

О.В. Шугаев, Т.П. Воскресенская

Сибирский государственный индустриальный университет

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА И АРГУМЕНТАЦИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ

*Когда все остальное потеряно,
все же остается еще будущее.
(Кристиан Боуви)*

В XIX веке преобладали паровые двигатели, в XX веке были распространены двигатели внутреннего сгорания. Какие виды транспорта и элементы питания останутся в истории XXI века?

В настоящее время постепенно возрастают скорость и объемы добываемых нефтяных ресурсов, и в конечном итоге, как показывают исследования аналитиков [1], при современной динамике потребления эти энергоносители в России закончатся через 20 – 30 лет. Запасов природного газа, учитывая текущие объемы добычи, хватит на 50 – 70 лет [1]. Однако есть мнение [2], что нефть является возобновляемым ресурсом.

Энергоэффективность двигателей внутреннего сгорания (ДВС) незначительна и составляет в среднем 30 % [3]. Такие двигатели не способны обеспечить высокий пусковой момент вращения при низких оборотах двигателя, это достигается повышением скорости вращения и сопровождается увеличением расхода топлива, а высокие цены на нефтяные ресурсы снижают потребительский спрос. Однако на сегодняшний день существуют установки, КПД которых превышает 80 % [4]. Несмотря на высокий КПД они не пользуются популярностью в автомобилестроении из-за высокой стоимости реализации таких систем [4].

Традиционный автомобильный транспорт, использующий ископаемые виды топлива, не является достаточно экологичным средством передвижения и выделяет значительное количество угарного газа, соединений углерода, оксидов азота [5], при этом сжигается кислород. К тому же выделяются канцерогены: бензапирен, свинец, формальдегид, бензол. Рассматриваемые средства передвижения оказывают существенное воздействие на климатические условия, загрязняют окружающую среду, являются источником шумового засорения [5].

Целью настоящего исследования является обоснование выбора сравнительно недорогого топливного элемента для автомобилей, способного повысить конкурентоспособность в сфере машиностроения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- дать сравнительный анализ имеющихся топливных элементов, применяющихся в автотранспортной промышленности;
- выявить наиболее актуальные проблемы водородных генераторов;
- обосновать преимущества использования предлагаемого типа водородных элементов, технически применимых для автомобильного транспорта;
- провести аналитическое сравнение предлагаемого вида топливных элементов и элементов, использующих водородные энергоустановки.

Классификация топливных элементов, применяющихся на автомобильном транспорте

В начале XXI века существовало три основных вида топливных элементов (ТЭ), применяющихся в автомобильном транспорте, которые отличались видом используемого электролита, рабочим давлением и температурой, КПД, типом используемого катализатора, топливом для работы энергоустановки. Топливные элементы подразделяются на (табл. 1):

- щелочные ТЭ (ЩТЭ);
- твердополимерные ТЭ (ТПТЭ);
- метанольные ТЭ (МТЭ).

В ЩТЭ используется щелочной электролит, а также пористые электроды на основе никеля [7], которые позволяют получить повышенную плотность тока. В качестве катализатора в ТЭ

**Отличительные характеристики топливных элементов, применяющихся
в автомобильном транспорте [4, 6 – 8]**

Отличительные характеристики	ЩТЭ	ТПТЭ	МТЭ
Использование водорода высокой степени очистки	+	+	-
Продолжительное время запуска	+	-	-
Значительный объем полезного пространства для размещения установки	+	-	-
Низкотемпературный режим работы	+	+	+
Использование метанола в качестве топлива	-	-	+
Токсичность	-	-	+
Высокая удельная мощность	+	+	-
Присутствие жидкого электролита	+	-	-
Сложность обслуживания и изготовления	+	+	+
Трудность утилизации тепла	+	+	+
Содержание дорогостоящих элементов	+	+	+
Возможность использования различных видов топлива	-	-	+
Надёжность и высокий ресурс работы	+	+	-

применяется платина. В таких установках для исключения коррозии применяются оксидно-никелевые электроды, модифицированные лантаном [4].

Твердополимерные ТЭ содержат электродные пары, разделенные ионообменной мембраной, которая представляет собой твердополимерную пленку с присущими ей ионообменными свойствами. В таком экстраординарном электролите проводниками электроэнергии в случае водной пропитки полимера являются дезаминированные от сульфогруппы SO_3H ионы водорода [6].

Метанольные ТЭ обладают ТПТЭ аналогичной конструкцией за исключением входящего в состав анода рубидия. Основным видом топлива ТЭ является достаточно токсичный метанол, часть которого проникает к катоду, что сопровождается потерей мощности и топлива [4]. При этом ресурс работы МТЭ очень мал. В связи с этим такие топливные элементы не способны конкурировать с более мощными аналогами, в которых используется протонообменная мембрана, однако они могут применяться при малоразвитой инфраструктуре водородных заправочных станций.

В состав рассмотренных топливных элементов, нашедших свое применение в автомобильном транспорте, входит платина. Это значительно повышает их стоимость и сужает круг потенциальных потребителей. Неблагоприятным фактором является достаточно сложный процесс изготовления таких топливных элементов. Ко всему прочему, для работы ТПТЭ и ЩТЭ в автомобильном транспорте необходимо создание соответствующей заправочной инфраструктуры.

**Выбор топливного элемента для
автомобиля**

Для решения выше описанных проблем можно использовать ТЭ, конструкция которых не содержит дорогостоящих составляющих, например, высокотемпературные топливные элементы с твердооксидным электролитом. Предполагаемая система электромобиля со сравнительно недорогими ТЭ будет состоять из следующих основных компонентов:

- емкости для хранения природного газа;
- энергетической установки, использующей твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ), преобразующие метан или водород в электричество;
- промежуточной емкости в качестве аккумуляторной батареи, которая будет компенсировать кратковременные режимы работы, требующие дополнительной мощности.

Для электромобилей на топливных элементах с твердооксидным электролитом уже существует подходящая инфраструктура: газонаполнительные компрессорные станции для автомобилей. Их мировое количество неуклонно растет и в 2010 г. составило 12,3 тыс. единиц. В России общее количество метановых и пропановых заправочных пунктов составляет 5,8 тыс., при этом цены на такое топливо в два раза ниже, чем на продукты переработки нефти. Для ТОТЭ можно использовать водород с низкой степенью очистки, который, как правило, находится в допустимой для большинства ценовой категории. В составе таких ТЭ отсутствуют драгоценные материалы, что значительно снижает общую стоимость транспортных средств. Тем более, что лантано-стронциевые манганиты, никелевые

Характеристики топливных элементов [4, 6 – 8, 10, 11]

Тип ТЭ	Температура, °С	Восстано- витель	Материал катода	Материал анода	Плотность тока, кА/м ²	Ресурс, ч	Напряже- ние, В
Щелочной	80 – 97	Чистый H ₂	Ni + Pt	Ni Pt	1,5 – 3,0	10 тыс.	0,90 – 0,85
Твердополимер- ный	70 – 90	Техниче- ский H ₂	C + Pt	C Pt	3,0 – 5,0	20 тыс.	0,80 – 0,75
Метанольный	90 – 110	CH ₃ OH	C + Pt	C Pt Ru	1,0 – 2,0	–	0,60 – 0,50
Твердооксидный	1073 – 1273	H ₂ +CO, CH ₄	La _x Sr _{1-x} MnO ₃	Ni ZrO ₂	2,0 – 4,0	60 тыс.	0,80 – 0,75

керметы, диоксид-циркониевая керамика, входящие в основу таких топливных элементов, широко распространены и в достаточном количестве располагаются в земной коре. Заявленный срок службы таких устройств достигает 10 – 15 лет. Существенным недостатком ТОТЭ является высокая (до 1000 °С) рабочая температура [9], что, однако, является преимуществом при работе в неблагоприятных условиях низких температур. Коэффициент полезного действия высокотемпературных твердооксидных топливных элементов достигает 55 – 70 % [7], при этом удельная мощность достигает 0,6 Вт/см² [9].

Характеристики различных топливных элементов приведены в табл. 2.

Твердооксидные ТЭ обладают высокими эксплуатационными характеристиками. Материалы, из которых состоят ТЭ, имеют относительно невысокую стоимость. При этом водородные генераторы на основе твердооксидного электролита способны выделять сравнительно высокую плотность тока, не уступающую плотности тока ТПТЭ и превосходящую ТЭ, которые применяются в автомобильном транспорте. Выделяемое каждой ячейкой напряжение находится в среднем диапазоне значений по отношению к другим топливным элементам. Благодаря использованию меньшего количества ТЭ существенно упрощается конструкция и уменьшается вес. При этом ТОТЭ обладают внушительным ресурсом работы по сравнению с остальными ТЭ. При использовании ТОТЭ существенно ниже плановые расходы, связанные с ремонтом транспортного средства.

Электромобили с ТОТЭ из-за высокой рабочей температуры нуждаются в предварительном продолжительном разогреве. Эту задачу можно решить введением в конструкцию транспортного средства соответствующей промежуточной емкости, которая некоторое время будет компенсировать работу ТЭ.

Выводы. Несмотря на сравнительно невысокий КПД средства передвижения, использующие твердооксидные топливные элементы, бо-

лее эффективны, чем традиционные бензиновые или дизельные автомобили, производительность которых в среднем составляет 30 %. Однако твердооксидные топливные элементы при использовании метана выделяют побочный продукт в виде CO₂. Электромобили на ТЭ могут быть достаточно конкурентоспособными за счет низкой стоимости, неприхотливости в обслуживании и в ближайшее время смогут заменить традиционные средства передвижения при условии использования имеющейся инфраструктуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рахманкулов Д.Л., Николаева С.В., Латыпова Ф.Н., Вильданов Ф.Ш. О проблеме истощения мировых запасов нефти // Башкирский химический журнал. 2008. № 2 (15). С. 5 – 35.
2. Запиров Н.П. Нефтегазовая геология: парадигмы XXI века // Георесурсы. 2007. № 3 (22). С. 11 – 13.
3. Сорокин А.И., Мирзоев Г.К. Эффективность использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 805 – 808.
4. Абрамчук Ф.И., Врублевский А.Н., Кузьменко А.П., Подлещук С.О. Выбор и обоснование топливного элемента для экомобиля // Автомобильный транспорт. 2013. № 33. С. 50 – 54.
5. Друзьянова В.П., Петрова С.А., Охлопкова М.К. Технические решения использования биогаза в двигателях внутреннего сгорания // Электронный журнал Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2013. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://oaji.net/articles/2014/245-1393742212.pdf> (Дата обращения 07.03.2016 г.).
6. Григорьев С.А., Ванярхо В.Г. Учебное пособие «Электролиз» по курсу

- химии / Под ред. А.А. Евдокимова. – М.: изд. МГТУ МИРЭА, 2014. – 48 с.
7. Топливные элементы: Сборник статей / Под ред. В. Митчелла; пер. с англ. Н.Е. Кванталиани, под ред. А.А. Азовцева. – Ленинград: Судостроение, 1966. – 376 с.
 8. Ч и р к о в Ю.Г. Топливные элементы: с земли на луну // Наука и жизнь. 1981. № 6. С. 77 – 83.
 9. Н е ф е д к и н С.И., Л и п и л и н А.С. Каким быть экологически чистому городскому автомобилю? Перспективы использования ТОТЭ на автомобильном транспорте. – В кн.: Материалы Всерос. конф. с междунар. участием «Твердоокисные топливные элементы и энергоустановки на их основе». – Черноголовка, 2010. С. 109 – 110.
 10. Г о л о в а н о в Л.В. Экспериментальный электромобиль HydroGen 1 на базе Opel Zafira // Авторевю. 2000. № 13-14. С. 22, 23.
 11. P e r r y M.L., F u l l e r T.F. A Historical Perspective of Fuel Cell Technology in the 20th Century // Journal of the Electrochemical Society. 2002. Vol. 149. № 7. P. 59 – 67.

© 2016 г. О.В. Шугаев, Т.П. Воскресенская
Поступила 26 августа 2016 г.

УДК 621.01

Л.Н. Гудимова

Сибирский государственный индустриальный университет

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМЫХ И ДОСТАТОЧНЫХ УСЛОВИЙ ПОЛНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Началом развития теории структуры можно считать 1869 г. В этом году на II съезде русских естествоиспытателей академиком П.Л. Чебышевым сделан доклад «О параллелограммах» [1], на котором впервые было представлено уравнение, определяющее условие существования плоского шарнирного параллелограмного механизма. Последующие исследования таких ученых, как М.Ф. Грюблер [2], Л.В. Ассур [3], А.П. Малышев [4], В.В. Добровольский [5], И.И. Артоболевский [6], Г.Г. Баранов [7], С.Н. Кожевников [8], Л.Н. Решетов, Ч.Ф. Кетов, Н.И. Колчин [9], У.А. Джолдасбеков, Л.Т. Дворников и др., позволили не только создать современную теорию структуры кинематических цепей, но и поставить ряд задач, решение которых настоятельно требует дальнейшего разрешения. Одной из них является задача полной идентификации кинематических цепей.

Известно, что из различных по сложности звеньев, отличающихся числом их геометрических элементов, входящих между собой в кинематические пары разных классов и с разным количеством контактов, могут создаваться сколь угодно сложные кинематические цепи, которые при выполнении определенных усло-

вий реализуются в виде пригодных для практики механизмов.

Несмотря на то, что понятие «кинематические цепи» используется очень широко и с давних времен, классифицируются они до сих пор лишь по следующим признакам: по видам относительного движения звеньев – плоские и пространственные; по характеру замыкания звеньев – открытые и замкнутые; по сложности – простые и сложные [6, 10]. Такая классификация является не только не полной, но и недостаточной, так как не позволяет осуществлять полную идентификацию кинематических цепей внутри каждого из трех вышеперечисленных классификационных признаков, а также не дает возможности в полной мере проводить их анализ и тем более осуществлять синтез кинематических цепей.

В настоящей работе решается задача обоснования необходимых и достаточных классификационных параметров кинематической цепи. Поставленная задача может быть вполне разработанной лишь в том случае, если сам объект исследования (кинематическая цепь) получит полную идентификацию или полную его распознаваемость. Изучение особенностей и свойств кинематических цепей позволило не