

Перспективы развития и приоритезации водородной энергетики в России и в мире

Prospects for the development and prioritization of hydrogen energy in Russia and in the world

Воробьев И.С.

Студент 3 курса Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Институт общественных наук, направление публичная политика
e-mail: vorobiev.illya@yandex.ru

Vorobiev I.S.

Student of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Institute for Social Science, Public Policy
e-mail: vorobiev.illya@yandex.ru

Воротников А.М.

Канд. хим. наук, доцент кафедры государственного управления и публичной политики Института общественных наук Российской академии народного хозяйства и государственной службы, координатор Экспертного совета Экспертного центра ПОРА (Проектный офис развития Арктики)
e-mail: vdep14@yandex.ru

Vorotnikov A.M.

Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Public Administration and Public Policy of the Institute of Social Sciences of the Russian Academy of National Economy and Public Administration, Coordinator of the Expert Council of the PORA Expert Center (Arctic Development Project office)
e-mail: vdep14@yandex.ru

Аннотация

Водородная экономика – это образ будущего для глобальной экономики, в которой водород становится новым глобальным энергоносителем и начинает играть роль, сопоставимую с той, которую сейчас играют уголь, нефть или газ, и гораздо важнее нынешней роли гидроэнергетики, АЭС и биоэнергетики вместе взятых. По различным прогнозам, это может случиться в целом в мире после 2040 г., но в отдельных регионах водородная экономика начинает формироваться уже в наши дни. В данной статье рассмотрена возможность и необходимость перехода российской и мировой экономики на водородную энергию.

Ключевые слова: водородная энергетика, энергетический баланс, устойчивое развитие, нормативно-правовое регулирование, экономические стимулы, климатические изменения.

Abstract

The hydrogen economy is the image of the future for the global economy, in which hydrogen becomes a new global energy carrier and begins to play a role comparable to that currently played by coal, oil or gas, and much more important than the current role of hydropower, nuclear power and bioenergy combined. According to various forecasts, this can happen as a whole in the world after 2040, but in some regions the hydrogen economy is starting to form today. This

article discusses the possibility and necessity of the transition of the Russian and world economies to hydrogen energy.

Keywords: hydrogen energy, energy balance, sustainable development, legal regulation, economic incentives, climate change.

Более 20 государств и более 50 корпораций приняли долгосрочные программы развития водородных технологий, поддержанных льготами, финансированием из бюджетов разных уровней и международной технологической кооперацией.

Общая годовая потребность в водороде во всем мире составляет около 330 миллионов тонн нефтяного эквивалента (Мтнэ). По различным прогнозам, переход на водород может случиться в целом в мире после 2040 г., но в отдельных регионах водородная экономика начинает формироваться уже в наши дни [1].

Мировые правительства активно интересуются возможностями водородных технологий в автотранспорте и энергетике:

1. Франция реализует государственную стратегию внедрения водородных систем.
2. Южная Корея обещает финансировать отрасль применения водорода в размере €2 млрд в ближайшие пять лет.
3. Норвегия разрабатывает собственную технологию развития технологий использования водорода [2].

К середине 2019 г. общее количество целей и программ, действующих на глобальном уровне для непосредственной поддержки водорода, было около 50. Те, которые являются отраслевыми, охватывают шесть основных областей, особое внимание уделяется транспортной инфраструктуре. Среди Группы двадцати (G20) и Европейского союза, 11 стран уже ведут такую политику и 9 имеют национальные дорожные карты для развития водородной энергетики. Только в прошлом году многие правительства сделали громкие заявления по данной теме. За последние несколько лет глобальные расходы на водородную энергетику: исследования, разработки и демонстрации (НИОКР) со стороны национальных правительств возросли, хотя он остается ниже пика 2008 г. [3].

Со времени первого нефтяного кризиса 1970-х годов экономический рост не был напрямую связан с ростом спроса на энергию в промышленном секторе, тогда как в транспортном секторе рост мобильности все еще ведет к пропорциональному увеличению потребления энергии. Количество энергии, необходимое на единицу роста, должно быть уменьшено, в то время как разработка энергоносителей и технологий, обеспечивающих дешевое энергоснабжение, имеет тенденцию к росту [4]. Европейское лидерство в области водородных и топливных элементов будет играть ключевую роль в создании качественных рабочих мест, от стратегических исследований и разработок до производства и ремесленников. В США и Японии водород и топливные элементы считаются основными технологиями XXI в., важными для экономического процветания. В этих странах наблюдается активная инвестиционная и промышленная активность в области водородных и топливных элементов, что способствует переходу на водород – независимо от Европы. Если Европа хочет конкурировать и стать ведущим мировым игроком, она должна активизировать свои усилия и создать благоприятную среду для развития бизнеса.

Улучшенные технологии и обработка после сжигания для традиционных технологий постоянно сокращают выбросы загрязняющих веществ. Тем не менее оксиды азота и макрочастицы остаются проблемой в определенных областях, в то время как глобальная тенденция к урбанизации подчеркивает необходимость решений в области чистой энергии и улучшения общественного транспорта. Транспортные средства и стационарное производство электроэнергии, работающие на водороде, являются устройствами с нулевым уровнем выбросов в месте использования, что имеет соответствующие преимущества для местного качества воздуха.

Водород может быть получен из безуглеродных или углерод-нейтральных источников энергии или из ископаемого топлива с улавливанием и хранением CO₂ (углекислого газа). Таким образом, использование водорода может в конечном итоге устранить выбросы парниковых газов в энергетическом секторе. Топливные элементы обеспечивают эффективное и чистое производство электроэнергии из ряда видов топлива. Они также могут быть расположены близко к точке конечного использования, что позволяет использовать тепло, выделяемое в процессе [5]. В зрелой водородно-ориентированной экономике внедрение транспортных средств с водородным топливом с нулевым содержанием углерода может снизить средние выбросы парниковых газов из европейского парка легковых автомобилей по сравнению со средним уровнем в 140 г / км CO₂ (граммов CO₂ на километр пути).

Тем не менее необходимо преодолеть ряд препятствий, прежде чем может быть реализовано полное преимущество перехода на водородную энергетику. Среди этих препятствий: недостаточное признание его важности для перехода к энергопотреблению, отсутствие механизмов для смягчения и распределения долгосрочных рисков первоначальных крупномасштабных инвестиций, отсутствие согласованных действий между заинтересованными сторонами, отсутствие справедливого экономического подхода развивающейся технологии и ограниченных технологических стандартов для достижения экономии за счет масштаба. Многие инвестиции в водород требуют длительного ожидания – от 10 до 20 лет. Особенно в первые годы, инфраструктурные инвестиции необходимы прежде, чем увеличится потребительский спрос. Отсутствие четких и обязательных целей или стимулов по сокращению выбросов для конкретных секторов не позволяет потенциальным инвесторам брать на себя долгосрочный риск. Япония проложила путь к снижению этих рисков. Правительство и промышленные компании имеют долгосрочную дорожную карту для создания «водородного общества» [6].

Полное внедрение водорода требует скоординированных инициатив по всему миру. Многие новые технологии получили выгоду от четких нормативных руководств по преференциальным финансовым стимулам, таких как льготные тарифы и сертификаты обязательных возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для возобновляемых источников энергии, в сочетании с целями устойчивого развития (ЦУР). Тем не менее нормативные акты еще не признали преимущества водорода. Например, нормативные акты в Германии устанавливают двойной налог на входящий и выходящий поток электроэнергии, когда водород используется для хранения энергии, а у производителей электроэнергии ограничены стимулы для оптимизации сокращенного потребления электроэнергии [7]. Хотя стоимость и производительность топливных элементов и систем получения водорода улучшились в последние годы (например, стоимость топливных элементов упала более чем на 50%), но в целом производство и потребление водорода остается ограниченным. Для продвижения энергетического перехода требуются согласованные региональные и отраслевые стандарты для топливных элементов и водорода, что позволит добиться эффекта масштаба в области исследований, разработок и внедрения (НИОКР) и производства. Члены Водородного совета (Hydrogen Council – глобальная инициатива энергетических, транспортных и промышленных компаний по развитию использования водорода в качестве инновационного вида топлива) планируют перевести инвестиции с НИОКР на коммерциализацию.

Широкое внедрение водорода (или топлива и товаров, полученных из водорода) может стимулировать значительное увеличение спроса на производство возобновляемой энергии. В целом, IRENA (Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (англ. International Renewable Energy Agency, IRENA) – организация, основанная в 2009 г. для поддержки использования всех форм возобновляемых источников энергии) видит глобальный экономический потенциал для 19 эксаджоулей (ЭДж) водорода из возобновляемой электроэнергии в общем конечном потреблении энергии к 2050 г., в то

время как другие (например, Energy Council) видят, что это число увеличивается примерно до 80 ЭДж (не обязательно все из возобновляемых источников). Это означает примерно 416 тераватт (ТВт) солнечной и ветряной мощности, которая будет развернута для производства возобновляемого водорода и продуктов на основе водорода в 2050 г., учитывая потери по всей цепочке поставок. Для сравнения сегодняшняя глобальная мощность генерации составляет 7 ТВт, при этом на 1 ТВт приходится солнечная и ветровая энергия [8].

По мнению авторов, если водород будет применяться повсеместно, это может иметь значительные последствия для энергетического сектора, и это открывает дополнительные возможности для использования возобновляемых источников энергии.

В соответствии с целями устойчивого развития (ЦУР) и Парижского соглашения, мир должен полностью перейти к безуглеродной энергетике к 2050 г.

После энергетической отрасли транспорт является крупнейшим источником глобальных выбросов CO₂ и в настоящее время осуществляет выброс в атмосферу почти четверти от всех выбросов CO₂. Исследования показывают, что мы можем достичь безуглеродной энергетики в коммерческом транспорте к 2050 г. – и это сокращает, а не добавляет расходы в совокупности.

Технологии транспорта на топливных элементах очень быстро развиваются. К 2050 г. большая часть средств передвижения будет оснащена водородными топливными элементами. Внедрение данного типа двигателей позже, чем электронного обусловлено более высокими издержками.

По мнению авторов, в близкой перспективе есть возможность перехода к водородному коммерческому транспорту, если инвестиции появятся незамедлительно. Помимо сокращения выбросов парниковых газов, эти инвестиции могут принести значительную экономию, снизив общие затраты на строительство, обслуживание и эксплуатацию коммерческого транспорта на 20 и более процентов.

Принимая во внимание требования к инфраструктуре и размеру батареи, исследование показывает, что электрификация может обеспечить до 6 процентов совокупной экономии до 2050 г. [9].

В сегменте грузового транспорта на водороде выделяется сфера ритейла, к примеру, доставка продуктов в магазины. Так как транспорт часто перемещается по одному и тому же маршруту в рамках региона / города. Выходная мощность грузового транспорта на данный момент составляет 250–750 киловатт (кВт), потребление водорода 7.5 – 15.7 кг H₂ (водорода) /100 км, дальность пути 320 – 1 200 км, водород находится под давлением 350 бар. В данных конфигурациях также присутствует батарея емкостью от 30 до 320 кВт/ч. Этот сегмент развивают компании Esoro, Kenworth, Nikola, Navistar, Toyota, Scania/ASKO на базе топливных элементов от PowerCell, Hydrogenics, Ballard, US Hybrid, Toyota, NuCellSys. Другие сегменты транспорта – строительная, уборочная техника, легкие самолеты, катера, малые корабли, паромы, и др. – также развиваются, хотя и в меньшей степени [10].

Из сопоставления прогнозов рыночной доли к 2050 г. и технической готовности в наши дни следует, что уже сейчас хорошие перспективы для роста использования водорода есть у автобусов, малых грузовиков, легковых машин и погрузочной техники.

Россия пока остается в стороне от международных сообществ и партнерств, развивающих водородные технологии. В первую очередь, это объясняется тем, что климатическая повестка и декарбонизация пока играют малозначительную роль в энергетической стратегии, что существенно сдерживает развитие не только водородных, но вообще любых низкоуглеродных технологий (возобновляемой энергетики, энергоэффективности, электротранспорта и т.д.). В то же время, в России есть не только огромные ресурсы для встраивания в новый глобальный рынок, но и собственные

технологические разработки (в основном пока, правда, далекие от коммерциализации) и перспективный внутренний спрос.

Развивающийся водородный рынок, очевидно, будет конкурировать с рынками углеводородов, на которых позиции России кажутся сейчас незыблемыми – и в этом смысле стратегия игнорирования или даже борьбы с новым может казаться привлекательной в краткосрочной перспективе. Но в долгосрочной перспективе такая стратегия создаст высокие риски замедления национальной экономики – не только из-за падения спроса на углеводороды, но и в результате ограничения развития инновационного сектора в промышленности. Ответом на эти глобальные вызовы может стать встраивание водородных технологий в российскую энергетическую стратегию и стратегию низкоуглеродного развития – или принятие отдельной национальной водородной программы, в центре которой должны встать три основных столпа – поддержка технологического развития, долгосрочного спроса и рынка, а также стимулирование международных инвестиций. Ключом к успеху должно стать встраивание в существующие международные водородные сообщества и координация разработчиков и стейкхолдеров внутри страны [11].

Первый самолет с одним из двигателей на водородном топливе был создан в СССР на базе Ту-154 в конце 1980-х. Первые водородомобили появились в те же годы. Однако, широкого распространения эти технологии не получили в силу дороговизны и невысокой эффективности, и в наши дни водород в качестве топлива используется в очень ограниченных объемах.

До сих пор Россия, за исключением нескольких отдельных проектов, стояла в стороне от международных сообществ и партнерств, разрабатывающих водородные технологии. Это так, хотя университеты и институты Российской академии наук имеют серьезные отношения с коллегами во многих странах. Во-первых, причина этого в том, что до сих пор климатическая программа и декарбонизация играли незначительную роль в энергетической стратегии страны. Национальное регулирование выбросов парниковых газов находится в стадии формирования, самые ранние федеральные законы или указ Президента ожидаются в ближайшей перспективе, а национальная стратегия развития с низким уровнем выбросов углерода находится в стадии разработки. Среди заинтересованных сторон преобладает осторожное, консервативное отношение как в целом к антропогенной природе глобального изменения климата, так и к тому, имеет ли смысл для России принимать серьезные обязательства по сокращению выбросов парниковых газов. Все это в совокупности существенно препятствует развитию не только водорода, но и вообще любых низкоуглеродных технологий (возобновляемых источников энергии, энергоэффективности, электрического транспорта и т.д.). В России не только не существует национальной водородной программы, но даже нет никакой очевидной координации различных исследовательских групп и заинтересованных сторон. Тем не менее ведутся проектные работы и научные разработки в области производства, хранения и транспортировки водорода, а также его использования в мобильном транспорте. Кроме того, Россия обладает огромным потенциалом производства водорода и его экспорта в мировом масштабе. Поэтому о водородных технологиях положительно говорят как на крупнейших российских форумах, так и в ходе обсуждения инновационных стратегий крупнейших российских компаний.

Водород в России может быть использован:

1. В «большой» электроэнергетике (при этом он будет замещать природный газ и нефтепродукты).
2. На транспорте (замещение нефтепродуктов).
3. В секторе общественной инфраструктуры (для отопления и электроснабжения, в том числе автономного, с замещением природного газа или нефтепродуктов).
4. В промышленности – в качестве сырья и заменителя традиционных углеводородов.

Почему водородная энергетика важна для России:

1. Российская энергосистема имеет обильную генерацию с низким коэффициентом мощности и возможностью построить новое поколение на основе ВИЭ.
2. В России имеется множество изолированных и удаленных территорий.
3. Есть много территорий с высокими экологическими требованиями (например, Арктика) [12].

В настоящее время, по нашему мнению, Россия обладает большими возможностями для удовлетворения мирового спроса на водород и сотрудничества в области пилотных проектов с ЕС, Японией, Южной Кореей и Китаем в качестве грузоотправителя:

1. Взаимодействие с европейскими инициативами P2G (инициатива мощность-газ представляет собой технологию , которая преобразует электрическую энергию в газовое топливо) через водородные узлы (элемент пространственной инфраструктуры, промышленный кластер, связанный с водородной энергетикой).

2. Создание новых пилотных проектов цепочки поставок водорода.

Потенциал поставок водорода в России составляет 3,5 млн тонн в год на основе существующей выработки электроэнергии только за счет увеличения коэффициента мощности. Приоритетными направлениями производства водорода являются:

- использование заблокированных запасов в качестве альтернативы построения сети для увеличения коэффициента мощности;
- генерация нулевого углерода (АЭС, ГЭС) для производства «зеленого» водорода.

С точки зрения производства существуют проверенные технологии производства «серого» водорода в России, а также в мире. Они развернуты на нефтегазоперерабатывающих заводах (конверсия метана) и электростанциях (электролиз). Весь произведенный водород используется на месте, например, для улучшения качества переработки углеводородов или в системах охлаждения генераторов. Крупнейший производитель электролизеров, ПАО «Уралхиммаш» (Екатеринбург), выпускает агрегаты с производительностью от 4 до 300 кубометров водорода в час. Крупнейшие российские энергетические компании, Газпром и Росатом, работают над технологиями получения водорода с минимальным углеродным следом с использованием адиабатического превращения метана и высокой температуры в ядерных реакторах. Эти технологии находятся на стадии предварительного научного исследования или (в случае адиабатической конверсии метана) – испытания на экспериментальной лабораторной установке [13].

Российские разработчики имеют следующие технологии на этапе лабораторных испытаний:

1. Выработка водорода по реакции алюминий-вода (Объединенный институт высоких температур РАН, ОИЯИ РАН).
2. Топливные процессоры для преобразования природного газа и дизельного топлива в обогащенную водородом топливную смесь и выделения из нее чистого водорода («Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники и технологии» («Центральный научно-исследовательский институт СЭТ»), «Крыловский государственный научно-исследовательский институт Центр»)).

Курчатовский институт и научно-исследовательские центры РАН, например, Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН, занимаются научными разработками в области электролиза.

Транспортировка и хранение водорода менее развиты, поскольку он потребляется на месте производства. «Газпром», владелец и оператор газотранспортной системы России, провел исследования, показывающие возможность добавления водорода в транспортируемый природный газ в диапазоне 20–70%, но реальных экспериментов пока не проводилось. Научные и экспериментальные разработки в области сжижения и транспортировки водорода в сжиженном состоянии были выполнены НПО Гелиймаш для космической программы России и ПАО «Криогенмаш».

Научные исследования по хранению водорода на основе гидридов металлов доступны в Институте проблем химической физики Института РАН. Несколько исследовательских центров и компаний разрабатывают технологии топливных элементов для использования водорода:

1. Институт проблем химической физики Российской академии наук (водородо-кислородные протонообменные мембранные топливные элементы).
2. Автономный энергетический центр Московского физико-технического института (твердооксидные топливные элементы).
3. Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения Академии наук (твердооксидные топливные элементы).
4. Топливная компания Росатома (в том числе, завод электрохимических преобразователей, НПО «Центротех», Свердловская область) – твердооксидные топливные элементы для автономного энергоснабжения объектов, расположенных вдали от инфраструктуры.

В российских городах уже появились электрические автобусы и легковые автомобили с аккумуляторами (BEV), но электромобили на водородных топливных элементах еще не используются. Прототипы легкого грузовика «Газель» с двигателями внутреннего сгорания, работающими на смеси бензина и водорода (в переделке из оригинальной бензиновой версии), совершил ралли по маршруту Москва-Нижний Новгород-Казань-Нижекамск-Чебоксары-Москва в 2006 г. Основной целью проекта было привлечь внимание общественности к проблеме транспорта водорода [14].

В 2018 г. Российская венчурная компания, Фонд «Сколково» и Агентство стратегических инициатив организовали конкурс технологических проектов «Первый элемент», направленный на преодоление глобальных технологических барьеров в перспективном сегменте водородной энергетики и технологии топливных элементов российскими учеными, разработчиками и производителями электростанции. В рамках этого проекта создаются два опытных образца энергоблоков, работающих на водородных топливных элементах для транспортных средств (небольшие воздушные и наземные агрегаты мощностью около 2 и 50 кВт соответственно). Они будут сопоставимы с традиционными источниками энергии, используемыми для повышения эффективности транспортных средств. Победители конкурса получают гранты в размере до 140 млн руб. (около 2 млн евро). Так, Команда «Политех», финалист технологического конкурса Up Great «Первый элемент», получила грант Минобрнауки в размере 30 млн руб. на реализацию проекта «Мобильные энергоустановки на водородных топливных элементах киловаттного класса мощности: разработка новых материалов, технологий, технологического оборудования». В состав команды входят сотрудники Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) имени М.И. Платова. Также идет в России работа и по разработке стандартов. Некоммерческая национальная ассоциация водородной энергетики (NAVE) работает в области стандартизации водородных технологий [15]. Это организация, которая создала и внедрила более 20 российских эквивалентов международных стандартов в области водородных технологий.

Главной стратегией России до 2050 г. может стать стратегия поэтапного перехода России к водородной энергетике. Доля мирового потребления водорода увеличивается с 40 Мтнэ в 2000 г. до 800 Мтнэ в 2100 г. Поэтому главным фактором, определяющим роль любой страны на мировой геополитической арене, станет уровень развития технологий по водородно-топливным элементам, а также эффективным системам в области хранения и транспортировки водорода. В августе 2019 г. Минэнерго России рассматривало целесообразность разработки Дорожной карты по развитию водородной энергетики, в реализации которой потенциально могут принять участие Газпром, Росатом, РусГидро,

Сибур и Ростех [16]. В настоящее время Корпорация Росатом проводит обоснование реализуемости проекта по созданию при Кольской АЭС инфраструктуры для отработки технологий водородной энергетики, в том числе создания заправочных станций для поездов на водороде, которые намечено в будущем пустить на Сахалине [17]. Важно и то, что в России уже существуют инструменты и механизмы для финансирования таких проектов. В настоящее время, государственно-частное партнерство получает в России новое развитие. Начинает формироваться и уже используется такой механизм, как «инфраструктурная ипотека», в частности при создании Мурманского транспортного узла. При реализации этого проекта используются проектные облигации, что является достаточно новым финансовым инструментом для России. Использование облигаций, как финансового инструмента, для финансирования проектов развития водородной энергетики, делает реализацию этих проектов более реалистичной. Тем более, это способствует реализации ESG-принципов (ESG – Environmental, Social, and Governance – экологической, социальной и управленческой ответственности) в инвестиционной деятельности [18]. И такие принципы уже реализуются в России. В стране появились первые выпуски зеленых облигаций [19]. По мнению авторов, в ближайшее время зеленые облигации станут инструментом финансирования и развития проектов в области водородной энергетики.

Вместе с этим развитие технологий в сфере водородной энергетики позволит более эффективно решать проблемы национальной безопасности РФ, усилит влияние России в освоении космического пространства, а также будет способствовать развитию и укреплению международных экономических отношений.

Литература

1. Водородная экономика - путь к низкоуглеродному развитию/ Московская школа управления Сколково, 2019. – 62 р. URL:https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_Enec_Hydrogen-economy_Rus.pdf (дата обращения: 26.01.2020)
2. Инновационные технологии и системы для защиты окружающей среды от воздействия энергетики. Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 03.02.08, доктор технических наук Ибрагимов, Ильдар Маратович. 2011. – 243 с.
3. Исследование эффективности использования комбинированных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии. Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.14.08, кандидат технических наук Дорошин, Александр Николаевич. 2011. – 128 с.
4. Разработка и обоснование водородного энергетического комплекса влажнопаровых АЭС с установкой дополнительной турбины. Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.14.01, кандидат технических наук Егоров, Александр Николаевич. 2013. – 125 с.
5. Экспертно-аналитический доклад/ Перспективы России на глобальном рынке водородного топлива, Инфраструктурный центр Energynet, Москва. 2019. – 32 с. URL: https://energynet.ru/upload/Перспективы_России_на_глобальном_.pdf (дата обращения: 26.01.2020)
6. Эффективность интеграции АЭС с водородным энергетическим комплексом. Тема диссертации и автореферата по ВАК РФ 05.14.01, кандидат технических наук Байрамов, Артем Николаевич. 2010. – 142 с.
7. How hydrogen empowers the energy transition/ Hydrogen Council, 2017. – 28 p. URL: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2017/06/Hydrogen-Council-Vision-Document.pdf> (дата обращения: 26.01.2020)

8. Hydrogen from renewable power: Technology outlook for the energy transition/ IRENA, 2019. – 52 p. URL: <https://www.irena.org/publications/2018/Sep/Hydrogen-from-renewable-power> (дата обращения: 26.01.2020)
9. Hydrogen-related research in Russia: an overview/ Irina Mironova, ENERPO Research Center, European University at Saint Petersburg, 2019. – 7 с. URL: http://en.unecon.ru/sites/default/files/en/irina_mironova_european_university_at_st._petersburg_0.pdf (дата обращения: 26.01.2020)
10. Judit Anton Francesch. Hydrogen Fuel Cell Vehicles. 2014. 47 p. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/24995/Hydrogen%20Fuel%20Cell%20Vehicles.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 26.01.2020)
11. Lizbeth Del Carmen Gonzalez Marciaga. Assessment of usage of hydrogen as alternative fuel into NETPLAN. 2013. 176 p. <https://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4003&context=etd> (дата обращения: 26.01.2020)
12. Russian capabilities on hydrogen fuel global market/ Igor Chausov, National Technology Initiative (NTI). 2020. - 10 с. URL: <http://2021.atomexpo.ru/uploads/pages/124/files/2.%20Chausov%20Russian%20capabilities%20on%20hydrogen%20fuel%20global%20market.pdf> (дата обращения: 26.01.2020)
13. The Future of Hydrogen - Seizing today's opportunities/ IEA, Technology report.2019. – 9 p. URL: <https://webstore.iea.org/download/summary/2803?fileName=English-Future-Hydrogen-ES.pdf> (дата обращения: 26.01.2020)
14. The Pathways study: Achieving fossil-free commercial transport by 2050/ Scania, May 2018. – 18 p. URL: <https://www.scania.com/group/en/wp-content/uploads/sites/2/2018/05/white-paper-the-pathways-study-achieving-fossil-free-commercial-transport-by-2050.pdf> (дата обращения: 26.01.2020)
15. The Russian R&D in the field of Hydrogen Technologies/ S.P. Malysenko Laboratory for Hydrogen Energy Technologies Joint Institute for High Temperatures. 2020. – 64 p. URL: <https://www.hse.ru/data/2010/05/25/1216903420/5.pdf> (дата обращения: 26.01.2020)
16. В России появится программа развития водородной энергетики <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2019/09/01/810161-minenergo-razrabotaet-programmu> (дата обращения: 20.05.2020)
17. На Кольской АЭС могут создать центр водородной энергетики <https://ria.ru/20200430/1570778825.html> (дата обращения: 20.05.2020)
18. ESG-регулирование финансовых рынков
URL: <https://yandex.ru/turbo?text=https%3A%2F%2Fbosfera.ru%2Fbo%2Fesg-regulirovanie-finansovyh-rynkov> (дата обращения: 20.05.2020)
19. Green bonds — a new instrument for ecotechnoparks' financing in the Arctic A M Vorotnikov and B A Tarasov
URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/302/1/012145> (дата обращения: 20.05.2020).
20. Arctic development as a strategic task [Electronic resource]. - URL: <http://actualcomment.ru/osvoenie-arktiki-kak-strategicheskaya-zadacha-1907162359.html> (accessed 20.01.2020). Arctic zone's sustainable development https://www.researchgate.net/publication/335003271_Public-private_partnership_as_a_mechanism_of_the_Russian_Arctic_zone's_sustainable_development