. et al. Transforming carbon dioxide into jet fuel using an organic combustion-synthesized Fe-Mn-K catalyst // *Nat. Commun.* 2020. V. 11.
17. Andersen M.S., Ekins P. Carbon-energy taxation: lessons from Europe. Oxford University Press: 2009.
18. Kapranova L. D., Pogodina T. V. Financial and Economic Support of Innovation Processes in the Russian Fuel and Energy Complex // *Economics Taxes & Law.* 2019. V. 12, N 3. pp. 77-85.
19. Четошникова Л.М., Смоленцев Н.И., Четошников С.А., и др. Автономные системы электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии и умной сетью // *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.* 2018. Т. 20. № 5-6. С. 3-12.
20. Насырова Е.В., Тимербаев Н.Ф., Леухина О.В., др. Анализ данных ветромониторинга в Республике Татарстан // *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.* 2019. Т. 21. № 6. С. 39-50.
21. Таймаров М.А., Ильин В.К., Чикляев Е.Г., и др. Особенности применения метано-водородной фракции в качестве топлива для котлов ТЭС // *Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ.* 2019. Т.21. № 3. С.109-116
22. Edwards P.P., Kuznetsov V.L., David W. I. F. Hydrogen energy // *Phil. Trans. R. Soc. A.* 2007. V. 365. pp. 1043-1056.
23. Skiba R. Competency Standards for Emerging Hydrogen Related Activities// *Open Journal of Safety Science and Technology.* 2020. V. 10. pp. 42-52.
24. Tarasov B.P., Lototskii M.V. Hydrogen Energetics: Past, Present, Prospects, *Russ J General Chemistry*, 2007. V. 77, N 4, pp. 660-675.
25. Евплова Е.В. ФГОС основного общего образования: проблемы и их решение // *Стандарты и мониторинг в образовании.* 2014. № 3. С. 62-64.
26. Сигов А.С., Шинкаренко В.В., Евдокимов А.А. К программе водородного всеобуча в России // *Рос. хим. журн.*, 2006. № 6. С. 120-130.
27. Белов В.Б. Новые водородные стратегии ФРГ и ЕС: перспективы кооперации с Россией // *Современная Европа.* 2020. № 5. С.65-76.

Авторы публикации

Плетнев Михаил Андреевич – д-р хим. наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и химическая технология ИжГТУ имени М.Т. Калашникова.

Копысов Андрей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, проректор по научной и инновационной деятельности ИжГТУ имени М.Т. Калашникова.

References

1. Akimova VV, Tikhotskaya IS. A way to a sustainable future: the solar industry in Japan. *Geography, environment, sustainability.* 2015; 8 (3): 92-100. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2015-8-3-92-100>.
2. Shuvalova OV. Osobennosty razviviya altermanivnoi energetiky Germanii. *Modern Problems of Science and Education.* 2012; 7 (6):192-196.
3. Amin SM, Gellings CW. The North American power delivery system: Balancing market restructuring and environmental economics with infrastructure security. *Energy*, 2006; 31(6-7),967-999. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.013>.
4. Jiang B, Sun Z, Liu M. China's energy development strategy under the low-carbon economy. *Energy.* 2010;35(11):4257-4264.
5. Pepermans G. European energy market liberalization: experiences and challenges. *International Journal of Economic Policy Studies.* 2018;13(3). doi: 10.1007/s42495-018-0009-0.
6. <https://minenergo.gov.ru/node/19194>. Accessed: 15 Feb 2021.
7. Alekseev AN, Bogoviz AV, Goncharenko LP, et al. Critical Review of Russia's Energy Strategy in the Period until 2035. *International Journal of Energy Economics and Policy.* 2019; 9(6):95-102.
8. Kobrinskaya I, Machavariany G, Dynkin A, Baranovsky V. Russia and the World: 2019 IMEMO Forecast. *New Perspectives.* 2019;27(2):87-114. doi: 10.1177/2336825X1902700205.
9. Rifkin J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy and the World.* St. Martin's Press; 2011.

10. Okuma K. The Evolving Relationship between Economy and Environment. *Springer*. 2015. doi <https://doi.org/10.1007/978-981-10-4100-6>.
11. Michurin IV. *The Results of My Sixty Years' Work and prospects for the Future*, 1934.
12. Galkina AA, Grushevenko DA, Kulagin VA, et al. Development prospects of the world energy industry over the period up to 2040 and outcomes for the Russian fuel and energy sector. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal Economics*, 2015;211(1):59-70.
13. Noussan M, Raimondi PP, Scita R, et al. The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition: A Technological and Geopolitical Perspective. *Sustainability*, 2021;13(1):298. <https://doi.org/10.3390/su13010298>.
14. Hamurcu M, Eren T. Electric Bus Selection with Multicriteria Decision Analysis for Green Transportation. *Sustainability*, 2020;12(7):2777/ doi:10.3390/su12072777
15. Lin Z.-M. Making aviation green. *Adv. Manuf.*, 2013(1):42-49. <https://doi.org/10.1007/s40436-013-0008-3>.
16. Yao B, Xiao T, Makgae O.A. et al. Transforming carbon dioxide into jet fuel using an organic combustion-synthesized Fe-Mn-K catalyst. *Nat. Commun*, 2020;11. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20214-z>.
17. Andersen MS, Ekins P. Carbon-energy taxation: lessons from Europe. Oxford University Press: 2009.
18. Kapranova LD, Pogodina TV. Financial and Economic Support of Innovation Processes in the Russian Fuel and Energy Complex. *Economics Taxes & Law*, 2019;1(3):77-85.
19. Chetoshnikova LM, Smolentsev NI, Chetoshnikov SA, et al. Autonomous power supply systems with renewable sources of energy and smart grid. *Power engineering: research, equipment, technology*, 2018;20(5-6):3-12. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-5-6-3-10>.
20. Nasyrova EV, Timerbayev NF, Leukhina OV, et al. Data analysis wind monitoring in the Republic of Tatarstan. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2019;21(6):39-50. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-6-39-50>.
21. Taymarov MA, Ilyin VK, Chiklyaev EG, et al. Features of application of the methane-hydrogen fraction as fuel for thermal power plant boiler. *Power engineering: research, equipment, technology*, 2019;21(3):109-116. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2019-21-3-109-116>.
22. Edwards PP, Kuznetsov VL, David WIF. Hydrogen energy. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 2007;365:1043–1056. doi:10.1098/rsta.2006.1965.
23. Skiba R. Competency Standards for Emerging Hydrogen Related Activities. *Open Journal of Safety Science and Technology*, 2020;10: 42-52. doi: 10.4236/ojsst.2020.102004.
24. Tarasov BP, Lototskii MV. Hydrogen Energetics: Past, Present, Prospects. *Russ J General Chemistry*, 2007;77(4): 660-675. doi: 10.1134/S1070363207040299.
25. Evplova E.S. PHGOS osnovnogo obshchego obrazovaniya: problem I ih resheniye. *Standarty I monitoring v obrazovanii*, 2014(3):62-64.
26. Sigov AS, Shinkarenko VV, Evdokimov AA. K programme vodorodnogo vsevobucha v Rossii. *Ros. Chim. Hurn*. 2006;L(6):120-130.
27. Belov VB. New Hydrogen Strategies of Germany and the EU and Prospects for Cooperation with Russia. *Sovremennaya Evropa*, 2020(5):65-76. <http://dx.doi.org/10.15211/soveurope520206576>.

Authors of the publication

Mikhail A. Pletnev – Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia.

Andrei N. Kopysov – Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia.

Получено

10 марта 2021г.

Отредактировано

17 марта 2021г.

Принято

31 марта 2021г.