

Научная статья
УДК 629.3

А.Р. Тимергазин, А.М. Щелудяков

A.R. Timergazin, A.M. Sheludyakov

Пермский национальный исследовательский политехнический
университет, Пермь, Россия

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ С ВОДОРОДНЫМИ ТОПЛИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

AUTOMOBILE TRANSPORT WITH HYDROGEN FUEL CELLS

Популярность альтернативных источников энергии в автомобильном транспорте в настоящее время очень высока. Мировое сообщество поддерживает идею перехода на альтернативные виды энергии вместо традиционных в связи с ухудшением экологической обстановки. Воплощение идей перехода на альтернативную энергию на транспорте требует постоянных исследований поведения этого вида транспорта во время эксплуатации, а также развития инфраструктуры для успешного функционирования. В статье рассмотрен один из самых популярных и экологичных источников энергии. Таковым является водород. Приведена статистика развития водородных автомобилей в мире, проанализировано устройство водородного транспорта. Рассмотрена конструкция топливных элементов, описан процесс получения энергии в топливных элементах, а также процесс заправки. Выделены преимущества водородного транспорта. Приведено сравнение водородных автомобилей с автомобилями на традиционном топливе по показателям мощности и коэффициенту полезного действия, дана оценка эффективности. Представлен к сравнению также еще один из важных показателей – расход энергии, сделан вывод о экономичности водородных автомобилей. Проанализированы пути развития водородного транспорта в Российской Федерации.

Ключевые слова: водород, эксплуатация, топливный элемент, альтернативная энергия, электрический двигатель, автомобильный транспорт, тенденции развития

The popularization of alternative energy sources in road transport is currently very high. The world community supports the idea of switching to alternative types of energy instead of traditional ones due to the deterioration of the ecological situation on our planet. The implementation of ideas for the transition to alternative energy in transport requires constant research of the behavior of this transport during operation, as well as the development of infrastructure for successful operation. The article discusses one of the most popular and environmentally friendly energy sources. Such is hydrogen. The statistics of the development of hydrogen cars in the world are given. The device of hydrogen transport is analyzed, a comparison of the device with electric motor transport is given. The advantages of hydrogen transport are highlighted. The design of fuel cells is considered, the process of obtaining energy in fuel cells is described, as well as the refueling process. A comparison of hydrogen cars with cars on traditional fuel is given in terms of power and efficiency, and an assessment of efficiency is given. Another important indicator is also presented for comparison – this is energy consumption, a conclusion is made about the efficiency of hydrogen cars. The features of hydrogen storage at gas stations are considered. The ways of development of hydrogen transport in the Russian Federation are analyzed.

Keywords: hydrogen, exploitation, fuel cell, alternative energy, electric motor, road transport, development trends

На сегодняшний день число автомобилей по всему миру стремительно увеличивается. Автоконцерны с каждым годом наращивают производство и продажи автомобилей. Сейчас большая часть продукции автоконцернов приходится на автомобили, тяговой установкой которых является двигатель внутреннего сгорания. Такой тип тяговой установки в автомобилях является объектом, загрязняющим окружающую среду своими выбросами во время эксплуатации. В современных условиях количество автомобилей с традиционными тяговыми установками настолько большое, что возникает проблема, заключающаяся в повреждении слоев атмосферы и ускорении нарушения теплового баланса нашей планеты. Помимо этого, двигатели внутреннего сгорания оказывают негативное влияние на окружающую среду в виде разливов горюче-смазочных материалов на поверхность земли. К тому же источники питания таких двигателей постепенно исчерпываются и в какой-то момент закончатся. Это влияет и на стоимость эксплуатации, так как стоимость ГСМ растет.

Эта проблема заставляет задуматься и требует незамедлительного решения. Сразу отказаться от двигателей внутреннего сгорания не представляется возможным, потому что логистические цепочки сильно зависят от автомобильного транспорта. Мгновенный отказ может привести к серьезным последствиям в мировой экономике. В связи с этим производители автомобилей используют первый вариант решения проблемы – это модернизация двигателей внутреннего сгорания и увеличение требований к нормам токсичности и расходу топлива. Но минимизировать выбросы без уменьшения ресурса невозможно. Как только максимально снизится расход топлива и количество вредных выбросов, так сразу увеличится стоимость эксплуатации на ремонт агрегатов двигателя.

В связи с этим автопроизводители последнее время склоняются ко второму варианту решения проблемы – разработке новых автомобилей с использованием альтернативных источников энергии. Широко известный источник энергии – электрическая энергия. Ее применение в автомобильном транспорте не доставляет особых хлопот. Применение электрической энергии позволяет забыть о проблеме исчерпывающих ресурсов, потому что выработать ее легко. Поэтому электрический транспорт постепенно замещает рынок автомобильного транспорта с традиционными источниками энергии. Проблема электротранспорта заключается в том, что не во всех странах развита инфраструктура для такого вида транспорта.

Наряду с электромобилями развивается и другой вид альтернативной энергии – водород. Автомобильный транспорт, использующий водородные установки, менее популярен, чем электромобили, в силу усложнения конст-

рукции и проблем с развитием. Но водородный автомобиль, так же как и электрический, является экологически чистым, и это мотивирует человечество развивать его. Крупные автоконцерны, такие как BMW, Volkswagen, Toyota, Hyundai, Honda, Ford, а также АвтоВАЗ уже давно занимаются этой задачей. В начале XXI века мировой парк водородных автомобилей был ничтожно малым. Популяризация стала заметна только в последнее время. С начала 2017 г. до конца 2021 г. количество водородных автомобилей в мире увеличилось в 6 раз и немного не доходит до 45 тыс. единиц (рис. 1).

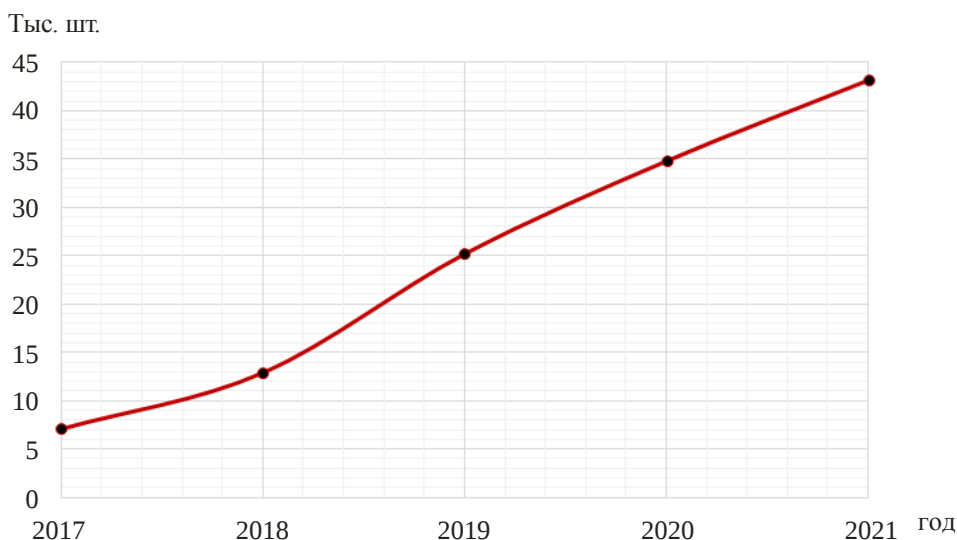


Рис. 1. Темп роста количества автомобилей на водородном топливе в мире [1]

При этом высока концентрация водородных автомобилей в странах, которые занимаются их разработкой, производством и совершенствованием. Большая часть водородных автомобилей сконцентрирована в Корее (14,56 тыс. ед.), немного меньше – в Соединенных Штатах Америки (11,12 тыс. ед.), в Китае (8,44 тыс. ед.), Японии (5,60 тыс. ед.), Европе (3,08 тыс. ед.) и в остальных странах (0,34 тыс. ед.). В Российской Федерации в данный момент водородные автомобили не развиваются. Количество ничтожно мало и всего одна функционирующая заправочная станция на всю страну (экспериментальная) [2] (рис. 2).

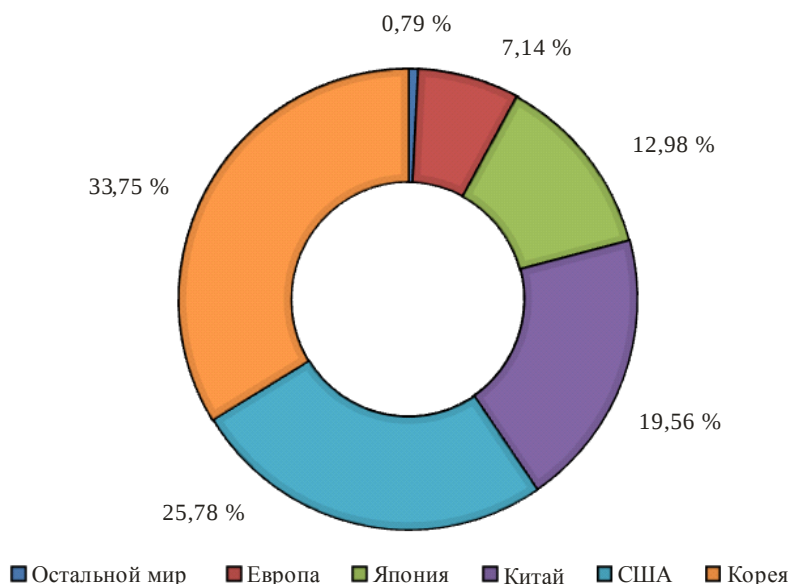


Рис. 2. Структура распределения автомобилей на водородном топливе в мире в 2021 г. [1]

Водородные автомобили (FCEV – Fuel cell vehicle) конструктивно отличаются от электромобилей (BEV – Battery Electric Vehicle), но есть общие элементы конструкции. Как на электромобилях, так и на водородных автомобилях силовой установкой, приводящей в движение движители, является электрический мотор в совокупности с аккумуляторной батареей (рис. 3). Различие водородных автомобилей и электромобилей в том, что заряд в аккумуляторную батарею, которая снабжает электрический мотор энергией, поступает из разных источников. Электромобиль питает аккумуляторную батарею от электрических сетей и делает это довольно долго, что вызывает недовольство водителей в связи с увеличением продолжительности поездок. А водородный автомобиль имеет на борту блок топливных элементов, в которых происходит химическая реакция с водородом, в результате которой выделяется энергия, заряжающая аккумуляторную батарею и резервуары для хранения запасов водорода. Заправка водородного автомобиля производится двумя способами: в сжиженном и сжатом состоянии. Это занимает всего несколько минут. В сравнении с электромобилями это ничтожно малое значение. Различие в запасах хода также существенно. В то время как среднестатистический электромобиль на одном заряде может проезжать от 100 до 500 км пути, водородный автомобиль способен проехать до 1000 км пути [3].

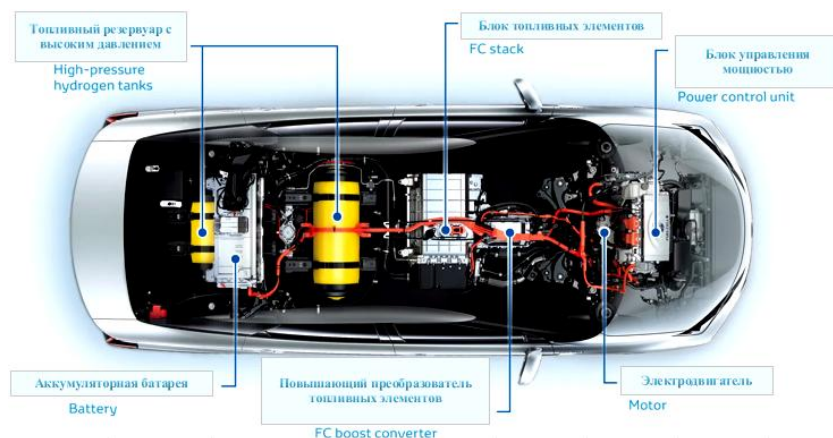


Рис. 3. Схема топливного элемента [3]

Питающим аккумулятором элементом является блок с топливными ячейками, состоящий из набора топливных элементов. Топливный элемент состоит из двух пластин (катода и анода), катализирующего слоя и протонообменной мембраны между ними (рис. 4). Получение энергии в топливном элементе происходит следующим образом: к аноду топливного элемента подается молекулярный водород (H_2), к катоду – кислород (O_2). Под воздействием катализаторов молекулы водорода и кислорода соединяются и образуют воду, выделяя свободные электроны. Электроны в это время проходят по электрической цепи и заряжают аккумуляторную батарею [4].

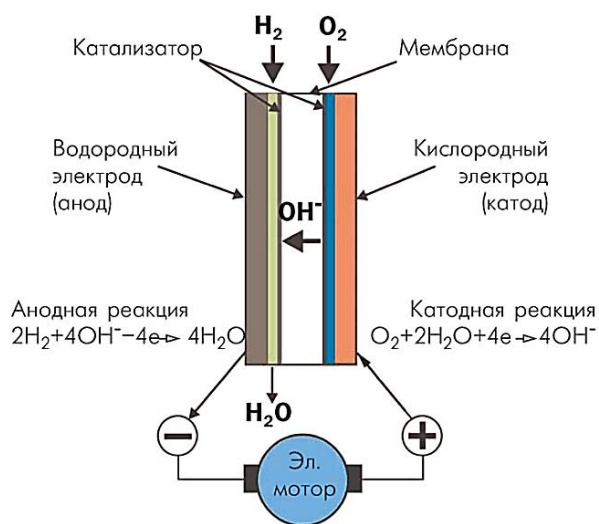


Рис. 4. Принципиальная схема работы топливного элемента [5]

Водородные автомобиль пользуются популярностью за счет того, что не имеют вредных для окружающей среды выбросов. В то время как автомобили на традиционном виде топлива выделяют большое количество отравляющих веществ в атмосферу в виде оксидов азота, оксидов серы, угарного газа и т.д., водородный автомобиль не выделяет ничего, кроме воды. Сравнительная характеристика представлена в таблице.

В случае сравнения водородных автомобилей с автомобилями, оснащенными двигателями внутреннего сгорания, следует обратить внимание на то, что у водородных автомобилей относительно высокий коэффициент полезного действия, порядка 60 %, а у бензинового 35 %, у дизельного – 45 %. Таким образом, водородный автомобиль является наиболее эффективным. Однако по показателям мощности водородный транспорт уступает традиционному. В стоимости эксплуатации водородные автомобиль также уступают другим, в том числе и электрическим [6]. Но водородные автомобили в три раза меньше расходуют энергии по сравнению с бензиновыми двигателями. Например, энергетический показатель водорода составляет 140 МДж/кг, а бензина – 43,6 МДж/кг [7]. Водородные автомобили смогут эксплуатироваться в условиях низких температур без проблем.

Сравнительная характеристика загрязняющих атмосферу веществ топлив [1]

Выбросы в атмосферу во время эксплуатации автомобиля, г/100 км	Вид топлива			
	Бензин	ДТ	Природный газ	Сжатый/сжиженный водород
Углекислый газ CO ₂	15677	13841	12935	0
Летучие органические вещества VOC	11,185	5,468	8,625	0
Угарный газ CO	101,284	50,952	101,284	0
Оксиды азота NO _x	6,089	8,078	6,089	0
Твердые частицы 2,5–10 мкр.	1,777	1,833	1,777	1,274
Твердые частицы менее 2,5 мкр.	0,92	0,976	0,92	0,454
Оксиды серы SO _x	0,256	0,093	0,058	0

Заправочные станции водородных автомобилей (рис. 5) имеют свои особенности. Водород хранится в двух состояниях: сжиженном или сжатом. Наиболее распространенный вариант – хранение в сжатом состоянии. Это объясняется тем, что сжижение водорода трудозатратный процесс по сравнению со сжатием. Давление в баллонах заправочных станции достигает 950 атмосфер [8]. Сжиженный водород хранят в криогенных танках, в которых поддерживается постоянная отрицательная температура (–253 °C).

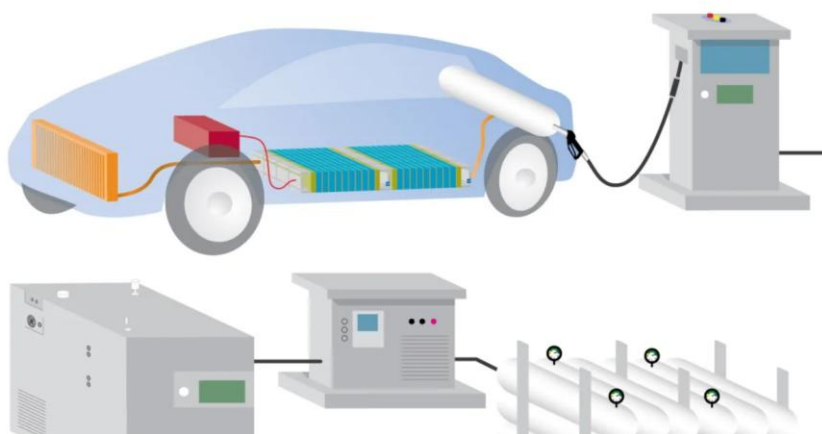


Рис. 5. Заправочная станция

Водородный транспорт по отношению к автомобильному транспорту с другими источниками энергии хорошо зарекомендовал себя, но существует проблема в организации заправочных станций, по крайней мере в России. В европейских странах водородный транспорт развивается стремительно, на его развитие выделяются бюджетные средства. В России на данный момент приоритет отдан электрическим автомобилям. Несложно предположить, что водородные автомобили в дальнейшем составят конкуренцию электроавтомобилем. Обосновано это тем, что водородные автомобили имеют весомые преимущества: запас хода, время заправки и экологичность.

Список литературы

1. Синяк, Ю.В., Петров В.Ю. Оценка влияния ущербов от загрязнения окружающей среды на конкурентоспособность водорода как моторного топлива // Проблемы прогнозирования. – 2009. – № 2(113). – С. 63–77.
2. Три минуты на заправку: Россия тестирует машину на водороде [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.vesti.ru/auto/article/2710071> (дата обращения: 02.06.2022).
3. Мустафин Р.Р. Преимущества топливных элементов на водороде // XXV всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный Дню энергетика: материалы, Казань, 07–08 декабря 2021 г. / под общ. ред. Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 207–209.
4. Toyota faz 1000 km a hidrogénio, acabou-se a ‘mama’! [Электронный ресурс]. – URL: <https://duaslinhas.pt/2021/10/toyota-faz-1000-km-a-hidrogenio-acabou-se-a-mama/> (дата обращения: 15.05.2022).

5. Водородная «Нива», или АВТОВАЗ против закона сохранения энергии [Электронный ресурс]. – URL: https://autoreview.ru/articles/svoimi-glazami/avtovaz-protiv-zakona-sohraneniya-energii?_escaped_fragment_=comment=1669446 (дата обращения: 05.06.2022).

6. Воробьев С.А., Разумов П.А., Абызов И.Т. Актуальность применения водородного топлива на автомобильном транспорте в современных условиях эксплуатации // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – № 4. – С. 1516–1519.

7. Федотов Е.С., Флахан К.Ю. Исследование эффективности использования водородных топливных элементов на автомобильном транспорте // Транспорт. Экономика. Социальная сфера (Актуальные проблемы и их решения): сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф., Пенза, 14–15 апреля 2022 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2022. – С. 254–257.

8. Валеева Г.Р. Водородные технологии, применимые в дорожном транспорте // Молодежная наука: труды XXVI Всерос. студ. науч.-практ. конф. КриЖТ ИрГУПС, Красноярск, 22 апреля 2022 года. – Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта, 2022. – С. 43–47.

Сведения об авторах

Тимергазин Алексей Ринатович – студент, кафедра «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: alex.black.13@list.ru.

Щелудяков Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и технологические машины», Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sam@pstu.ru.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Получена: 17.01.2022

Одобрена: 04.03.2022

Принята к публикации: 01.09.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Тимергазин, А.Р. Автомобильный транспорт с водородными топливными элементами / А.Р. Тимергазин, А.М. Щелудяков // Журнал магистров. – 2022. – № 1. – С. 111–118.

Please cite this article in English as: Timergazin A.R., Sheludyakov A.M. Automobile transport with hydrogen fuel cells. *Master's journal*, 2022, no. 1, pp. 111–118.