

# ВОДОРОД КАК АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ ИСТОЧНИК ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Макаров Дмитрий Сергеевич*

*Статья посвящена вопросам практического применения водорода в промышленности, анализу рисков и преимуществ данного вида альтернативного топлива. В статье рассматриваются и оцениваются преимущества водорода перед другими источниками энергии, анализируется экономическая и экологическая выгода данного вида топлива. В статье раскрываются оптимальные способы добычи водорода в промышленных масштабах для достижения целесообразности перехода на этот вид топлива как основной.*

*Ключевые слова: альтернативные источники, энергия, экология, кризис, промышленный водород.*

*JEL-коды: Q5.*

**Введение.** Поиску альтернативных источников энергии посвящено множество работ. Это вызвано тем, что исчерпаемость нефти, газа, угля на планете уже не подвергается никакому сомнению. Вопросы альтернативной энергетики, поисков экологически чистого и высокоэффективного дешевого энергоносителя, легкодоступного и практически неисчерпаемого источника энергии давно и прочно заняли ведущее место в перечне проблем, влияющих на перспективу дальнейшего не только развития, но и существования всего человечества.

Один из энергоносителей, отвечающий многим этим требованиям, давно известен – водород. Водородная энергетика обладает огромным потенциалом и на это есть множество причин. Он присутствует на планете в неограниченном количестве, его использование не вредит природе, не нарушает экологического равновесия, ведь оксид водорода – это дистиллированная вода.

Если водороду суждено стать альтернативой современной энергетике в следующем столетии и в новом тысячелетии, человечеству следует изучить вопрос производства водорода, чтобы мы могли идти в ногу с энергетическими потребностями постоянно расширяющейся международной экономики.

Интерес к исследованиям, посвящённым проблемам применения водорода в качестве альтернативного топлива, в последние годы стремительно возрастает в ведущих мировых научных центрах<sup>1</sup>. Множество исследований было проведено в исследовательских центрах Германии. Широко известны работы, проводимые в Японии, где исследуется применение газообразного и жидкого водорода, а также присадок этого горючего к топливно-воздушной смеси. Аналогичные исследования были проведены в Норвегии, Польше, Франции, Австралии, Индии и т.д.

---

<sup>1</sup>Картамышева Н.С., Картамышева Е.С., Биекенова А.С., Перевала М.Н. Водород — топливо будущего? // Молодой ученый. — 2015. — №14. — С. 662-666.

Существенный вклад в развитие направления по применению водорода внесли такие известные российские учёные, как В.А. Вагнер, В.А. Звонов, Ю.В. Галышев, Н.А. Иващенко, А.А. Капустинин и другие. Были попытки организовать работы по программе водородной энергетики «Норильский никель – РАН», но в 2008 г. эта программа была закрыта.

Владимир Туманов, заведующий лабораторией «Накопители электрической энергии» кафедры физической химии НИТУ «МИСиС» считает, что водород, в отличие от солнечного излучения и ветра, действительно может стать основным источником энергии, но это дело достаточно далекого будущего. О предстоящем завершении эпохи углеводородов в энергетике говорят почти все. Спор идет скорее о сроках. Например, на недавнем Петербургском экономическом форуме министр энергетики Александр Новак говорил, что нефть и газ останутся основными источниками энергии до 2040 года. А по мнению главы Сбербанка Германа Грефа, они перестанут быть основными источниками энергии раньше — на рубеже 2030 года<sup>2</sup>.

Привожу пример официальной оценки российских учёных, озвученной в научном кафе по проблемам водородной энергетики 15 мая 2007 г. в Санкт-Петербурге в рамках проводимого фондом Дмитрия Зимина «Династия» фестиваля «Дни науки». «Через полтора года, - говорит С.А. Гуревич, - мы планируем сделать маленький источник энергии мощностью 2 Вт (это столько, сколько потребляет мобильный телефон). Он будет размером с аккумулятор мобильного телефона. И надеемся, что энергетическая емкость у него будет больше, чем у современных аккумуляторов»<sup>3</sup>. «Каждой энергетике – свое время, – подытожил В.Л.Туманов. – Водородная энергетика придет на смену углеводородной где-то через 40-50 лет. Тогда она сможет решить проблемы удаленных регионов, куда не дотягиваются линии электропередач»<sup>4</sup>.

**Экономическая выгода водорода.** Для того, чтобы водород стал преобладающим источником энергии, необходимо решить проблемы его производства и хранения. По оценке американских экспертов, если стоимость производства водорода составит не более \$5 за килограмм, от другого топлива можно будет отказаться. По данным Департамента энергетики США, наиболее значимая проблема, связанная с текущим производством водорода, - источник энергии, необходимой для его производства и обеспечения потерь энергии в цепи использования водорода<sup>5</sup>. При условии использования существующих традиционных технологий, водород требует по крайней мере вдвое больше энергии, в два раза больший тоннаж угля, в два раза большее количество атомных электростанций, или два раза большие поля фотоэлектрических панелей, чтобы выполнить эквивалентные объемы работы. Большинство из производимого на сегодняшний день водорода - получают из природного газа, что является всего лишь временным решением, так как теряется 30% энергии в одном ценном, но истощаемом виде топлива (природном газе), чтобы получить 70% энергии от другого (водорода). Задача состоит в том, чтобы разработать более подходящие методы, основанные на

---

<sup>2</sup>Туманов В. Выбор источника: можно ли говорить о конце нефтегазовой энергетики [Электронный ресурс]. URL: [www.rbc.ru/opinions/technology\\_and\\_media/13/07/2016/5784e0879a7947ba3bfe0405](http://www.rbc.ru/opinions/technology_and_media/13/07/2016/5784e0879a7947ba3bfe0405)

<sup>3</sup>Компан М.Е. Водородная энергетика: где, когда, какой ценой? [Электронный ресурс]. URL: [www.informnauka.ru/scicafe/scicafe070515\\_11.shtml](http://www.informnauka.ru/scicafe/scicafe070515_11.shtml)

<sup>4</sup>Там же.

<sup>5</sup>Радченко Р.В. Водород в энергетике. – Екатеринбург, 2015. – С. 8.

устойчивых энергетических источниках, методы, которые не используют электроэнергию в качестве промежуточного этапа.

В настоящее время наиболее экономически выгодный метод промышленного производства водорода - паровое углеводородное реформирование, в ходе которого природный газ обрабатывается паром высокой температуры, в результате чего происходит химическое разложение природного газа, сопровождающееся выделением водорода. Другие методы начинаются с газификации угля с низким содержанием серы в промышленных печах при чрезвычайно высокой температуре и последующей химической «очисткой» этого газа для извлечения водорода, наряду с окисью углерода и диоксидом углерода. Обе эти технологии позволяют получить водород по приемлемой цене, с учетом роли водорода, которую он играет в производстве, однако он далеко не конкурентоспособен с бензином или природным газом с точки зрения обеспечения экономичной энергией транспорта или других энергетических потребностей. В промышленных целях, когда необходим очень чистый водород, электролиз является предпочтительным методом производства. Электролиз - использование электроэнергии для химического разложения воды на составляющие элементы - водород и кислород. Он является очень энергоемким и не может конкурировать в больших масштабах с другими методами из-за расходов, связанных с выработкой электроэнергии, необходимой для процесса.

**Пути снижения стоимости производства водорода.** Прежде чем водород станет решением энергетических проблем, должны быть преодолены существенные технические и экономические трудности. В настоящее время изучаются несколько альтернативных методов производства в надежде на снижение стоимости производства водорода.

Получать водород обычным электролизом дорого: процесс требует большого количества энергии. Но есть Солнце — для нашей цивилизации это бесконечный источник световой энергии. Разлагать воду на водород и кислород наиболее эффективно путем фотолиза — процесс идет непосредственно в специальных ячейках под воздействием солнечного излучения.

Такие ячейки были созданы в конце прошлого века в Физико-техническом институте им. Иоффе и Институте катализа СО РАН. К сожалению, эти разработки остались на уровне лабораторных образцов и диссертаций. Были попытки возобновить работы по программе водородной энергетики «Норильский никель — РАН», но в 2008 году эта программа была закрыта.

Источниками водорода могут быть уголь, газ, биомасса – как отходов, так и живых растений. У некоторых представителей группы зелёных водорослей, например, *Chlamydomonas reinhardtii*, при нехватке кислорода и серы резко ослабевают процессы фотосинтеза и начинается бурная выработка водорода. Этот эффект обнаружил в конце 90-х годов прошлого столетия исследователь из Беркли Анастасиос Мелис.

Главное место среди методов производства занимает так называемый солнечный водород. Солнечным водородом считается водород, полученный с использованием энергии солнца для его производства и сбора. Существует несколько способов получения водорода при помощи солнечной энергии.

Наиболее распространенные из них<sup>6</sup>:

---

<sup>6</sup> См.: Водород 2014: материалы Второй Международной конференции. – М., 2014. – С. 2.

- при помощи энергии, собранной солнечными «электростанциями», параболическими солнечными коллекторами, которые фокусируют энергию солнца;
- при помощи двигателя Стирлинга, работающего от собранного тепла Солнца, который, в свою очередь, приводит в движение генератор, производящий электроэнергию для питания системы электролиза;
- использование тепла собранной солнечной энергии, чтобы «выделить» водород непосредственно из источников, богатых водородом, таких как вода, природный газ, и органической биомассы, например, муниципальных и сельскохозяйственных отходов.

Солнечный водород имеет огромный потенциал, так как он нисколько не загрязняет окружающую среду и является возобновляемым источником энергии. Основные современные методы производства водорода хоть и занимают очень малую долю от общего спектра углеводородных загрязнений во всем мире, тем не менее, они способствуют выбросам окиси углерода и двуокиси углерода в атмосферу, а также диоксида серы, который усиливает кислотные дожди. В отличие от солнечного водорода, который является бесконечным источником чистой полезной энергии, и добыча которого также не способствует загрязнению атмосферы. По мере того, как современные методы будут и дальше снижать и без того ограниченные запасы ископаемого топлива, технология солнечного водорода будет использовать безграничную энергию солнца для производства водорода из морской воды, сточной воды и даже из мусора, который в скором времени переполнит свалки по всему миру.

Кроме солнечного водорода, есть несколько других технологий добычи, которые испытываются в качестве технологий для массового производства водорода, и которые сохраняют при этом целостность нашей окружающей среды<sup>7</sup>. Это позволит использовать оставшиеся источники углеводородов для других целей, кроме энергетических, таких как производство пластмасс, синтетических волокон, нейлон и полиэстер, другие товары длительного пользования.

Стоимость производства электроэнергии для извлечения водорода была камнем преткновения на пути к распространению водорода в качестве источника энергии. Одним из возможных решений этой проблемы является солнечная электроэнергия в качестве источника энергии для процесса электролиза. Технически это фотоэлектрохимическая технология, которая может реализовываться на солнечных электростанциях или у стеков фотоэлектрических солнечных панелей. Другим возможным решением является увязка производства водорода и гидроэлектростанций, которые имеют самые низкие затраты при масштабном производстве электроэнергии, необходимой для производства водорода и для промышленного использования энергии. Другие развивающиеся технологии использования возобновляемых источников, такие как ветрогенераторы и приливные электростанции, могут также применяться в этой области в будущем.

Получение водорода путем, отличным от электролиза, происходит без использования электричества. Существует несколько перспективных подходов, которые изучаются, и в дальнейшем могут стать основой для многообещающей стратегии производства.

Один из методов получения водорода методом сбора, который не предполагает использования электроэнергии, является процесс, известный как фотолиз. Это процесс, в

<sup>7</sup> Чумаков В. Разворот на водород // Вокруг света. – 2006. - 6. – С. 31.

котором штаммы сине-зеленых водорослей обеспечивают надлежащими температурными условиями и освещенностью таким образом, что хлорофилл и ферменты, содержащиеся в водорослях, могут химически разделить морскую воду на водород и кислород<sup>8</sup>. Известный как фотобиологическое производство, этот процесс является очень экологически чистым, он не нуждается во внешней энергии, кроме, возможно, энергии для поддержания диапазона температур, необходимого для содействия процессу.

Другим фотобиологическим вариантом является использование генетически модифицированных бактерий и ферментов, чтобы «расщеплять» морскую воду. Основные проблемы, которые необходимо преодолеть, заключаются в том, что бактерии, которые наиболее эффективно разделяют воду на составляющие - анаэробные бактерии. А это означает, что они наиболее продуктивны в бескислородной среде. Это становится причиной очевидных проблем, так как один из элементов, образующихся в результате диссоциации воды, - кислород. Именно здесь вступает в дело геновая инженерия и, благодаря всё еще продолжающимся исследованиям, ученые начали производить штаммы бактерий, которые способны поддерживать свою фотобиологическую деятельность в присутствии кислорода, повышая тем самым вероятность того, что это могло бы стать полезным методом производства водорода.

Биомасса является относительно новым термином, который означает любой органический материал, который может содержать полезные составляющие топлива. Примеры биомассы: древесные отходы, отходы, связанные с производством бумаги, сельскохозяйственные отходы, такие как трава и побочные продукты культурных растений, например, кукурузные стебли, и то, что называется ТБО - твердые бытовые отходы, или иначе мусор. Для производства водорода эти источники биомассы биологически разлагаются при помощи различных микробов. Это и есть еще один неэлектрический способ получения водорода, в то же время предлагающий новые способы использования материалов, которые ранее выбрасывались, зачастую с плохими последствиями.

Биомасса предоставляет другие возможности для неэлектрического производства водорода, такие как процесс пиролиза. Возобновляемые источники энергии, такие как параболические солнечные коллекторы, сосредотачивают тепловую энергию от Солнца, и создают высокую температуру для протекания термохимической реакции, в ходе которой биомасса разделяется на богатые водородом пары и богатый углеродом осадок, который называется древесный уголь<sup>9</sup>.

При сжигании древесного угля вырабатывается тепло, которое используется для получения перегретого пара. Затем этот пар взаимодействует с богатым водородом газом в ходе обычного процесса углеводородного реформирования, подобного тому, который используется для извлечения водорода из природного газа. Хотя эта технология все еще находится в зачаточном состоянии, многие исследователи полагают, что она открывает большие перспективы для производства энергии в будущем, а также предоставляет возможности по утилизации отходов биомассы.

---

<sup>8</sup>Мокрушин А.С. Перспективы применения водорода в энергетике // Вестник Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. - 2015. - № 4. - С. 17.

<sup>9</sup> Козин Л. Ф. Волков С. В. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы. – Киев: Наук. Думка, 2013. — С. 189.

Необходимо решать, как бороться с опасностями транспортировки водорода, которые подогреваются затяжной ассоциацией с трагедией Гинденбурга. Как только эти опасения будут развеяны, государственные учреждения, руководители предприятий, и население в целом могут присоединиться к поискам приемлемых решений для того чтобы водород стал энергией будущего.

**Практическое применение водорода: прошлое, настоящее и будущее.** Примечательно, что водородный двигатель был изобретён гораздо раньше бензинового. Но развитие получил почему-то второй. Построенный во Франции ещё в 1806 году учёным Франсуа Исааком де Риваз, агрегат уже тогда работал от гидролиза воды. А бензин для ДВС стали применять только в 1870. У водородного карбюраторного мотора горючее только обогащается газовой смесью на 10%, но это на 30–50% понижает расход самого горючего. Получается, что на том же объёме топлива вы будете проезжать, например, не сто пятьдесят, а двести вёрст. Вот какие достоинства водородного двигателя существуют уже сегодня. А в будущем применение этого газа, как движущей силы для автомобиля, открывает широчайший ряд выгодных аспектов, таких как:

- бесплатное сырьё — вода, из которой газ можно брать бесконечно;
- во время реакции получаемые вещества вреда экологии не доставляют;
- благодаря реактивному сгоранию КПД рассматриваемого агрегата на порядок выше карбюраторного;
- колоссальная горючесть газа позволяет силовой установке бесперебойно работать при любых атмосферных показателях как минусовых, так и плюсовых;
- детонация при сгорании водородной смеси в разы ниже, чем у бензина, что снижает шумы и вибрацию при работе агрегата;
- здесь не требуется сложных систем трансмиссии, охлаждения и смазки, значит повышается простота обслуживания благодаря уменьшению числа деталей.

США, Япония, страны Евросоюза уже более 30 лет постепенно переводят на водород все: крупные предприятия, автомобили, автобусы. В Лондоне в настоящее время эксплуатируется более 8000 автобусов с двигателями внутреннего сгорания, работающими на водороде. Не останавливают своих исследований в области использования водорода для двигателей и ведущие автомобилестроительные компании, из года в год демонстрирующие на автомобильных выставках свои достижения. На данном этапе большинство уважающих себя автомобильных компаний могут похвастаться общественности прототипами автомобилей на водороде. До повсеместного внедрения водородной энергетики на транспорте дело еще не дошло, но эти времена уже на за горами. Во времена не столь далёкие, а именно в Великую Отечественную войну, есть свидетельство ещё одного удачного использования водорода как источника получения энергии. В Ленинграде в блокаду бензина катастрофически не хватало. Поэтому было решено для работы аэростатов заграждения и приводящих лебёдок использовать водород, которого было достаточно. И это сыграло немаловажную роль по защите города. Вот такая альтернатива нефтепродуктам есть у человечества на сегодня. И работа в этом направлении ведётся всё интенсивнее. Про то, как работает водородный двигатель сейчас и как

он будет работать завтра, можно говорить только в общих чертах. Ясно одно: за водородом - будущее нашей планеты.

Еще предстоит выяснить, как ученые, инженеры, правительства и население будут приспосабливаться к реалиям энергии будущего. Многие из технологий, которые мы обсуждали ранее, уже существуют, но если они будут применяться в больших масштабах, необходимых для удовлетворения постоянно растущих энергетических потребностей увеличивающегося мирового населения, то предстоит сделать еще немало работы<sup>10</sup>.

Водородная энергетика является лишь одним из многих альтернативных вариантов энергии, с которыми в настоящее время проводятся эксперименты. В действительности решения, которые будут приняты для замены истощающихся запасов углеводородного и ядерного топлива, скорее всего, будут включать в себя несколько из этих вариантов. В то время, как исследования продолжают в областях солнечной, геотермальной энергетике, ветроэнергетики и приливной энергетике, а также в энергетике ядерного синтеза, Земля продолжает ощущать влияние наших прошлых технологических решений. Это добавляет стимул для роста международного внимания к экологически чистым, безопасным, доступным источникам энергии, которые должны становиться доступными для все большего и большего числа будущих поколений.

Экономические факторы, возможно, окажут наибольшее влияние на то, когда и как будут применяться альтернативные источники энергии, так как современная потребительская экономика становится реальностью во все большем и большем количестве развивающихся стран по всему миру. В настоящее время ископаемое топливо является самым дешевым и легко доступным источником энергии, его использование в виде бензина, дизельного топлива, мазута, угля и природного газа продолжает расти.

Одним из способов проиллюстрировать эту проблему является сравнение пользы углеводородных месторождений, в зависимости от цели их использования: для создания топлива или для производства товаров длительного пользования. Нефтепродукты используются в производстве многих предметов, которыми люди пользуются ежедневно во всем мире: от пластмасс до синтетических волокон, от полупроводников, которые сделали возможной компьютерную революцию, до лекарств, косметики, промышленных химикатов и смазочных материалов. Если сравнить стоимость товаров длительного пользования со стоимостью топлива, производимого из того же количества углеводородного сырья, особенно если учесть долговечность этих продуктов, разница будет ошеломляющей<sup>11</sup>. Ликвидационная стоимость этих товаров длительного пользования, которые в силу своей химической природы могут быть использованы повторно, более чем в 30 раз превышает стоимость ископаемого топлива, которое сжигается один раз, и после того, как энергия использована, исчезают навсегда. Не нужно быть экономистом или бухгалтером, чтобы понять, что огромные экономические выгоды ежедневно упускаются из-за того, что мы позволяем сгорать этим потенциальным прибылям.

---

<sup>10</sup> Брагинский О.Б. Альтернативные моторные топлива: мировые тенденции и выбор для России // Российская химия. — 2015. — № 6. — С. 137—147.

<sup>11</sup>Hydrogen from Coal Program. Research, Development and Demonstration Plan for the period 2009 through 2016. External Draft. September 2009. Washington: U.S. Department of Energy. — 81 p.

В этом свете очевидно, что выбор энергии является экономическим уравнением со многими переменными, и нам понадобится нескончаемое количество оптимизма, чтобы решить все проблемы, которые ждут нас впереди.

**Заключение.** В настоящее время большую актуальность получили вопросы поисков экологически чистого энергоносителя, высокоэффективного и дешевого. Это вещество должно быть неисчерпаемым как ресурс и легкодоступным. Поиск альтернативного источника энергии все более заостряется ввиду дестабилизированной ситуации на планете, изменения климата за счет антропогенного воздействия, постепенного истощения в недрах земли привычных энергетических ресурсов и постоянного удорожания их стоимости. Источник энергии необходим не только для развития человечества, но и для самого существования на планете.

Претендентом на место универсально источника энергии является водород, который уже давно известен своими свойствами. На сегодняшний день существует множество причин для масштабного развития и широчайшего применения водородной энергетики, потенциал которой огромен.

Человечество осознало, что для дальнейшего существования водород может стать уникальным источником не только энергии, но и самой жизни на планете Земля.

### Список литературы

1. Брагинский О.Б. Альтернативные моторные топлива: мировые тенденции и выбор для России // Российская химия. — 2015. — № 6. — С. 137—147.
2. Козин Л.Ф. Волков С.В. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы. — Киев: Наук. Думка, 2013. — 270 с.
3. Мокрушин А.С. Перспективы применения водорода в энергетике // Вестник Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина. - 2015. - № 4. - С. 10-18.
4. Водород 2014: материалы Второй Международной конференции. – М., 2014. – 162 с.
5. Радченко Р.В. Водород в энергетике. – Екатеринбург, 2015. – 210 с.
6. Чумаков В. Разворот на водород // Вокруг света. – 2006. - 6. – С. 26 - 33.
7. Картамышева Н.С., Картамышева Е.С., Биекенова А.С., Перевала М.Н. Водород — топливо будущего? // Молодой ученый. — 2015. — №14. — С. 662-666.
8. Hydrogen from Coal Program. Research, Development and Demonstration Plan for the period 2009 through 2016. External Draft. September 2009. Washington: U.S. Department of Energy. — 120с.
9. Туманов В. Выбор источника: можно ли говорить о конце нефтегазовой энергетики [Электронный ресурс]. URL: [www.rbc.ru/opinions/technology\\_and\\_media/13/07/2016/5784e0879a7947ba3bfe0405](http://www.rbc.ru/opinions/technology_and_media/13/07/2016/5784e0879a7947ba3bfe0405)
10. Компан М.Е. Водородная энергетика: где, когда, какой ценой? [Электронный ресурс]. URL: [www.informnauka.ru/scicafe/scicafe070515\\_11.shtml](http://www.informnauka.ru/scicafe/scicafe070515_11.shtml)



## HYDROGEN AS THE ALTERNATIVE ENERGY SOURCE IN THE INDUSTRY

*Makarov Dmitry Sergeevich,*

Peoples' Friendship University of Russia  
117198, Moscow, Miklukho-Maklaya str., 6

*Article is devoted to questions of practical application of hydrogen in the industry, to risk analysis and benefits of this type of alternative fuel. In article hydrogen benefits before other power sources are considered and estimated, economic and ecological benefit of this type of fuel is analyzed. In article optimum methods of production of hydrogen commercially for achievement of feasibility of transition to this type of fuel as the main reveal.*

*Keywords: alternative sources, energy, ecology, crisis, industrial hydrogen.*

*JEL-codes: Q5.*