

УДК 620.93:621.35:662.92

А. Дудник

Науково-технічний центр вугільних енерготехнологій (НТЦВЕ)
НАН і Мінпаливенерго України**ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ТРАНСПОРТ НА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ**

© Дудник А., 2002

Описаны принципы работы и основные процессы, происходящие в топливных элементах (ТЭ) с щелочным, полимерным, фосфорно-кислотным, расплавленным карбонатным и твердооксидным электролитами. Показаны преимущества автомобилей с ТЭ по сравнению с традиционными автомобилями.

The principles of operation and basic processes occurring in fuel cells (FC) with alkaline, polymeric, phosphoric acid, molten carbonate and solid oxide electrolytes are described. The advantages of vehicles with FC in comparison with traditional engine vehicles are shown.

В связи с принятыми в Киото (Япония) международными соглашениями о выбросах в окружающую среду углекислого газа и изменениями в законодательстве ЕС по выбросам окислов азота, серы и углеводородов (EURO-4), к 2004 году ожидается ужесточение норм по вредным выбросам с автомобильного транспорта. Существующие двигатели внутреннего сгорания (ДВС) не смогут обеспечить удовлетворение этих норм по КПД и вредным выбросам. С середины 90-х годов ведущие автомобилестроительные корпорации и фирмы начали создавать автомобили и автобусы на топливных элементах (ТЭ), которые удовлетворяют современным требованиям по эффективности и экологической чистоте. Серийное производство автомобилей на ТЭ намечено фирмой Honda на 2003 год, а корпорациями Daimler-Chrysler, General Motors и фирмой Ford – на 2004 год.

Топливный элемент (ТЭ) – это электрохимическое устройство, в котором химическая энергия топлива превращается непосредственно и с высокой степенью эффективности в электрическую энергию в виде постоянного тока низкого напряжения. При соединении обоих полюсов через нагрузочное сопротивление реагенты электрохимически преобразуются, и электроны от анода через сопротивление поступают на катод [1].

ТЭ обычно классифицируются по рабочей температуре на низкотемпературные (до 120°C), среднетемпературные (120–250°C) и высокотемпературные (500–1000°C). В зависимости от рабочей температуры применяют различные ионные проводники (электролиты), электроды и реагенты (топливо и окислитель). ТЭ по применяемому электролиту классифицируют на пять типов: со щелочным, твердополимерным, фосфорно-кислотным, расплавленным карбонатным и твердооксидным электролитами. ТЭ с щелочным и твердополимерным электролитом работают при температурах до 120°C, с фосфорно-кислотным электролитом – при 200...230°C, с расплавленным карбонатным электролитом – при 600...750°C и с твердооксидным электролитом (на основе диоксида циркония) – при 750...1000°C. На рис. 1 показаны основные процессы, которые проходят в этих топливных элементах [2].

В настоящее время низкотемпературные ТЭ с щелочным и твердополимерным электролитом считаются наиболее пригодными для транспортного применения. ТЭ со

ТОПЛИВО	e ⁻ → R ←	КИСЛОРОД
Щелочной ТЭ $H_2 + 2OH^- \rightarrow 2H_2O + 2e^-$	← OH ⁻	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$
Полимерный с ионообменной мембраной ТЭ $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	H ⁺ →	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
Фосфорнокислотный ТЭ $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$	H ⁺ →	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$
ТЭ с расплавленным карбонатным электролитом $H_2 + CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2 + 2e^-$ $CO + CO_3 \rightarrow 2CO_2 + 2e^-$	← CO ₃ ²⁻	$O_2 + 2CO_2 + 4e^- \rightarrow 2CO_3^{2-}$
Твердооксидный ТЭ $H_2 + O^{2-} \rightarrow 2H_2O + 2e^-$ $CO + O^{2-} \rightarrow CO_2 + 2e^-$ $CH_4 + 4O^{2-} \rightarrow 2H_2O + CO_2 + 6e^-$	← O ²⁻	$O_2 + 4e^- \rightarrow 2O^{2-}$
ПРОДУКТЫ	АНОД ЭЛЕКТРОЛИТ КАТОД	ПРОДУКТЫ

Рис. 1. Основные процессы в топливных элементах различных типов

щелочным электролитом потребляют водород высокой чистоты. Твердополимерные ТЭ (или полимерные ТЭ с протонообменной мембраной) применяют в качестве топлива как чистый водород, так и смеси водорода с диоксидом углерода (с ограничением содержания СО до 10 ppm и отсутствием в газе соединений серы и азота). Для применения на транспорте рассматриваются также средне- и высокотемпературные ТЭ. Однако использование полимерных ТЭ с ионообменной мембраной для автомобилей и автобусов считается наиболее рациональным, так как такие ТЭ требуют минимального обслуживания и обладают лучшими удельными характеристиками при низких температурах.

Полимерные ТЭ с протонообменной мембраной (ПОМ), которые используются в автомобилях и автобусах, используют в качестве окислителя воздух. Электролит таких ТЭ представляет собой пластмассовую фольгу, пропускающую протоны (протонообменная мембрана), платиновый катализатор и электрод из графитовой бумаги. На обеих сторонах упакованного таким образом электролита предусмотрена биполярная пластина из графита, в которой сделаны тонкие каналы для прохождения водорода и воздуха (рис.2) [3].

Первое коммерческое использование этих ТЭ для транспортного применения было продемонстрировано фирмой General Electric на 1 кВт модуле энергоустановки космического корабля Gemini [1]. Первыми изготовителями протонообменных мембран для полимерных ТЭ были фирмы Du Pont (NAFION), Dow Chemical (Dow membranes) и Asahi Chemical Industry (Aciplex membranes). К настоящему времени изготовлены и используются полимеры, обладающие высокой протонной проводимостью (например, fluorinated sulfonic acid polymer). Производством полимерных ТЭ с ПОМ занимаются фирмы: Ballard, Siemens, DB, VCEL, Johnson Matthey, De Nora и др. Лидером в области производства полимерных ТЭ считается канадская фирма Ballard [4].

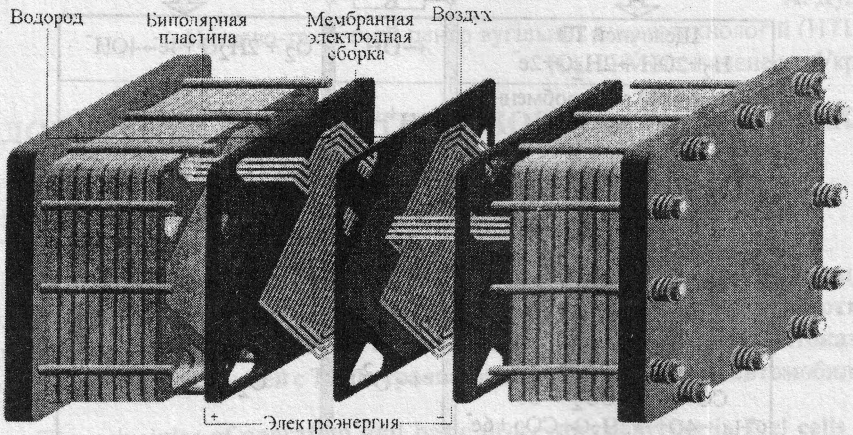


Рис. 2. Батарея полимерных топливных элементов фирмы Ballard

На рис. 3 показана структура источника питания с использованием полимерных ТЭ для микроавтобуса.

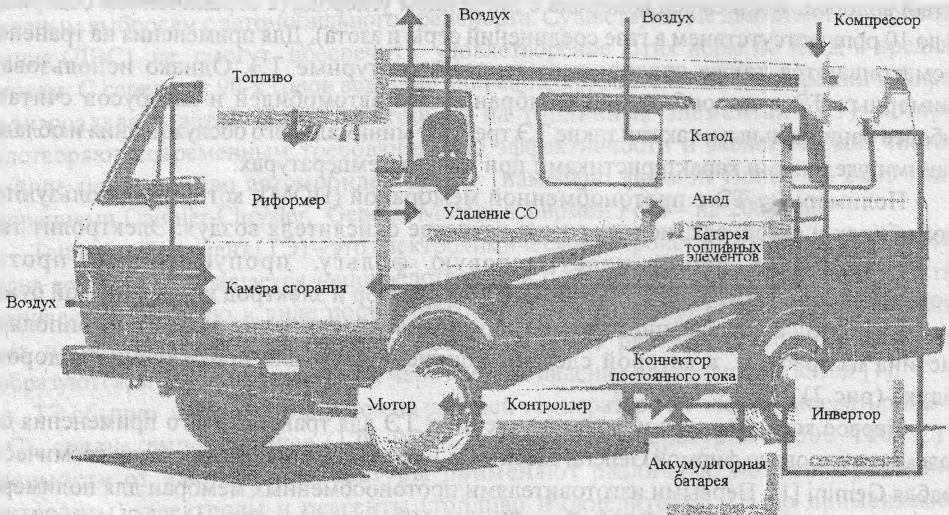


Рис. 3. Структура силовой энергоустановки микроавтобуса на полимерных ТЭ

Двигатели с использованием ТЭ по сравнению с ДВС имеют такие преимущества:

- в 2...3 раза более высокие КПД, практически не имеют вредных выбросов (табл. 1) и рассматриваются как двигатели для престижных (представительского класса) автомобилей с расходом топлива на 100 км – от 2 до 3,5 л [5];

Таблица 1

Тип загрязнения (выбросов)	ДВС, г/км	Топливные элементы, г/км
Углеводороды	0,25	0,0010
Оксид углерода	2,0	0,0006
Оксид азота	1,24	0,0003

- не требуют коробок передач с возможностью плавного изменения подаваемой мощности (включая реверс) на электродвигатели;
- меньшее количество движущихся частей и механизмов;
- малый уровень шума (сравнимый с уровнем шума кондиционера) и рассматриваются в перспективе как бесшумные, в то время как в ЕС с каждым годом повышаются требования к нормам по предельным уровням шума для автомобильного транспорта (табл. 2) [6];

Таблица 2

Тип транспортного средства	Уровень шума, дБа			
	Годы введения норм предельного уровня шума			
	1974-1975	1980-1982	1989-1990	1990-1996
Легковые автомобили	82	80	77	74
Автобусы полной массой выше 3.5 т с двигателем > 100 кВт	91	85	83	80
Грузовые автомобили массой свыше 12 т с двигателем >150 кВт	91	88	84	80

- высокая эргономичность (легкость и удобство управления);
- базовое обеспечение автомобиля электроэнергией осуществляется непосредственно с батареи ТЭ.

В настоящее время разработаны и испытаны автомобили с ТЭ, которые используют такие виды топлива: водород, метанол и бензин.

Для хранения водорода на транспортных средствах используются три различные способы: в газообразном состоянии под давлением до 30 МПа (в автомобилях ВАЗ-Антел, Daimler-Chrysler (Necar 1 и 2), Mazda FCEV, Ford (Mondeo, Focus), Honda FCX-V1, автобусах Daimler-Chrysler (Nebus) и MAN) [7,8,9,10,11,12]; в жидком состоянии при 1 атм и температуре – 253°C (в автомобилях Daimler-Chrysler (Necar 4), Renault Fever) [11, 13]; при 10 атм с использованием металлгидридов (в автомобилях Toyota RAV-4 и General Motors Precept) [14,8].

На метаноле испытаны автомобили с ТЭ: Daimler-Chrysler (Necar 3 и Chrysler Concorde), Toyota (RAV4 EV), General Motors (EV1 Fuel Cell, Opel Zafira), Honda (FCX-V2), Ford (FC5) и Nissan (FCV) [8, 15,16,17].

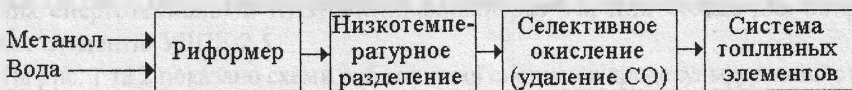


Рис. 4. Подготовка топлива в автомобиле при использовании метанола [17]

На бензине испытан автомобиль с топливными элементами корпорации Daimler-Chrysler (Jeep Commander).

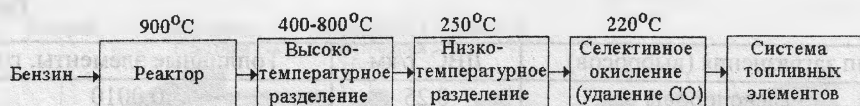


Рис. 5. Подготовка топлива в автомобиле при использовании бензина [17]

Фирма Hyundai начала сотрудничество с фирмой Ballard с целью разработки корейского автомобиля на ТЭ как части совместной программы фирмы Hyundai с правительством республики Корея [18].

В Научно-техническом центре угольных энерготехнологий НАН и Минтопэнерго Украины (НТЦУЭ) разработан стенд, позволяющий выполнять испытания топливных элементов электрической мощностью до 5 кВт под давлением до 2,5 МПа. На стенде испытаны первые образцы ТЭ [19].

1. Дудник А.Н., Корчевой Ю.П., Майстренко А.Ю., Онищенко С.В., Яцкевич С.В. Развитие энергетических технологий с использованием электрохимических генераторов на топливных элементах - К. 1996.
2. Фатеев В.Н. Топливные элементы/Энергия: экономика, технология, экология.-1998.-№6.-С.11-22.
3. Fuel cells, the New Venture for Electricity, Heating and Cooling. -Frankfurt: ALSTOM.-1998.-р.3.
4. Advanced power generation from fuel cells / Clean coal technologies handbook: European Commission Directorate General for Energy (DGXVII), Section 12. - Ocicarbon, ES-28036. Madrid, 1997. - 91 p.
5. Аваков Б.Б., Зинин В.И., Кулаков Г.В. и др. Пути разработки и перспективы создания экономичной экологически чистой энергетики на топливных элементах//Российский химический журнал.-1994.- Том 38.- №3.-С.55-60.
6. Автомобили становятся малошумными/Автомобильный транспорт.-1998.- №5.- С.34.
7. Московский автосалон-2001/Автоцентр.-2001.- №35.-С.7.
8. Безищев Д. Прощай ДВС!/Motor News.-2000.- №5.-С.32-35.
9. Экспериментальный автомобиль "Mazda Fcev" на топливных элементах/Автостроение за рубежом.- 1999.-№9.- С. 6-7.- С.4.
10. Аркуша В. Встреча, которую торопят /За рулем.- 1999.-№11.-С.26.
11. NEBUS - der Bus ohne Emissionen/ Hucho W.-H./Autofachmann.-1997.-№3 - P.20, 23.
12. Испытываются автобусы с топливными элементами/Автомобильный транспорт.-1999.- №5.-С.57-58.
13. Экспериментальный "Renault Fever" на жидком водороде/Автостроение за рубежом.-1998.- №7.-С.2.
14. Гзовский М., Воробьев-Обухов А. Решающий раунд: электроны против углеводородов//За рулем- 1999.-№10.-С.46-47.
15. Альтернатива двигателю внутреннего сгорания/Автомобильный транспорт.-1999.- №10.- С. 34.
16. Топливные элементы в автомобилях Chrysler//Автомобильная промышленность США.-1997.- №7.-С.17.
17. Программы разработок автомобилей с комбинированной энергетической установкой// Автостроение за рубежом.- 1999.-№9.- С. 6-7.- С.4.
18. Ballard Receives \$575,000 Order// Energy Conservation News.-1999.- Vol.22, N5.- P.13.
19. Дудник О.М., Корчевой Ю.П., Майстренко О.Ю., Мухонад Г.В., Онищенко С.В. Энергетика на основі паливних елементів - стратегія на випередження //Енергетика и электрификация.- 2000. - №5.-С. 45-51.