

© Хамаев С.И., Чанчиков А.А., Чиж С.А., 2025

Иркутский государственный университет, г. Иркутск

В век электромобилей основная конкуренция возникает между техникой, едущей с помощью электродвигателей и с помощью двигателей внутреннего сгорания. Электроавтомобиль как способ сохранения экологии давно не рассматривается. электричество надо произвести, и не всегда оно производится с использованием возобновляемых источников, надо произвести и потом утилизировать аккумуляторную батарею, что снижает экологичность такого транспорта на всем этапе его жизненного цикла. Плюс «электричек» в их разумности и возможности использовать элементы искусственного интеллекта как для управления самим автомобилем (включения и выключения фар и так далее), так и в процессе вождения. На этом фоне альтернативное топливо для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания практически не рассматривается, хотя это топливо является экологичным и перспективным. Несомненно, один из важных аспектов использования водорода — это его хранение и перевозка, что достаточно затратно. И тут встает вопрос: что первично, экология или экономика.

Ключевые слова: использование водорода как автомобильного топлива, хранение и перевозка водорода для заправки транспорта

История интереса к использованию водорода как топлива для авиации и автомобильного транспорта началась еще в середине XX века. В 1950-х годах начались первые эксперименты с водородными топливными элементами для питания космических аппаратов, таких как «Аполлон». Эти исследования показали потенциал водорода как источника энергии с высокой плотностью и отсутствием вредных выбросов.

Интерес к использованию альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания появился одновременно с трендом на ESG в 1990х годах. ESG это так называемое устойчивое и ответственное развитие [3]. Ответственное развитие предполагает, что сокращается углеродный след, используются возобновляемые источники энергии и так далее.

Кроме того, нестабильность цен на нефть, обусловленная и геополитическими сложностями, эпизодически вызывает интерес к альтернативным видам топлива, одним из которых является водород. Первые водородные двигатели на автомобилях стали появляться в 2000е годы, и серийные модели были анонсированы японскими и корейскими производителями.

Однако большой интерес к водороду как к альтернативному топливу продемонстрировали авиакомпании, которые так же в рамках повестки устойчивого развития озаботились снижением выбросов CO₂ и углеродного следа в целом (отметим, что в авиационных билетах углеродный след выделен отдельной строкой).

Так как тренд на устойчивое развитие появился в Евросоюзе, именно там и появились первые проекты создания самолетов на полностью водородном топливе. Эти проекты, повторим, во главу угла ставили экологическую эффективность.

Водород с точки зрения выбросов максимально эффективен, так как в процессе его использования единственным выбросом является чистая вода.

Кроме экологии, использование альтернативного топлива рассматривается и как способ повышения энергоэффективности перевозки. Водород обладает

таким качеством, а автомобили и самолеты на таких двигателях имеют больший запас хода, чем, например, электромобили, и заправка их проходит значительно быстрее (мы не рассматриваем предлагаемый рядом китайских сервисов вариант с заменой аккумулятора, а говорим именно о заправке).

Однако, если бы в водороде были одни плюсы, то сегодня на улицах были бы только эти автомобили. Основным минусом является процесс хранения водорода, который и ограничивает новые проекты в этой сфере.

Среди проблем с хранением и перевозкой водорода (на заправках, до заправок и, собственно, в автомобилях) наиболее важными являются следующие [1]:

- Необходимы значительные инвестиции в инфраструктуру для производства в промышленных масштабах водорода;
- Необходима новая система заправочных станций, созданная специально под водород.

Экономическая проблема: хотя стратегическое истощение топливных ресурсов делает необходимым поиск новых, более дешевых и безопасных энергоносителей, сегодня нефтепродукты дешевле, чем альтернативные источники.

Снижение мощности двигателя: из-за низкой плотности водорода и стехиометрического соотношения водород-воздух (требуется 2,38 молей воздуха для сжигания 1 моля водорода, в отличие от 50 молей для традиционных топлив), мощность поршневого двигателя при использовании водорода снижается.

Низкие смазывающие свойства: водород негативно влияет на смазочную пленку, что может привести к повреждению двигателя.

Водородная коррозия: водород может вызывать хрупкость, потерю прочности и пластичности металлов, что ведет к разрушению металлических конструкций.

Технологическая сложность: получение водорода через электролиз требует большого количества электроэнергии, что делает процесс менее эффективным.

Выбросы в атмосферу: хотя в идеале водородный двигатель выбрасывает только водяной пар, в реальности

могут образовываться другие продукты, такие как гидроксиды, перекись водорода и соединения азота.

Необходимость специальных конструкционных материалов в том числе и для производства двигателей: для работы с жидким водородом требуются специальные материалы из-за низкой температуры кипения голубого топлива.

Сравнительно дорогой автомобиль или самолет: водород требует дорогостоящих вложений в автомобиль, и пока такие автомобили не стали повсеместными, их себестоимость намного выше автомобилей серийного производства.

Отсутствие опыта эксплуатации водородных двигателей: возможно, такие системы будут менее надежными или долговечными, чем традиционные ДВС или электрические.

Проблемы надежности и новизны: Технологии, связанные с водородными топливными элементами, требуют дополнительных гарантий безопасности и признания на рынке, в том числе и с точки зрения оценки для страховых компаний.

Эти недостатки указывают на множество технических, экономических и инфраструктурных препятствий, которые необходимо преодолеть для успешного внедрения водорода в качестве основного автомобильного топлива.

Для хранения водорода можно использовать разные способы, в том числе [2]:

- компрессирование водорода — сжатие водородного газа до высокого давления (до 200 атмосфер), что увеличивает его плотность. Однако, это требует значительных затрат энергии.

- жидкий водород — сжижение водорода, требующее большого количества электроэнергии (10–14 кВт*ч на 1 кг). Этот метод также имеет высокую себестоимость.

- химически связанный водород — получение водорода из аммиака, метанола и этанола, которые разлагаются при высоких температурах (300–400°C). Это дешевый способ, но среда хранения используется только один раз.

Криoadсорбционное хранение — адсорбция водорода при низких температурах (-208°C до -195°C), что снижает энергозатраты по сравнению с жидким водородом. Этот метод также обладает малой энергоемкостью.

Мы предлагаем рассмотреть такой способ хранения, как углеродные нанотрубки. Нанотрубка — это полый наностержень, который состоит из различных материалов, включая углерод, нитрид бор и другие соединения. Они имеют диаметр от 0,3 до 100 нанометров и могут быть одно- или многослойными. Нанотрубки обладают уникальными свойствами, такими как высокая удельная поверхность и прочность, что делает их перспективными для использования в различных отраслях, включая электронику и материаловедение. Они обладают большой поверхностью, могут физически сорбировать водород при низких температурах и высоких давлениях. Однако, их производство и использование связаны с рядом технических сложностей и высокими затратами.

Плюсы хранения водорода в нанотрубках:

- Высокая плотность хранения: углеродные нанотрубки обладают высокой удельной поверхностью, что позволяет хранить большое количество водорода в относительно малом объеме. Это особенно важно для транспортных средств, где пространство ограничено.

- Безопасность: водород внутри нанотрубок находится в связанном состоянии, что снижает риск утечки и взрыва по сравнению с хранением газообразного водорода под высоким давлением.

- Легкость транспортировки: нанотрубки могут быть легко интегрированы в различные устройства и системы благодаря своим малым размерам и легкости.

- Возможность повторного использования: после извлечения водорода нанотрубки остаются неповрежденными и могут быть использованы повторно для дальнейшего хранения водорода.

Минусы хранения водорода в нанотрубках:

- Низкая эффективность поглощения: несмотря на высокую теоретическую емкость, реальная способность нанотрубок к поглощению водорода часто оказывается ниже ожидаемой. Это связано с трудностями в создании идеальных условий для адсорбции водорода.

- Высокие температуры и давление: для эффективного заполнения нанотрубок водородом требуются высокие температуры и давления, что увеличивает затраты на производство и эксплуатацию систем хранения.

- Долговечность и стабильность: вопрос о долговечности и стабильности нанотрубок при многократном использовании остается открытым. Необходимы дополнительные исследования для оценки их надежности в долгосрочной перспективе.

Стоимость производства.

Производство высококачественных углеродных нанотрубок является дорогостоящим процессом, что ограничивает массовое внедрение этой технологии.

Таким образом, хранение водорода в нанотрубках представляет собой многообещающую технологию, но требует дальнейших исследований и разработок для преодоления существующих недостатков. ■

1. Проскурин Д. А. Проблемы использования водорода, как альтернативного топлива на автомобильном транспорте / Д. А. Проскурин // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых : материалы Международной молодежной научной конференции: в 3-х томах, Курск, 14–20 ноября 2012 года / Редакционная коллегия: Вертакова Ю.В. (председатель), Горохов А.А. (ответственный редактор), Плотников В.А., Положенцева Ю.С., Крыжановская О.А.. Том 3. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2012. – С. 144-147. – EDN TJBAB.

2. Лаврова С. В. Хранение водорода как автомобильного топлива / С. В. Лаврова, Р. А. Шестаков // Губкинский университет в экосистеме современного образования : Тезисы докладов V Региональной научно-технической конференции, Москва, 21 сентября 2021 года / Авторы-составители: А.Ф. Максименко, А.Н. Комков, Р.Р. Фатхутдинов, отв. ред. В.Г. Мартынов. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский

университет) имени И.М. Губкина, 2021. – С. 209. – EDN UUSVZM.

3. Грошева Н. Б. Теоретические аспекты экологической ответственности бизнеса в современных условиях / Н. Б. Грошева, И. В. Левицкий // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2024. – № 1(27). – С. 38-46. – EDN KQZDXF.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

Грошева Н. Б. Теоретические аспекты экологической ответственности бизнеса в современных условиях / Н. Б. Грошева, И. В. Левицкий // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2024. – № 1(27). – С. 38-46. – EDN KQZDXF.

Лаврова С. В. Хранение водорода как автомобильного топлива / С. В. Лаврова, Р. А. Шестаков // Губкинский университет в экосистеме современного образования : Тезисы докладов V Региональной научно-технической конференции, Москва, 21 сентября 2021 года / Авторы-составители: А.Ф. Максименко, А.Н. Комков, Р.Р. Фатхутдинов, отв. ред. В.Г. Мартынов. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2021. – С. 209. – EDN UUSVZM.

Проскурин Д. А. Проблемы использования водорода, как альтернативного топлива на автомобильном транспорте / Д. А. Проскурин // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых : материалы Международной молодежной научной конференции: в 3-х томах, Курск, 14–20 ноября 2012 года / Редакционная коллегия:

Вертакова Ю.В. (председатель), Горохов А.А. (ответственный редактор), Плотников В.А., Положенцева Ю.С., Крыжановская О.А.. Том 3. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2012. – С. 144-147. – EDN TJBABJ.

Using hydrogen as a car fuel: ecology or economy

© **Chanchikov A., Khamaev S., Chizh S., 2025**

In the era of electric cars, the main competition arises between vehicles equipped with electric motors and those with internal combustion engines. Electric cars are no longer seen primarily as a means of preserving the environment; after all, electricity must be produced, often not using renewable sources, and then the battery must be manufactured and recycled, which reduces the eco-friendliness of this mode of transport throughout its life cycle. Plus, the advantage of «electric trains» lies in their intelligence and the possibility of using artificial intelligence elements both for controlling the car itself (turning lights on and off, etc.) and during driving. Against this background, alternative fuels for cars with internal combustion engines are almost never considered, although these fuels are environmentally friendly and promising. Undoubtedly, one important aspect of using hydrogen is its storage and transportation, which is quite costly. And here the question arises: what comes first, ecology or economics?

Keywords: using hydrogen as a vehicle fuel, storing and transporting hydrogen for refueling vehicles
