

УДК 624.97

**ВОДОРОД-ТОПЛИВО БУДУЩЕГО  
HYDROGEN FUEL OF THE FUTURE**

Д.С. Клепчуков, Д.М. Славянков

Научный руководитель – С.В. Сизиков, к.т.н., доцент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

D. Klepchykou, D. Slavynkou

Supervisor – S. Sizikov, Candidate of Technical Sciences, Docent

Belarusian national technical university, Minsk

*Аннотация:* в данной статье рассматривается полная производственная цепочка, учитывающая различные способы производства, хранения и использования водорода в транспортном и энергетическом секторах. Экономическая конкурентоспособность этих цепей анализируется в сравнении с решениями, основанными на межцепочечном и альтернативном использовании топлива. Этот анализ позволяет определить наиболее перспективные области для развития водородной промышленности.

*Abstract:* complete production chains are considered, taking into account various methods of obtaining, storing and subsequent use of hydrogen in transport and in the electric power industry. A comparative analysis of the economic competitiveness of these chains among themselves and in comparison with solutions based on the use of alternative fuels was carried out. The analysis made it possible to identify the most promising directions for the development of the hydrogen industry.

*Ключевые слова:* водородная энергетика, технологии, экономика, конкурентоспособность, водород.

*Keywords:* hydrogen energy, technologies, economics, competitiveness, hydrogen.

**Введение**

В наше время в вопросах энергообеспечения «зелёного» транспорта и промышленных предприятий большое будущее пророчат водородной энергетике. Водород, первый элемент таблицы Менделеева, он имеет самое высокое значение энергии на единицу массы среди всех других видов топлива. Чистый, экологичный, современный. Это топливо будущего, и все больше стран делают на него ставку. Водород может приводить в движение автомобили и поезда, им заправляют самолеты, он не выделяет вредных веществ и не наносит вреда окружающей среде. Он также может заменить традиционные источники энергии. И все это не далекое будущее-это происходит уже сейчас. Во всем мире наблюдается тенденция перехода на водород.

**Основная часть**

Уже давно известно, что водород можно использовать в качестве источника энергии. Удивительные свойства водорода были открыты еще в 19 веке. При сжигании одного килограмма, получается примерно в четыре раза больше энергии, чем при сжигании килограмма угля. Вначале XIX века водород использовался для отопления и освещения, а затем был заменен нефтью и природным газом. В начале XIX века использование водорода в качестве топлива

для двигателей внутреннего сгорания пропагандировалось во всем мире, и водород широко использовался для заправки дирижаблей, включая трансатлантические перелеты. Наиболее активные исследования в области водородной энергетики проводились в Германии, Великобритании, СССР и США. В 40-х годах прошлого века водород использовался в дирижаблях в блокадном Ленинграде, а около 500 автомобилей были переведены на водородное топливо в условиях дефицита горюче-смазочных материалов. Однако закат и крупные аварии в эпоху дирижаблей и развитие авиационных конструкций привели к ослаблению интереса к использованию водорода [1].

Только после нефтяного кризиса 1970-х годов водородная энергия стала рассматриваться всерьез. А водород, стал рассматриваться как важный энергоноситель будущего. Это произошло на фоне истощения запасов ископаемого топлива, ухудшения загрязнения воздуха в крупных городах.

Прежде всего, водородное топливо делится на три типа в зависимости от способа его производства: серое, голубое и зеленое. У каждого из них есть свои преимущества и недостатки: "Голубой" водород производится из природного газа без выбросов углекислого газа, т.е. используется технология улавливания и хранения углекислого газа. Основными преимуществами голубого водорода, являются относительная сложность технологии его производства по сравнению с другими, и возможность его производства в больших количествах. А производство "синего" водорода менее энергоемко, чем, например, "зеленого" водорода. Однако основными недостатками являются то, что он производится из углеводородного сырья, которое пользуется большим спросом, и то, что при его производстве необходимо принимать меры по выбросу углекислого газа. Для этого нужна технология, позволяющая фиксировать и хранить ее. Без него это "серый" водород. А добавление новых технологий всегда увеличивает стоимость продукта. В то же время стоит отметить, что экологичность "зеленого" водорода сильно зависит от источника энергии, необходимого для электролиза воды. Кроме того, если подсчитать общий углеродный след конечного продукта, то водород, полученный при сжигании того же угля, может оказаться не таким "зеленым", каким он мог бы быть. На стоимость производства водорода влияет стоимость исходного сырья (углеводородного газа, твердого топлива, воды), которая может достигать в конечной себестоимости 30–65%, масштабы производства (экономия в зависимости от масштаба может составлять до 30%), загрузка мощностей. При одной и той же цене сырья себестоимость производства в случае изменения загрузки со 100 до 10% увеличивается примерно в 3 раза.

Транспортирование и хранение водорода

Сбережение и перевозка водорода в газообразном виде (физический метод) воплотят в жизнь в резервуарах, в которых молекулы водорода не ведут взаимодействие с находящейся вокруг средой. Для сего подходят трубопроводы, соляные каверны, водоносные породы, газгольдеры и баллоны с мультислойными стенами, в которых водород находится в компримированном виде (газообразный водород в баллонах). На теоретическом уровне для транспортирования водорода подходят обыденные газопроводы. Однако важно

учитывать, что, несмотря на высокую удельную энергоёмкость водорода по массе (в 2.4 раза выше, чем у метана, и в 2.8 раза выше, чем у бензина), его удельная энергоёмкость по объёму меньше в 3.7 раза энергоёмкости нефтепродуктов и меньше в 3.0 раза энергоёмкости природного газа. Следовательно, при транспортировании водорода по газопроводу объём передаваемого эквивалента энергии сократится по сравнению с объёмом природного газа, что приведет к соразмерному росту затрат на транспортирование примерно в 1.5–2.0 раза истом виде. Хранение и транспортирование водорода в баллонах сопряжены с повышенной опасностью из-за его высокой летучести и взрывоопасности при контакте с воздухом. Это объясняет чрезвычайно высокую материалоемкость такого способа транспортирования – ёмкость массой примерно 20 кг на 1 кг транспортируемого водорода, что, соответственно, негативно отражается и на ценах транспортирования. Просто воспользоваться имеющейся инфраструктурой для транспортировки газа не получится, всё равно потребуются серьёзные инвестиции в модернизацию имеющихся трубопроводов. Рентабельность этих вложений целиком будет зависеть от спроса на водород [2].

#### Использование водорода в электроэнергетике

В последние десятилетия водородная энергетика испытала циклы чрезмерных ожиданий, сопровождаемых разочарованием, после всплеска интереса к ним в середине XX века. Тем не менее, как только развитые страны пошли по курсу декарбонизации энергетики, водородная энергетика получила новый приток капитала. В этой главе представлен обзор потенциальной роли водорода в обеспечении электрической и тепловой энергией людей и промышленности и оценка вероятности такого сценария. Водород хорошо себя зарекомендовал в определенных нишах, к примеру, в настоящее время уже выпускаются серийные автомобили, работающие на топливных элементах. Проблемы с дороговизной системы и её эффективностью все еще актуальны – хоть ситуация и улучшается, все еще требуется значительная модернизация технологии. В то время как электричество сравнительно легко вырабатывать без сжигания углеводородов, благодаря освоению возобновляемых источников энергии, декарбонизировать другие сферы намного сложнее. Водородные технологии конкурируют не с традиционными способами получения электрической и тепловой энергии, а с системами декарбонизации энергетической системы: с улавливанием и хранением углерода и его оксидов, биоэнергетикой и тепловыми насосами. Современная тепловая изоляция, аккумуляторы тепловой энергии и более эффективное преобразование химической энергии топлива в тепловую могут лишь частично декарбонизировать энергетическую систему, и имеют предел по декарбонизации. Замена природного газа на другое газообразное топливо может помочь значительно снизить выбросы. Великобритания сильно зависит от природного газа, и, вероятно, нескоро достигнет значительных успехов в декарбонизации сектора теплоэнергетики [3].

Одним из перспективных и реально востребованных направлений использования водорода является сфера военно-промышленного комплекса, в

которой часто в связи с возможностью улучшить технические параметры допускают более высокие затраты. В частности, это касается беспилотных летательных аппаратов, которые при использовании водорода могут довольно долго и относительно бесшумно, без выделения тепла находиться в воздухе и перемещаться на большие расстояния. Это же свойство бесшумности и автономности может быть востребовано на подводных лодках малых размеров, для которых использование атомных реакторов нецелесообразно, а дизельные установки не обеспечивают требуемой секретности перемещения.

### **Заключение**

В настоящее время водороду сложно конкурировать с альтернативными топливами в электроэнергетике и транспортном секторе. На транспорте главным ограничением служит высокая стоимость транспортного средства, несмотря на относительно приемлемые показатели по расходам на топливо. При этом в борьбе за экологичность водородные автомобили вступают в непростую конкуренцию с активно развивающимся электротранспортом, пока, заметно отставая от него по ключевым стоимостным показателям. Явным плюсом водородной энергетики в сравнении со многими альтернативными видами топлива является снижение выбросов вредных веществ, но стимулирующее воздействие этого фактора возможно только в случае увеличения платы за выбросы вредных веществ в атмосферу.

Подводя итоги, следует сказать, что большинство экспертов не видят в водороде потенциального монополиста на энергетическом рынке. Однако говорить о провале на «кастинге» за право называться топливом будущего тоже не приходится. Водород может стать одним из топлив будущего, но для этого еще предстоит пройти непростой путь технологического прогресса.

### **Литература**

1. Справочник химика 21. Транспортирование водорода газообразного. [Электронный ресурс] <https://www.chem21.info/info/441104/> – Дата доступа: 24.04.2022.
2. [Электронный ресурс] <https://dprom.online/oilngas/vodorod-toplivo-budushhego/>. – Дата доступа: 24.\
3. [Электронный ресурс] [https://www.eriras.ru/files/smozhet\\_li\\_vodorod\\_stat\\_toplivom\\_budushchego.pdf](https://www.eriras.ru/files/smozhet_li_vodorod_stat_toplivom_budushchego.pdf) . – Дата доступа: 24.04.2022.