**Водород как альтернатива углеводородному топливу**

**Введение**

В декабре 2015 года более чем 190 странами было подписано Парижское соглашение. Соглашение не предполагает полного отказа от ископаемого топлива. Однако все страны должны принять меры по сокращению выбросов, технологическому перевооружению и переходу на возобновляемые источники энергии. Причиной потепления считаются выбросы парниковых газов. А главным источником выбросов – энергетика на органическом топливе. Сжигание ископаемого топлива приводит к загрязнению воздуха. Поэтому необходимо начать переход от ископаемого топлива к чистой энергии. Мировая энергетика должна измениться в результате использования безуглеродных источников.

Одним из альтернативных способов получения электроэнергии является водородная энергетика. Она основана на использовании водорода. В мире три основных источника выбросов, способствующих потеплению климата: транспорт, производство электроэнергии и промышленность. Водород может использоваться во всех трех областях. Он является наиболее распространенным элементом на нашей планете и является отличным топливным материалом.

При превращении энергии водорода в электрическую энергию из технологической цепочки исключаются процессы горения. Из-за этого уменьшается степень вредного воздействия на природу. Переход на водородную энергетику тесно связан с климатом.

В настоящее время около 90% энергии мир получает, сжигая ископаемое топливо. Но цены на углеводороды растут. Их месторождения постепенно истощаются. Разведка и эксплуатация новых залежей требует вложения больших средств. Наряду с этим, климат нашей планеты испытывает все большую нагрузку. Экологические проблемы с каждым днем все больше влияют на здоровье людей и уже никого не оставляют безучастными.

**1. Водород как носитель энергии**

Водород - самый распространенный химический элемент на Земле, но он не находится в свободном доступе в окружающей среде, а всегда соединяется с другими элементами (например, с водой, H2O или метаном, CH4). Следовательно, **чтобы его можно было использовать в энергетике, его сначала нужно высвободить, то есть отделить от остальных элементов.** Чтобы провести это высвобождение и получить свободный водород, необходимо провести процессы, на которые тратится энергия. Это определяет водород как ***носитель*** энергии, а не как первичную энергию или топливо. Зеленый водород - это ***энергоноситель,*** а не основной источник энергии. [1] Другими словами, водород - это вещество, которое может накапливать энергию, которую затем можно использовать в другом месте. Это не ископаемое топливо, такое как природный газ. Особенности водорода заключается в его способности заменять ископаемое топливо, например, в морском и воздушном транспорте или в некоторых промышленных процессах, что важно в борьбе с изменением климата. Более того,**он имеет большой потенциал долгосрочного хранения энергии**, которую он может долго накапливать, а затем использовать по требованию в энергетике, промышленности, на транспорте и в быту.

**2. Типы водорода в зависимости от способов его получения**

Сегодня в качестве сырья для производства водорода используют: природный газ 68%, нефть 16%, уголь 11%, электролиз воды 5%. [4]

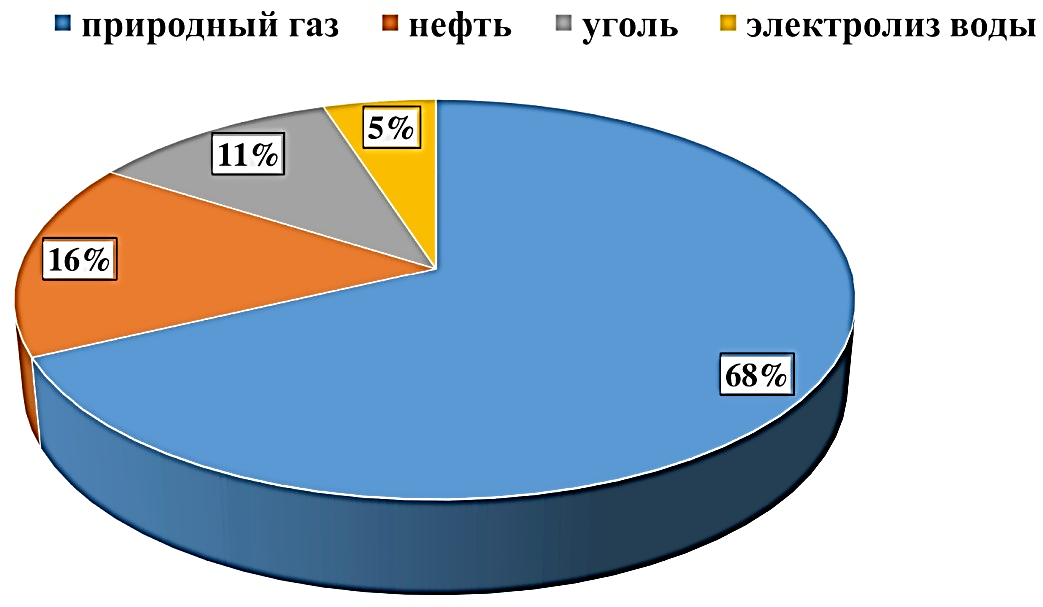


Рис. 1 Используемое сырье для получения водорода

Существует множество способов промышленного производства водорода. Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики.



Рис. 2 Классификация водорода по способам его получения

**Коричневый водород (**его еще называют **черным**)**:** получают с помощью газификации ***угля***, в процессе его производства выделяется СО (монооксид углерода), СН4 (метан) и значительное количество СО2 (углекислого газа) — основного парникового газа, вызывающего изменение климата. Очень неэкологичный процесс по сравнению с другими методами.

**Серый водород:** получают ***из природного газа*** путем паровой конверсии метана***.*** В настоящее время это самая распространенная и дешевая продукция. Этот процесс легко осуществим с практической точки зрения, но при химической реакции выделяется углекислый газ в таких же объемах, как и при сгорании природного газа. Полученный таким методом водород нельзя считать экологичным, поэтому его называют «серым». Почти весь производимый сейчас водород – серый, 99%

**Голубой водород:** его ***также*** получают ***из природного газа***, путем паровой конвенции метана. Разница в том, что выбросы CO2 – основного парникового газа, частично или полностью предотвращаются за счет системы улавливания углерода, что дает примерно двукратное сокращение выбросов углерода. Голубой водород – это промежуточный вариант, когда при производстве «серого» водорода улавливают углекислый газ. Ставка в этом случае делается на эффективность улавливания.

**Красный (розовый, желтый) водород** — как и зеленый получают путем электролиза, но источником энергии в этом случае являются атомные электростанции, выбросы СО2 в данном случае отсутствуют.

**Зеленый водород**: является самым экологичным, т.к. получают его с помощью электролиза, если электричество поступает от ВИЭ (возобновляемые источники энергии), таких как ветер, солнечная или гидроэнергия. Выбросы СО2 отсутствуют. Это самый дорогой водород, но по мере снижения стоимости возобновляемых источников энергии ожидается, что его цена будет постепенно снижаться. Себестоимость производства «зелёного» водорода более чем в три раза дороже, чем «серого».

Такое производство считается безвредным для природы. Когда говорят о водороде как о топливе будущего — имеют в виду именно его.

***Но проблема*** заключается в том, что требуется много дешевой ***возобновляемой электроэнергии***.

Другой тип зеленого водорода (биоводород) производится из отходов животноводства, сельского хозяйства и бытовых отходов, но их доля чрезвычайно мала.

Процесс производства зеленого водорода: при электролизе используется постоянный электрический ток, чтобы расщепить воду (H2O) на кислород (O2) и водород (H2)

**2Н2O + энергия —> 2H2+O2**.

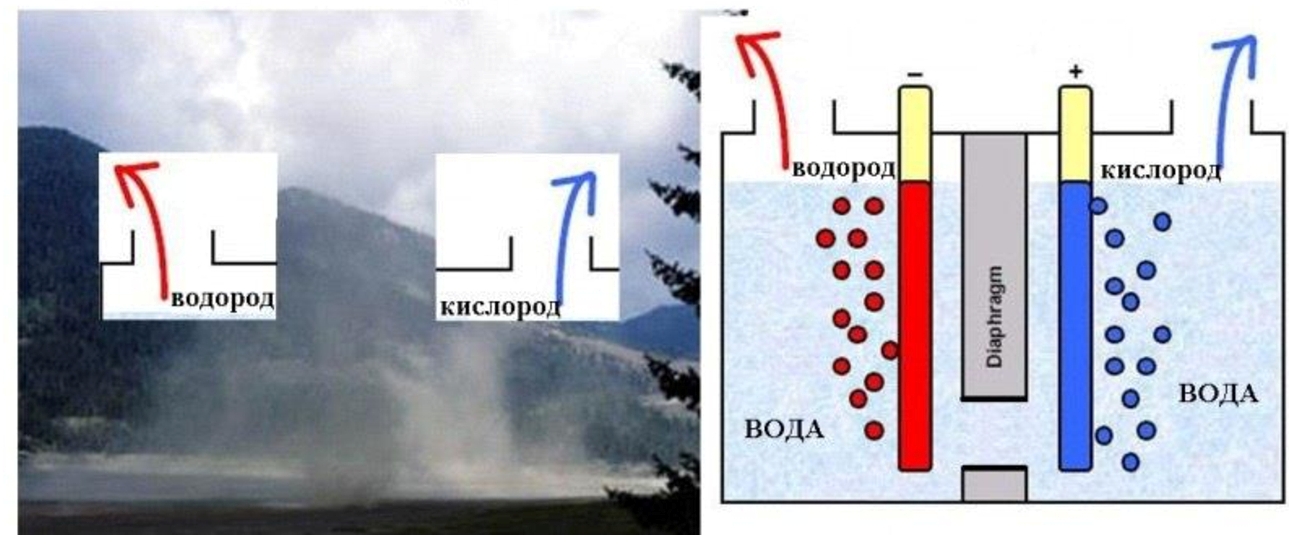


Рис. 3 Получение водорода способом электролиза

Таким образом, электролиз воды – это способ получения экологически чистого водорода при использовании энергии ВИЭ, АЭС и ГЭС.



Рис. 4 Разнообразие способов получения водорода

Себестоимость производства водорода по видам, доллар за килограмм: зеленый - 10$, голубой -2$, красный - 2$, серый - 2-2,5$, коричневый - 2-2,5$, [википендия]

**3. Хранение водорода и транспортировка водорода**

Высокая взрывоопасность водорода требует безопасного хранения водорода. Системы хранения должны выдерживать либо низкие температуры, либо высокие давления. Условия хранения водорода должны быть безопасными и надежными.

Водород можно хранить: в сжатом или сжиженном состоянии и в связанном состоянии (химических соединениях водорода).

Методы хранения водорода можно разделить на 2 группы.

Первая группа включает физические методы хранения водорода:

Сжатый газообразный водород хранят в газовых баллонах; подземных резервуарах; трубопроводах. Самый простой метод хранения – в газообразном состоянии под давлением в стальных сосудах. В обычных стальных баллонах водород хранится под давлением до 200 атмосфер (в 1 м3 хранится ~ 16 кг водорода). Недостаток – масса водорода при хранении в баллонах составляет 2-3% от массы самого баллона.

Одним из наиболее перспективных способов хранения больших количеств водорода является хранение его в водоносных горизонтах. Годовые потери при таком хранении составляют всего 1-3%. Возможно хранение водорода в больших количествах в подземных газохранилищах с содержанием 50% водорода. Потери водорода в этом случае незначительны.

Жидкий водород хранят в стационарных и транспортных криогенных (для низких температур) контейнерах. Жидкий водород хранится в криогенных контейнерах из высококачественной стали. Процесс сжижения водорода очень энергозатратный. Недостатком являются потери водорода в связи с его способностью диффундировать через поверхность материала.

Вторая группа включает химические методы хранения водорода:

Химически связанный водород в жидкостях хранится в аммиаке, метаноле, гидридах металлов. Например, чтобы получить килограмм водорода, нужно использовать 5,65 кг аммиака. Преимущества состоят в высокой плотности объемного содержания водорода. Недостаток такого метода хранения – это однократное использование среды хранения



Рис. 5 Емкости для хранения водорода

Транспортировка водорода может осуществляться:

Автомобильным транспортом емкостью 20 и 24 м3 на большие расстояния. Техника перевозки хорошо разработана, включая меры безопасности.

Железнодорожным транспортом. Железнодорожные цистерны имеют большую емкость, чем автомобильные.

Водным транспортом. Перевозка жидкого водорода в резервуарах. Но при такой транспортировке необходимы перевалочные базы для передачи водорода с водного транспорта на наземный.

При регулярной и достаточно большой потребности в водороде имеет смысл трубопроводный транспорт. В США, Германии, Англии газопроводы для водорода находятся уже в эксплуатации. Трубопроводный транспорт имеет хорошие перспективы: транспортирование водорода дешевле чем транспортирование электричества.

1. **История начала водородной энергетики**

Французский изобретатель Франсуа Исаак де Риваз в 1806 году разработал двигатель внутреннего сгорания, использующий водород, который был получен путем электролиза.

Уильям Роберт Гроув в тридцатые годы 19 века создал водородный топливный элемент и совместно с Кристианом Шейбеном доказал возможность получения электрической энергии под воздействием кислоты в водородно-кислотном элементе.

Константин Эдуардович Циолковский в 1903 году заявил, что для межпланетных перелетов самым выгодным в энергетическом плане является жидкий кислород в паре с жидким водородом.

В 1941 году техник-лейтенант Борис Шелиш в условиях дефицита автомобильного топлива заменил его водородом, взятым из аэростатов.

Кэмбриджский изобретатель Френсис Т. Бэкон в 1959 году усовершенствовал схему водородного топливного элемента. В результате чего такой элемент стал главным источником электрической энергии на космических кораблях «Аполлон».

В этом же 1959 году на водородном топливном элементе в США создано первое транспортное средство – трактор, а в 1962 году – автомобиль для игры в гольф

В 1963 году стартовала ракета-носитель «Атлас-Центавр», верхняя ступень которой работала на водородно-кислородном топливе.

В США в 1967 году появился мотоцикл с водородно-топливными элементами.

В 1988 году самолет Ту-155 совершил первый полет на жидком водороде и сжиженном природном газе.



Рис. 6 1988 год самолет Ту-155 на жидком водороде

**5. Состояние водородной энергетики в настоящее время**

В водородной стратегии Европы до 2050 года речь идет о том, что «зеленый» водород займет только половину, вторая половина отойдет «голубому» водороду.

В июне 2020 года [Германия объявила о реализации национальной водородной стратегии](https://aussiedlerbote.de/2020/06/germaniya-planiruet-investirovat/) с инвестициями в 7 млрд. евро, чтобы стать лидером в этой области.

Япония, Франция, Южная Корея, Австралия, Нидерланды и Норвегия начали свой курс на водород раньше Германии, а Япония сделала это раньше всех — в 2017 году.

В Шотландии водородное отопление планируют применять для отопления 300 зданий водородом, полученным путем электролиза от ветряков, которых полно в Шотландии. А потом и вся газовая инфраструктура будет использована для подачи водорода.

С середины 2020 года 10 водородных автобусов курсируют по улицам Германии. В конце 2020 в Шотландии [появились двухэтажные автобусы](https://mintrans.news/tech/pervye-v-mire-dvukhetazhnye-vodorodnye-avtobusy-poyavilis-v-shotlandii) на водороде от компании. В Китае продали 993 водоролных автобуса. С 2018 года водородные поезда ездят по Германии, Австрии, Швеции и Франции. Франция представила водородный грузовик. В Китае внутри страны курсирует 100 водородных грузовиков. Германия уже эксплуатирует подводные лодки на водородном топливе. Водородные суда есть и во Франции. В Италии запущена маломощная электростанция на чистом водороде. В Чили запущена солнечная электростанция. В Южной Корее введена в эксплуатацию крупнейшая в мире электростанция на водородных топливных элементах. В Австралии построен корабль для перевозки жидкого водорода



Рис. 7 Водородный поезд

5.1 Состояние водородной энергетики в России

В области водородных технологий Россия не хуже других стран, поэтому ей не нужно догонять, а важно не потерять темп

Достаточно вспомнить, что первый в мире самолет с водородным двигателем был создан именно в нашей стране еще в 1980-х годах. Водородную энергетику в России объявили одной из 42 стратегических национальных инициатив. У нас есть наработки по производству, хранению и транспортировке водорода. Но при этом в России работает только [одна водородная заправка](https://news.drom.ru/79456.html) — в Подмосковье. По части транспорта есть примеры с водородным трамваем в Санкт-Петербурге.

У России имеются большие запасы газа, угля и воды, из которых можно производить водород.У нашей страны есть потенциал производства водорода из ГЭС и из энергии АЭС.

Объем выработки электроэнергии на предприятиях возобновляемой энергетики в России по итогам января — сентября 2024 года достиг 6,14 млрд кВт ч, что на 34% выше, чем за аналогичный период 2023 года. Основные источники возобновляемой электроэнергии — ветровые электростанции и солнечные электростанции, геотермальные электростанции, использующие биогаз, биомассу, отходы производства и энергию потоков сточных вод. Лидерами по выработке «зеленой» электроэнергии в 2024 году стали Южный (66% от выработки), Приволжский (13%) и Дальневосточный (9%) федеральные округа.

В Москве в несколько раз увеличилось количество зарядных станций для электромобилей. В среднем для полной зарядки машины понадобится около 5 часов. На данный момент установлены уже 20 станций.

Количество зарегистрированных в России электромобилей увеличилось на 27% за шесть месяцев 2024 года, сообщили в Минэкономразвития.

Сейчас на учете стоят 52 тысячи таких машин. За два года в РФ было выпущено более 11 тысяч автомобилей на электротяге, а количество зарядных заправок составляет порядка 5 тысяч.

В Москве в 2025 запущен 220-й электробусный маршрут. Численность экологичных рейсов постоянно растёт. Только с начала года появилось уже 42 электробусных маршрута. Сейчас в Москве на маршруты выходят свыше 2400 электробусов. Власти намерены перевести свыше 80% парка Мосгортранса на электробусы уже к 2030 году.

**В Южно-Сахалинске** запустили первый в России водородный полигон. С помощью водородного топлива обеспечат электричеством труднодоступные районы Сахалина и Курильские островов.

Позже технологии планируется тиражировать в другие регионы Дальнего Востока и всей России.

**"Трансмашхолдинг" представил** концепцию водородного поезда - первого в истории отечественного транспортного машиностроения пассажирского поезда на водородных топливных элементах. Первым регионом, в котором начнут эксплуатировать новый состав, станет Сахалин. Ожидается, что первый образец для испытаний появится в 2025 году, а уже к 2028 году начнутся регулярные перевозки на пригородных поездах.

**В Подмосковье** ввели в эксплуатацию первую в стране «зеленую» электростанцию, работающую на бытовых отходах. Предприятие будет перерабатывать в энергию - 700 тысяч тонн отходов в год.

Цель - отказ от мусорных полигонов и снижение нагрузки на окружающую среду. Аналогичные предприятия действуют во многих странах Европы и Азии.

Преимущества России очевидны. Во-первых, себестоимость производства водорода из воды путем электролиза в три-шесть раз выше, чем получение водорода из природного газа. Во-вторых, Россия находится близко к основным рынкам сбыта и у России имеются преимущества в виде наличия газопроводов, которые можно будет модернизировать под транспортировку водорода. Поставляя меньше газа и нефти, мы сможем заменить их поставками водорода. В 2024-22025 году в России должны пустить пилотные водородные установки, в том числе на атомных электростанциях и планируется ввести в эксплуатацию опытный полигон для железнодорожного транспорта, работающего на водородных топливных элементах, на Сахалине. Начата работа по реализации проекта производства водорода на Кольской АЭС. [6]



Рис. 8 Кольская АЭС

Предполагается к 2025-2026 году освоить промышленное производство электролизным способом до 100 тысяч тонн экологически чистого водорода в год. Сегодня **в России** производится низкоуглеродный "желтый" **водород** и высокоуглеродный "серый" **водород**, производимый из ископаемых источников.Это самый дешевый способ производства водорода, поэтому он наиболее распространен. Недостаток – это высокие выбросы CO2. Перспективы развития водородной энергетики в России главным образом связывают с экспортом водорода: 0,2 млн. тонн в 2024 году и 2 млн. тонн в 2035 году. Наряду с экспортным направлением водородная энергетика имеет перспективы внутри страны. Это возможность снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, прежде всего от транспорта, что актуально в первую очередь для крупных городов. Согласно энергетической стратегии России, экспорт водорода к 2026 году будет составлять 16% мирового рынка водорода. [6]

Таким образом, Китай, Япония, Евросоюз, США и Канада, а также ряд других стран, включая Россию, уже имеют собственные стратегии развития водородной экономики.

**6. Достоинства и недостатки водородной энергетики**

6.1 Достоинства

**Неисчерпаемость.** Учитывая, что мировой океан исчисляется миллионами тонн воды, можно считать, что источник для получения водородного топлива неисчерпаем. Суммарная масса водорода составляет 1% общей массы Земли. Тогда как природные ресурсы не вечны и имеют свойство заканчиваться. Ресурсы углеводородного топлива будут истощены примерно через 100 с лишним лет.

**Экологичность.** Применение водорода в качестве топлива не наносит вред окружающей среде. При сгорании водорода не образуются парниковые газы и не нарушается круговорот воды в природе. Тогда как уголь, природный газ и нефть по своей природе не могут сравниться с водородом по этому показателю. При их добыче, транспортировке и использовании непрерывно выделяются парниковые газы (метан, СО2). И свести эти выбросы к нулю невозможно.

**Энергоэффективность**. Водород содержит почти в три раза больше энергии, чем ископаемое топливо, поэтому для выполнения какой-либо работы его требуется гораздо меньше. Например, по сравнению с электростанцией, работающей на сжигании топлива с КПД до 35%, водородные топливные элементы выполнят ту же функцию с КПД до 65%. Автомобили на водородном топливе проезжают в 2-3 раза больше километров, чем автомобили на другом топливе. Это связано с тем, что водородное топливо меньше расходуется, но позволяет извлекать из себя такое же количество энергии.

**Разнообразное применение.** Водородная энергетика может быть применена в транспорте, производстве электроэнергии и промышленности.

6.2 Недостатки

**Стоимость.** Производство «голубого» и «зелёного» водорода обходится дорого. К тому же установки для производства такого водорода маломощные и их немного. Поэтому добыча этого водорода считается неоправданно дорогой. На получение даже небольшого его количества затрачивается много средств. Перспективы водородной энергетики связаны с удешевлением стоимости водорода, производимого электролизом воды. Стоимость производства зеленого водорода по странам к 2050 году, евро за 1 кг:Аргентина 1,5; Австралия 1,25; Бразилия 1,25; Канада 1,5; Чили 1,25: Китай 1,25; Франция 2,0; Германия 2,25; Индия 1,25; Япония 2,75; Марокко 1,25; Польша 2,5; Россия 1,5. [Statista]

**Безопасность.** При добыче существует вероятность взрыва, так как водород имеет повышенную взрывоопасность. При получении водорода должны применяться специальные инструкции, малейшее нарушение которых может повлечь за собой большие проблемы. Но даже при соблюдении всех условий существует вероятность возникновения взрыва. По сравнению с бензином, природным газом и пропаном водород огнеопаснее в воздухе, малейшие трещины в баке могут привести к трагедии. Но, поскольку водород очень легкий — примерно в 57 раз легче, чем пары бензина, — он может быстро рассеиваться в атмосфере, и это положительный для безопасности фактор.

**Добыча**. Основные проблемы заключаются в том, что получение водорода сопряжено с необходимостью траты иных энергоносителей (уголь, нефть, электричество, газ), а использовать природные ресурсы для получения водорода нецелесообразно, их лучше направить на развитие других сфер. А получение водорода из ВИЭ не всегда возможно, потому что солнце светит и ветер дует не всегда. Поэтому на данный момент единого способа добычи водорода нет.

**7. Заключение**

Несмотря на то, что в настоящее время водородная энергетика имеет практически равное количество плюсов и минусов, главный довод заниматься водородом это, конечно, Парижское соглашение. На фоне катастрофического ухудшения экологического состояния планеты и истощения ресурсов углеводородного сырья, предполагается использовать водород как абсолютно безвредное топливо. Потому что при использовании водорода как топлива не выделяются вредные вещества.

Водород является уникальным энергоносителем, но нуждается в практической разработке новейшего оборудования для его добычи и удешевлении процесса его получения. Учитывая, что залежи природных ресурсов стремительно истощаются, нет смысла тратить дорогостоящие энергоносители для получения другого, пусть и дешевого.

Наиболее идеальным методом получения водорода является электролиз воды. При сгорании водород превращается в воду и полностью возвращается в круговорот воды в природе. Водород – это неисчерпаемый источник.

Но, пока одним из основных источников получения водорода является природный газ. И нельзя со стопроцентной уверенностью сказать, когда именно водородная энергетика будет использоваться повсеместно.

**8. Литература**

1. Основы водородной энергетики / под ред. В. А. Мошникова и Е. И. Терукова. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «Лэти», 2010. 288 с.

2. Основы современной энергетики / под общей редакцией чл.-корр. РАН. Е. В. Аметистова. Том 1 / под редакцией проф. А. Д. Трухния // в 2-х томах. Москва: Издательский дом МЭИ, 2008

3. Полеванов В.П., Глазьев С.Ю. Поиски месторождений природного водорода в России как основа встраивания в новый технологический уклад. Глобальное недропользование, август 2020, с.10-23.

4. Конопляник А. А, Чистый водород из природного газа // Корпоративный журнал “Газпром”, №9, 30 сентября 2020.

5.Водородная энергетика // Энергетический бюллетень, №89, октябрь 2020 года.

6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12 октября 2020 года № 2634-р “Об утверждении плана мероприятий" Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года".