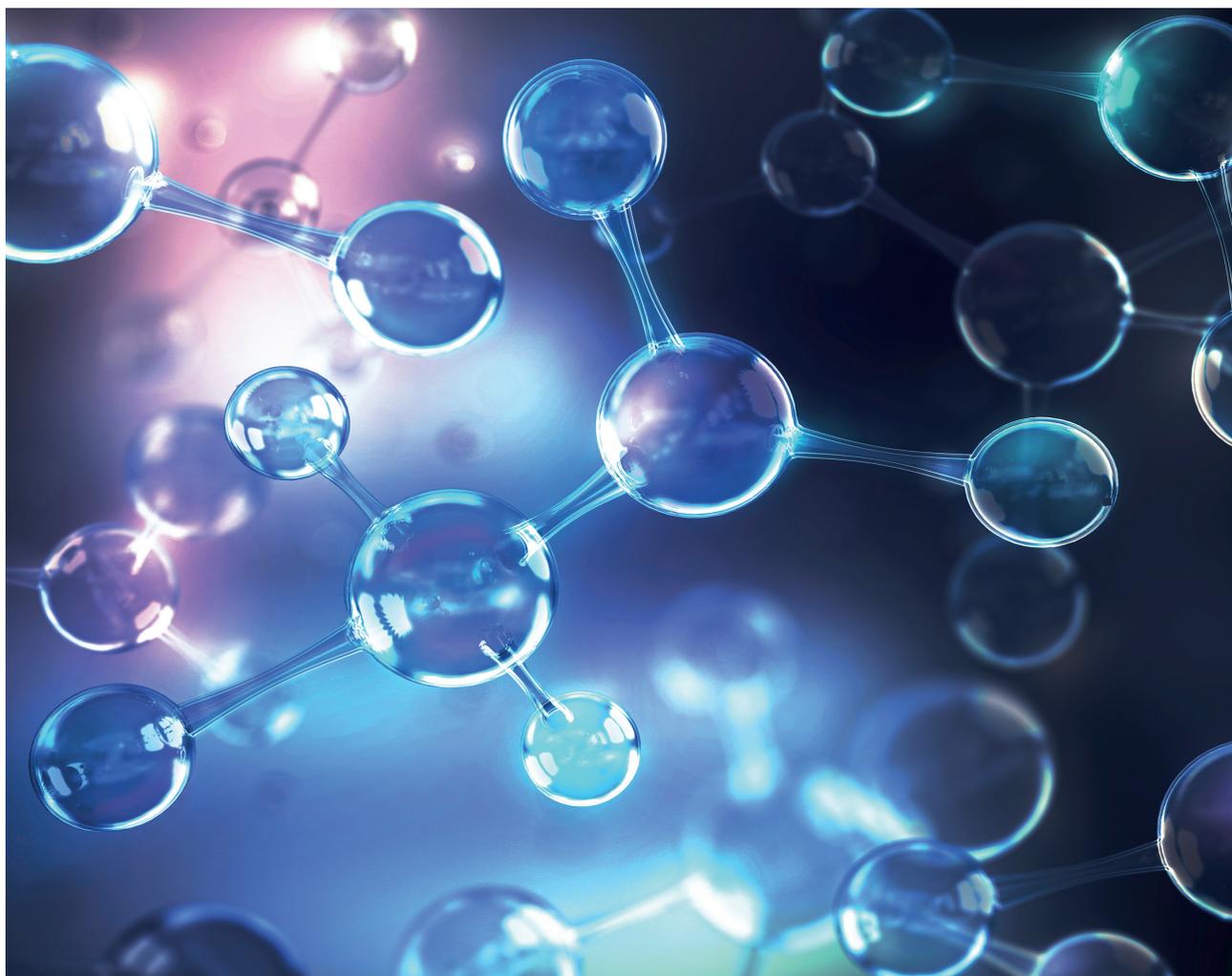


# МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Шайхатдинов Ф.А., Бобровский  
В.А., Шафиев Д.Р., ПАО «КАМАЗ»,  
Научно-технический центр,  
Набережные Челны, Россия  
Агарков Д.А., Бредихин С.И.,  
ИФТТ РАН, Черноголовка, Россия  
Аверина Ю.М., Российской химико-  
технологический университет им.  
Д.И. Менделеева, Москва, Россия  
Чичиров А.А. Казанский  
Государственный Энергетический  
Университет, Казань, Россия



**В ДАННОЙ РАБОТЕ ОПИСАН МИРОВОЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ. ПРИВЕДЕНЫ ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК, КАК ДЛЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, ТАК И ДЛЯ ГРУЗОВИКОВ И АВТОБУСОВ. ПОКАЗАНО, ЧТО ДАННАЯ ОТРАСЛЬ БУРНО РАЗВИВАЕТСЯ ПО ПРИЧИНЕ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПОДХОДА В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИИ И В УСЛОВИЯХ УМЕНЬШЕНИЯ ЗАПАСОВ НЕФТИ.**

В последнее время на просторах интернета, в средствах массовой информации, включая научные публикации, можно найти множество упоминаний об очередных успехах той или иной автомобильной корпорации в деле снижения углеродных выбросов и заботы об экологии планеты [1-4]. Одними из предлагаемых ими перспективных решений является создание электрифицированных образцов транспортных средств с энергетической установкой на базе топливных элементов в качестве силовой установки [5]. Суть работы топливных элементов заключается в химической реакции двух основных компонентов: водорода или углеводородов и кислорода из состава окислителя (например, воздуха) [6]. Реакция окисления является электрохимической и протекает с участием ионов, электроны при этом протекают через внешнюю цепь, выполняя полезную электрическую работу. Конечными продуктами этой реакции являются водяной пар и, в случае использования углеводородов – диоксид углерода, а также электроэнергия и тепло.

Топливные элементы – это экологически чистый способ решения глобальных проблем, обусловленных массовым применением тепловых двигателей внутреннего сгорания для обеспечения жизнедеятельности человечества. Ввиду планируемых налоговых и государственных стимулирующих мероприятий по снижению

углеродного следа и прочих вредных веществ при работе транспортных средств и производстве продукции, все большее количество производителей обращают свое внимание на применение топливных элементов [5-9].

Однако, за все время развития, начиная с 1838 года и по настоящее время, топливные элементы остаются весьма наукоемкой и инновационной сферой. Поэтому в будущем для достижения довольно жестких требований по выбросам и создания конкурентоспособного продукта с привлекательной стоимостью, необходимо создание широкого коллабораций автопроизводителей, исследовательских университетов и научных институтов.

Мировые производители дизельных силовых агрегатов активно приобретают компании, специализирующиеся на разработке и изготовлении топливных элементов. Осенью 2019 года компания Cummins приобрела контрольный пакет акций канадской корпорации Hydrogenics Corporation [10, 11], ведущего на североамериканском континенте разработчика и производителя технологий производства водорода на основе электролиза воды, а также создания топливных элементов на основе протонообменных мембран. Кроме того, компания Hydrogenics Corporation является производителем оборудования для

водородных заправочных станций.

Еще одним примером стала коалиция концернов производителей грузовой и специальной техники Daimler Truck AG и Volvo Group (Mercedes-Benz, Freightliner, Western Star, Mitsubishi Fuso, Volvo Trucks, Renault Trucks, UD) по концентрации усилий в области водородных технологий [12]. При грамотном подходе к развитию данной темы периодически появляются публикации об успехах в разработке и презентуются концепты транспортных средств [13]. К примеру, одной из последних новинок является презентация от бренда Mercedes-Benz. На прошедшей 16 сентября 2020 года премьеры концерн Daimler предъявил мировому сообществу очередную новинку: концепт седельного тягача Mercedes-Benz GenH2 (рис. 1) [14, 15].

Предсерийный образец планируется к изготовлению в 2023 г., серия – 2025 г. Презентация Daimler совпала с громким скандалом в США: стартап по производству водородных и электрических грузовиков Nikola, основанный в 2014 году в штате Юта энергичным предпринимателем Тревором Милтоном, и уже собравший, по собственным заявлениям, заказов более чем на \$10 млрд., пока, по сути, не представил ничего, кроме красивых картинок и видеоролика прототипа грузовика, в котором, как выяснилось, он не ехал сам, а катился с горки.

РИС. 1  
КОНЦЕПТ СЕДЕЛЬНОГО  
ТЯГАЧА MERCEDES-BENZ  
GENH2



ТАБЛИЦА 1

### ЗАЯВЛЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНЦЕПТА MERCEDES-BENZ GENH2.

Параметр, единица измерения	Значение
Полная масса тягача, т	40
Грузоподъемность, т	25
Запас хода, км	1000
Номинальная мощность электромотора, кВт	2×230
Максимальный крутящий момент, Н·м	2×2071
Номинальная мощность топливного элемента, кВт	300
Номинальная мощность тяговой аккумуляторной батареи, кВт	400
Емкость аккумуляторных батарей, кВт·ч	70
Вид хранения водорода	Жидкий
Количество топливных баков	2
Суммарный объем водорода, кг	80
Давление в водородном баке, бар	700

**В ТРОЙКЕ ЛИДЕРОВ НАХОДЯТСЯ США, ЯПОНИЯ И ЮЖНАЯ КОРЕЯ. ПРИ ЭТОМ НАИБОЛЬШАЯ ДОЛЯ СЕГМЕНТА ТРАНСПОРТА ПРИХОДИТСЯ НА ЛЕГКОВЫЕ АВТОМОБИЛИ.**

РИС. 2

**ЛЕГКОВЫЕ  
АВТОМОБИЛИ  
КОНЦЕРНА TOYOTA –  
TOYOTA MIRAI**



ТАБЛИЦА 2

**ПАРК ВОДОРОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ  
В СТРАНАХ-ЧЛЕНАХ IPHE [17] .**

№	Страны-члены IPHE	Легковые автомобили	Автобусы	Грузовые автомобили
1.	Австралия	-	-	-
2.	Китай	830	270	500
3.	Германия	500	21	2
4.	Япония	3026	18	-
5.	Российская Федерация	-	-	-
6.	Австрия	-	-	-
7.	Коста-Рика	-	-	-
8.	Исландия	-	-	-
9.	Южная Корея	889	2	-
10.	Южно-Африканская Республика	-	-	-
11.	Бразилия	-	4	-
12.	Индия	-	-	-
13.	Нидерланды	58	20	8
14.	Великобритания	100	20	-
15.	Канада	17	1	2
16.	Франция	324	-	1
17.	Италия	15	10	-
18.	Норвегия	159	5	-
19.	США	6500	35	-
Всего:		12418	406	513

РИС. 3

**ЛЕГКОВОЙ  
АВТОМОБИЛЬ  
HYUNDAI TUCSON/IX35  
FCEV (КОРЕЯ)**



ТАБЛИЦА 3

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВИКОВ HYUNDAI XCIENT FUEL CELL

Параметр, единица измерения	Значение
Полная масса с прицепом, т	34
Полная масса без прицепа, т	19
Снаряженная масса, т	9,8
Запас хода, км	400
Номинальная мощность электромотора, кВт	350
Максимальный крутящий момент, Н·м	3400
Номинальная мощность топливного элемента, кВт	2×95
Емкость аккумуляторных батарей, кВт·ч	73,2
Вид хранения водорода	газообразный
Количество топливных баков	7
Суммарный объем водорода, кг	32
Давление в водородном баке, бар	350

Образец Mercedes-Benz GenH2 обладает аэродинамическим обтекаемым дизайном и следующими заявленными характеристиками, приведенными в таблице 1.

Отличительной особенностью данного концепта является хранение водорода в жидком виде, что является сложной конструкторско-технологической задачей по обеспечению температурного равновесия. Водород в жидком

состоянии находится при температуре минус 252,87 °С и давлении 101,33 кПа. При этом важно поддерживать узкий температурный коридор, т.к. при температуре минус 259,14 °С достигается точка замерзания [16]. С финансово-организационной точки зрения заправочная инфраструктура жидким водородом составляет всего 10% от имеющихся водородных станций. Гораздо лучше обстоят дела с развитием инфраструктуры и применением газообразного водорода.

Транспортные средства на топливных элементах с газообразным водородом (температура хранения плюс 15 °С и давление 350 бар) выпускаются средне-серийными или мелкими опытно-промышленными партиями. В таблице 2 приведены данные по состоянию на август 2019 года по количеству автомобилей, работающих на водороде в странах партнерах по водороду и топливным элементам в экономике (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the

## Библиография

1. Рикардо Суарес-Бертоа, Ковадонга Асторга «Влияние холодной температуры на выбросы легковых автомобилей Евро-6» // Загрязнение окружающей среды, // Том 234, 2018, С. 318-329. / 2. Гиехаскель, Б.; Суарес-Бертоа, Р.; Лахде, Т.; Кларотте, М.; Карьеро, М.; Боннель, П.; Маджоре, М. Выбросы дизельного легкового автомобиля Euro 6b, оснащенного системой снижения выбросов твердого аммиака. // Атмосфера 2019, 10, С. 180. / 3. Аверина Ю.М., Графов Д.Ю., Моисеева Н.А., Рыбина Е.О. Топливные элементы для экологически чистого автомобильного транспорта // Успехи в химии и химической технологии. 2018. Т. 32. № 14 (210). С. 9-12. / 4. Десятов А.В., Курбатов А.Ю., Аверина Ю.М., Болдырев В.С. Твердоокисные топливные элементы: энергия будущего // Химическая промышленность сегодня. 2019. № 3. С. 20-24. / 5. Саман Ахмади, С. М. Т. Батаи, Амир Х. Хоссейнпур, «Улучшение экономии топлива и работы топливного элемента гибридного электромо- биля (топливные элементы, батарея, ультра-конденсатор) с использованием оптимизированной энергетической стратегии управления, преобразования энергии и управления», Том 160, 2018, стр. 74-84. / 6. С. Мехилеф, Р. Сайдур, А. Сафари, «Сравнительное исследование различных технологий топливных элементов, обзоры возобновляемых и устойчивых источников энергии», Том 16, выпуск 1, 2012, С. 981-989. / 7. Бруно Г. Поллет, Изн Стаффелл, Цзинь Лэй Шан, «Современное состояние гибридных электромобилей, аккумуляторных батарей и топливных элементов: от электрохимии к перспективам рынка», // Электрохимия //, том 84, 2012, стр. 235-249. / 8. Чон У шин, Вон Сик Хван, Хен до Чой, «Могут ли автомобили на водородном топливе стать устойчивой альтернативой на автомобильном рынке?: Сравнение транспортных средств на электрических и водородных топливных элементах, технологическое прогнозирование и социальные изменения», том 143, 2019, страницы 239-248. / 9. Аверина Ю. М., Жуков Д. Ю., Курбатов А. Ю., Калякина Г. Е., Десятов Д. Ю. «Исследование технико-экономических особенностей твердоокисных топливных элементов» // Международная междисциплинарная научная Геоконференция Геодезическая Геология и управление горной экологией, СГЭМ 19 (4.1), С. 473-480. / 10. <https://www.cummins.com/news/releases/2019/09/09/cummins-closes-its-acquisition-hydrogenics> / 11. <http://www.cummins.ru/content> / 12. [https://www.mercedes-benz-trucks.com/ru\\_RU/brand/news/daimler-truck-volvo.html](https://www.mercedes-benz-trucks.com/ru_RU/brand/news/daimler-truck-volvo.html) / 13. Ясучиро Нонобе «Разработка автомобиля на топливных элементах mirai», АйИДжи Транс, 2017, С.5-9./14. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Mercedes-Benz-GenH2.xhtml?oid=47453426> / 15. <https://www.daimler-truck.com/innovation-sustainability/efficient-emission-free/mercedes-benz-genh2-fuel-cell-truck.html> / 16. ГОСТ Р 56248-2014 Водород жидкий. Технические условия / 17. <https://www.iphe.net/> / 18. <https://ru.toyota.ee/world-of-toyota/articles-news-events/2014/new-toyota-mirai.json> / 19. <https://auto.vercity.ru/statistics/sales/marks/2019/toyota/> / 20. <https://www.hyundai.com/en-us/releases/3081>

## ПО САМЫМ СКРОМНЫМ ОЦЕНКАМ ПОРТАЛА RESARCH-ANDMARKETS.COM, ГЛОБАЛЬНЫЙ РЫНОК ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАРТЕ 2020 Г. ОЦЕНИВАЛСЯ В \$476 МЛН. И ОБЕЩАЕТ ВЗЛЕТЕТЬ ДО \$55 МЛРД. К 2026 Г.

Economy, IPHE). Как видно из таблицы, в тройке лидеров находятся США, Япония и Южная Корея. При этом наибольшая доля сегмента транспорта приходится на легковые автомобили.

Существенную долю, обеспечивающую лидерство США, привносят легковые автомобили концерна Toyota – Toyota Mirai [18]. Доля продаж на территории США составляет более 60% от производимого выпуска автомобилей (рис. 2). Мировые продажи этой марки с 2014 года составили около 10 000 автомобилей [19]. К концу 2020 года ожидается выход в серию следующего поколения седана с увеличенным диапазоном пробега до 800 км, усовершенствованными топливными элементами и аккумуляторными батареями.

### Выводы

В заключение хотелось бы отметить, что кроме указанных выше

концептов существует множество других образцов, проходящих дорожные испытания в реальных условиях эксплуатации по всему миру. Оцениваются конструкторские решения, надежность и безопасность, внедряются новые идеи.

Рынок водородных топливных элементов устойчиво развивается. Пока нет бурного спроса, но это лишь вопрос времени, обусловленный высокой стоимостью топливных элементов из-за низких объемов производства и напряженным отношением потребителей к безопасности водорода.

Опыт показывает, что экономически привлекательными условиями для эксплуатирующих лиц и организаций являются лизинговые программы по отсроченной покупке, а также условия передачи в аренду с возможностью последующего выкупа. По самым скромным оценкам портала Resarch-AndMarkets.com, глобаль-

ный рынок топливных элементов в марте 2020 г. оценивался в \$476 млн. и обещает взлететь до \$55 млрд. к 2026 г. Соглашение между Министерством образования и науки российской федерации и Публичным акционерным обществом «КАМАЗ» о предоставлении субсидии из федерального бюджета на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева» № 074-11-2018-008 от «5» июня 2018 г. Договор № РХТУ-218-1/2017 на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР) по теме: «Разработка и создание высокотехнологичного производства городского коммунального электрического грузового автомобиля с расширителем пробега и с системой полуавтономного управления движения автомобилем» от 25.10.2017. 

#### Краткая информация об авторах.

**Шайхатдинов  
Фарид  
Араикович**

ПАО «Научно-технологический центр «КАМАЗ». Главный специалист. Адрес: г. Набережные Челны, 423827, г. Набережные Челны, Транспортный проезд, 70. e-mail: Farid.Shaihatdinov@kamaz.ru, телефон: 8-960-070-14-75.

**Бобровский  
Владимир  
Андреевич**

ПАО «КАМАЗ». Главный специалист. Адрес: г. Набережные Челны, Транспортный проезд, 70. e-mail: BobrovskiyVA@kamaz.ru,

**Шафиев  
Дамир  
Раamilевич**

ПАО «КАМАЗ». Ведущий инженер-конструктор. Адрес: г. Набережные Челны, Транспортный проезд, 70. e-mail: Damir.Shafiev@kamaz.ru, телефон: 8-904-763-70-08

**Агарков  
Дмитрий  
Александрович**

Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН). Заведующий лабораторией/ИФТТ РАН, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н. Адрес: г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2.

**Бредихин  
Сергей  
Иванович**

Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН). Заведующий лабораторией. Адрес: г. Черноголовка, ул. Академика Осипьяна д.2. Телефон: 8-496-522-83-79. e-mail: bredikh@issp.ac.ru.

**Аверина  
Юлия  
Михайловна**

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, руководитель Совета молодых ученых и специалистов, доцент кафедры инновационных материалов и защиты от коррозии. Адрес: 125047, Москва, Миусская пл., 9, телефон: 8(495)4954337, e-mail: averinajm@muctr.ru.

**Чичиров  
Андрей  
Александрович**

Казанский государственный энергетический университет (КГЭУ РФ). Профессор, д.х.н., заведующий кафедрой. Адрес: г. Казань, ул. Красносельская, 51. e-mail: pinpin3@yandex.ru. Телефон: 8-960-060-03-87.