

Экономические аспекты развития автомобилей на топливных элементах¹

DOI: <http://doi.org/10.34981/Lab-67.2020.innovconf.19-kozlov>

За последние два года автотранспортные технологии на водородном топливе (сокр. FCEV от английского Fuel Cell Electric Vehicle) получили заметное развитие (рисунок 1). Помимо компаний Toyota, Honda и Hyundai, которые на настоящий момент являются лидерами на рынке автомобилей на топливных элементах [1], разработкой инновационных транспортных средств на водороде занимаются и такие крупные автомобильные концерны как Audi, BMW, Nissan, Ford и другие. Компания Alstom построила поезд, работающий на водородном топливе, который уже используется в Германии. Скорость, которую может набрать поезд, равна 140 км/ч, а дальность хода составляет до 800 километров на одной заправке. Такой же поезд в 2019 году испытан в Нидерландах и скоро начнёт свою работу. Другие страны также планируют приобрести водородные поезда, включая Великобританию, Данию, Норвегию, Италию и Канаду.

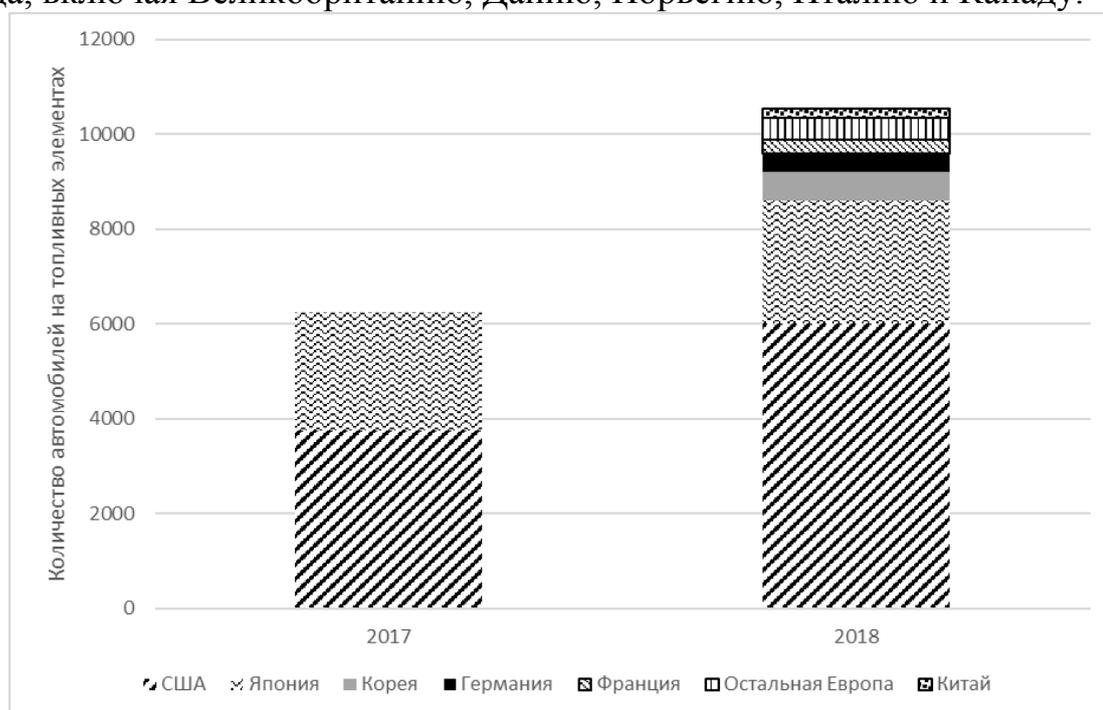


Рис. 1. Количество транспорта с водородными топливными элементами на 2018 год для разных стран

Источник: [3].

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 20-010-00589 «Разработка методологии и инструментария оценки эффективности вариантов государственной поддержки инновационных транспортных технологий в контексте новой климатической политики России».

Швейцарский производитель «Stadler Rail» подписал контракт с Калифорнией на поставку поезда на водородных топливных элементах [2]. В Риме, Амстердаме, Стокгольме и других столицах ЕС уже работают автобусы на водороде.

В классе легковых автомобилей на топливных элементах (ТЭ) наиболее продвинутыми техническими характеристиками на сегодняшний день обладает Toyota Mirai – первый в мире серийный седан на ТЭ. В качестве топлива машина использует только водород H_2 , у автомобиля нет двигателя внутреннего сгорания (ДВС), и единственный выброс при эксплуатации – это водяной пар. Мощность двигателя 153 л.с., максимальная скорость ограничена электроникой и составляет 170 км/ч. Дальность хода Toyota Mirai составляет около 340 миль (или 500 км), расход топлива составляет 0,76 кг H_2 на 100 км.

В таблице 1 представлены параметры разных автомобилей (FCEV класса) и их стоимость, согласно данным источника [4].

Как видно из данных таблицы 1, стоимость автомобилей на ТЭ на сегодняшний день составляет порядка 65-80 тыс. евро, что существенно превышает не только стоимость обычного автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, но и стоимость современного электромобиля [5-6]. По критерию «общая стоимость владения», который также является одним из самых важных для покупателей, автомобили на ТЭ пока что тоже проигрывают большинству доступных аналогов (таблица 2). В таблице 2 представлено сравнение по расходам эксплуатации различных транспортных средств (водородных, гибридов, электрических и ДВС). Как правило, затраты на перемещение 1 км крупногабаритного транспорта наиболее велико.

Таблица 1

FCEV-автомобили от разных концернов

	Hundai NEXO	Mercedes-Benz GLC F-CELL	Honda Clarity Fuel Cell	Hyundai ix35	Toyota MIRAI
Тип ТС	водородный	электрический (Li-ion); водородный	водородный	водородный	водородный
Дальность хода, км.	756	51 на батарее; 478 на водороде	589	594	500
Расход, кг/км	0,84 / 100	0,91 / 100	–	1 / 100	0,76 / 100
Вместимость бака, кг	6,33	4,4	5	5,64	5
Стоимость ТС, €	69 000	–	–	65 450	78 000
Тип хранения H_2 , атм.	350	–	700	700	700 и 350

Таблица 2

Общая стоимость владения автотранспортными средствами различных типов (в долларах США на 1 км пробега)

	FCEV 400 км	BEV 400 км	BEV 200 км	ДВС гибрид	FCEV 400 км	BEV 400 км	ДВС гибрид
Батарея/топливный элемент	0,52	0,48	0,41	-	0,36	0,39	-
Эксплуатация и техобслуживание	0,06	0,03	0,03	0,36	0,07	0,05	0,37
Электроэнергия/топливо	0,03	0,015	0,015	0,07	0,03	0,02	0,04
Заправочная инфраструктура	0,03	0,01	0,08	-	0,02	0,01	-
Невысокая степень использования инфраструктуры	0,18	0,01	0,01	-	0,03	0,01	-
Синтетическое топливо (оптимистичный сценарий)	-	-	-	0,1	-	-	0,1
Синтетическое топливо (обычный сценарий)	-	-	-	0,18	-	-	0,14

Источник: [3].

Это обозначает, что затраты на топливо в целом составляют большую долю от общих затрат, а также довольно большие затраты приходится на пользования грузовиков, междугородних автобусов и коммерческих автомобилей.

Примерно 70% от общих расходов составляет стоимость легкового ТС (в зависимости от моделей и типа). У грузовых же – от 40%, т.к. эксплуатация и заправка выходит дороже.

Критерий «общая стоимость владения» для многих покупателей становится одним из самых главных в выборе. Ассортимент и комплектация важна для меньшего процента владельцев. Сегодня среднестатистический электромобиль имеет дальность хода 250 км, что удовлетворяет спрос ежедневной езды. Водородные автомобили имеют более высокую дальность хода, что делает их привлекательными для тех владельцев, которые отдают приоритет расстоянию [7].

В настоящее время для стимулирования потребителей производители автомобилей на ТЭ применяют различные программы поддержки, позволяющие снизить либо первоначальную цену, либо полную стоимость владения. Например, седан Clarity производитель отдаёт в лизинг на 36 месяцев по ставке 379 долларов США (плюс первый взнос в 2878 долларов). Выкупить машину полностью по окончании лизинга нельзя, но производитель предоставляет покупателю много других бонусов. Вместе с машиной выдаётся бесплатная топливная карта до 15000 долларов США, предоставляется калифорнийская скидка в 5000 долларов и стикер Clean Air

Vehicle, дающий доступ на полосы HOV (это полосы для заполненных пассажирами авто) даже с одним водителем в салоне [8].

Клиенты, которые будут брать в аренду Mirai, будут получать топливо бесплатно в рамках договора с Toyota. В отличие от зарядки электромобиля, заправка водородом занимает от трёх до пяти минут. Для покупателей автомобиля на ТЭ, полная заправка водородом обойдётся примерно в 50 фунтов стерлингов в Англии, 70 долларов США в Соединённых Штатах Америки, примерно 55 евро в Германии. Округляя расход топлива до 1 кг. водорода на 100 км пути, можно считать, что стоимость составит 11 евро на 100 км. Для сравнения, цена бензина E10 на сегодняшний день составляет примерно 1,32 евро (в связи с падением цены на нефть, цена может упасть, что даст преимущество автомобилям с ДВС) [9-10]. Получается, что 10 литров бензина E10 обойдётся в 13,2 евро, что сопоставимо с ценой на водород для Германии. Водород же в Германии стоит примерно 9,5 евро, если заправить полный бак, то выйдет 47,5 Евро [11].

Тем не менее, на сегодняшний день затраты при производстве водорода слишком велики в сравнении с затратами на производство других видов топлива для автотранспорта. По оценкам Международного энергетического агентства (IEA) [3], существует значительный потенциал снижения полной стоимости владения автомобилем на ТЭ за счет снижения затрат на производство водорода, а также упрощения и стандартизации производственной системы ТЭ [12]. Расходы на эксплуатацию также должны быть снижены по мере того, как разработчики оборудования находят более подходящие материалы, объединяют этапы обработки и снижают требования к техническому обслуживанию.

На рисунке 2 представлена стоимость водорода, произведенного путем доступных на сегодняшний день технологий и прогноз потенциально возможного снижения стоимости.

Как видно из данных, представленных на рисунке 2, производство водорода риформинга природного газа на крупных нефтеперерабатывающих заводах в настоящее время является самым дешевым способом. Однако он имеет свои недостатки. Во-первых, в данном случае цена водорода напрямую зависит от цены природного газа, которая, в свою очередь, зависит от цены на нефть. Во-вторых, такого рода производство сопряжено с выбросами достаточно больших объемов парниковых газов, которые необходимо улавливать. С учётом технологии CCUS (улавливание, использование и хранение углерода), стоимость водорода, произведенного путем риформинга, может существенно зависеть от региона производства (рисунок 3).

Видно, что с учётом CCUS затраты вырастают примерно на 50% для капложений и 10% для топлива, что приводит к удвоению эксплуатационных расходов в результате транспортировки и хранения.

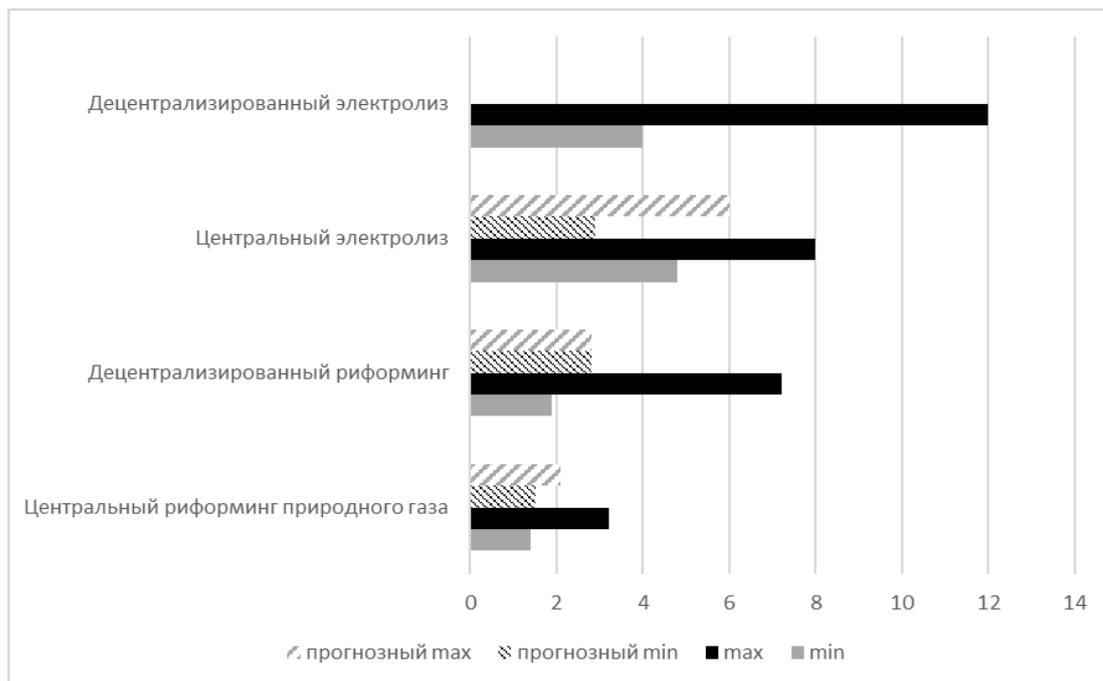


Рис. 2. Стоимость производства водорода методами риформинга природного газа и электролиза

Источник: [2].

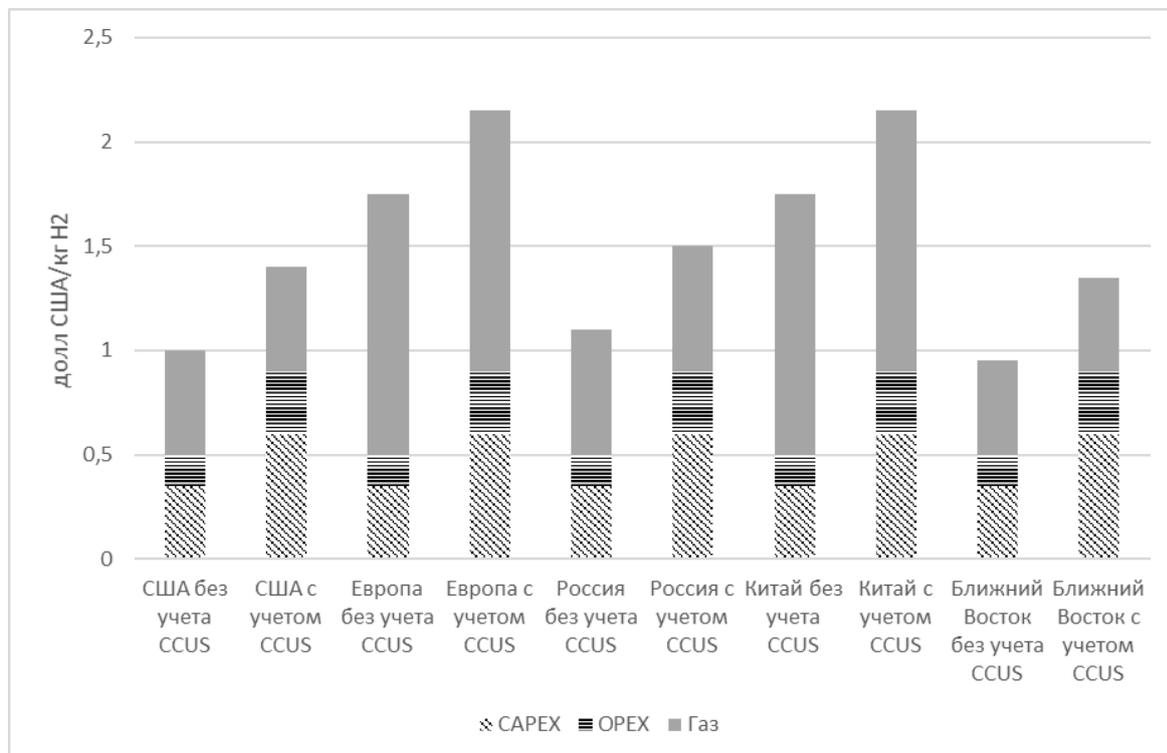


Рис. 3. Диаграмма затрат на производство водорода путем риформинга природного газа на 2018 год

ПГ – природный газ;

OPEX – эксплуатационные расходы;

CCUS – улавливание, использование и хранение углерода.

Источник: [3].

Поэтому на сегодняшний день эксперты рассматривают электролиз воды как наиболее перспективную технологию для производства водорода. На рисунке 4 представлен пример распределения стоимости водорода при его производстве с помощью мембранного электролиза на конец 2018 года.

Как видно из рисунка 4, для того, чтобы произвести килограмм водорода, нужно затратить примерно 76 кВт·ч электроэнергии. Однако в долгосрочной перспективе для электролиза воды можно будет использовать энергию от возобновляемых источников (например, ветровой или солнечной), что может помочь решить ряд проблем системного характера: повысить коэффициент использования установленной мощности солнечных и ветровых парков, обеспечить отбор избыточно генерируемой энергии в те моменты, когда электросеть не может ее принять, обеспечить долгосрочное хранение энергии.

Второе важное направление снижения общей стоимости владения автомобилем на ТЭ – это развитие инфраструктуры заправки. Пока что инфраструктура заправки водородом очень дорога и недостаточно развита. Одна заправка на водороде стоит около 2 млн. долл. США. Для сравнения: 6-12 стоек суперзарядки Tesla Motors компании выходит 100-150 тыс. долл. США.

Анализируя литературу по обозначенной проблеме, мы полагаем, что одной из актуальных, не решённых на настоящий момент, задач является развитие инфраструктуры и технологии заправки. Развитие инфраструктуры поспособствует уменьшению общей стоимости.

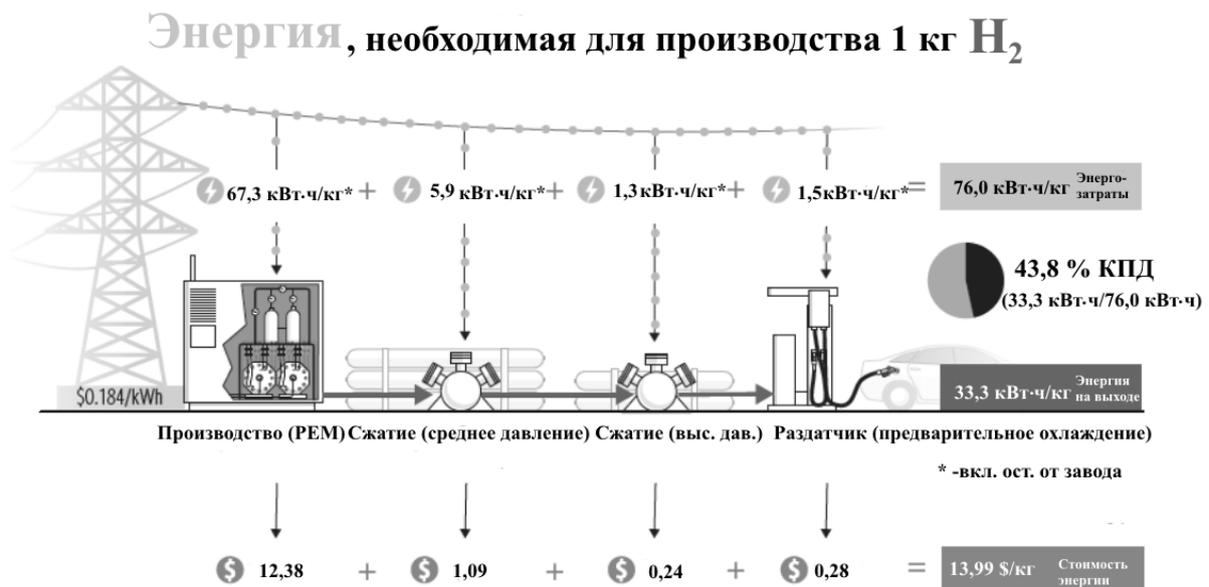


Рис. 4. Пример структуры расходов производства 1 кг водорода путем мембранного электролиза

Источник: [13].

Топливные ячейки пока что довольно дорогая технология, так как в качестве катализатора в топливных элементах используется платина. В настоящий момент идёт поиск и тестирование других металлов, которые смогли бы заменить платину [12].

Существенную роль в ускорении развития автомобилей на ТЭ может сыграть государство путем поддержки формирования инфраструктуры заправки. Положительные примеры в этом процессе можно найти в Германии и Великобритании. На 2015 год количество заправочных станций в Европе было: 7 – в Дании; 18 – в Германии; 4 – в Великобритании. В Германии этот показатель правительство планировало увеличить на 50 заправочных станций к концу 2015 года, но только 30 из них были построены к 2017 году. Сейчас у правительства стоит цель увеличить общее число станций до 400 к 2023 году (рисунок 5).

По данным, которые предоставляет компания «Toyota» на своём сайте, на момент написания работы в ЕС действуют 119 станций, 13 – временно закрыты, 45 находятся в процессе строительства.

В январе 2012 года правительство Великобритании закрепило свой интерес к FCEV подписанием меморандума о взаимопонимании с рядом отраслевых партнёров, включая шесть автопроизводителей и три промышленные газовые компании, которые создали исследовательскую программу UK H₂Mobility, целью которой является оценка необходимых инвестиций для развития инфраструктуры. Государством и партнёрами будет определено, сможет ли Великобритания стать глобальным игроком на рынке в производстве FCEV.



Рис. 5. Очередь строительства заправочных станций в странах ЕС

Литература

1. Козлов А.Е., Иосифов В.В. Современное состояние и перспективы развития инновационных транспортных систем на водородном топливе // Управление инновациями – 2019: материалы международной научно-практической

- конференции. Под ред. Р.М. Нижегородцева, Н.П. Горидько. Новочеркасск, 2019. – С. 167-173.
2. Митрова Т.А., Мельников Ю.В., Чугунов Д.А. Водородная экономика – путь к низкоуглеродному развитию. – М.: Моск. школа управления – Сколково, 2019. – 62 с.
 3. International Energy Agency. Global EV Outlook, 2019. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
 4. H₂ Mobility Fuelling Hydrogen. Available at: <https://h2.live/en/wasserstoffautos>.
 5. Ратнер С.В., Маслова С.С. Государственное стимулирование развития рынка электрических транспортных средств: мировой опыт // Финансы и кредит. – 2017. – Т. 23, Вып. 22. – С. 1281-1299. Available at: <https://doi.org/10.24891/fc.23.22.1281>.
 6. Ратнер С.В. Эволюция транспортной инфраструктуры в целях охраны климата: развитие инновационных технологий автомобильного транспорта в России и мире // Инновации. – 2019. – № 5. – С. 28-34.
 7. OECD/IEA, 2018. International Energy Agency. Global EV Outlook, 2017. (<https://webstore.iea.org/global-ev-outlook-2017>)
 8. Ратнер С.В., Иосифов В.В. Государственная поддержка развития электромобилей: субсидирование или инфраструктурные стимулы // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2019. – Т. 12, Вып. 4. – С. 372-387. DOI: 10.24891/fa.12.4.372.
 9. Юлкин М.А. Низкоуглеродное развитие: от теории к практике. – М.: АНО «ЦЭИ», 2018. – 80 с.
 10. Ратнер С.В., Иосифов В.В. Моделирование эффектов со-направленного развития автотранспортных технологий и технологий электрогенерации // Друкеровский вестник. – 2017. – № 3. – С. 49-59.
 11. Brief Overview. Industrialisation of water electrolysis in Germany: Opportunities and challenges for sustainable hydrogen for transport, electricity and heat. National Organisation Hydrogen and Fuel Cell Technology – NOW GmbH. Berlin, October 2018.
 12. Ратнер С.В. Управление инновациями на пред-конкурентных стадиях: опыт реализации многосторонних технологических инициатив в области альтернативного транспорта // Экономический анализ: теория и практика. – 2018. – Т. 17. – № 5. – С. 820–835.
 13. Balcombe et al. The carbon credentials of hydrogen gas networks and supply chains. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118302983>.