

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ВОДОРОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Э. В. Савёлова, А. Ф. Винаков, Л. И. Бондаренко**  
*Одесский национальный политехнический университет*

**Аннотация.** В обзорной статье показаны преимущества современного автомобиля на топливных элементах на примере автомобилей фирм Toyota Motor Corp и Honda Motor Co. Приведены тактико-технические данные этих автомобилей. Современные водородные автомобили надёжны, экономичны и безопасны в эксплуатации. Они делают общество независимым от загрязняющей окружающей среды ископаемого топлива, запасы которого ограничены и по оценкам экспертов будут истощены приблизительно через шестьдесят лет.

Водородные автомобили – это не замена гибридов и электромобилей, а скорее ещё один из способов переключения на альтернативную энергетику, зелёный образ жизни.

**Ключевые слова:** автомобиль с топливными элементами, водородный автомобиль, Toyota Mirai, Honda Clarity Fuel Cell, экологическая безопасность, аккумуляторные батареи, тяговый электромотор, крутящий момент, время разгона.

**Введение**

В современном мире невозможно представить жизнедеятельность человека и вообще общественное развитие без использования автомобильного транспорта. Однако стремительная моторизация человечества требует решения ряда серьёзных социальных проблем, среди которых на первом плане – экология и сохранение природных ресурсов.

В процессе эксплуатации автомобили выделяют вредные газы, тяжёлые металлические частицы, которые не только опасны для окружающей среды, но могут привести к развитию рака легких и многих других респираторных заболеваний [1, 2].

С целью контроля за экологической безопасностью транспорта, во многих развитых странах введены жёсткие рамки по токсичности отработавших газов – нормы ЕВРО. Это стало побудительным стимулом для автомобильной промышленности в создании автомобиля с экономично работающим на экологически чистых видах топлива двигателем.

Одним из вариантов решения данной проблемы является электромобиль [2, 3], однако он не единственный, кто может составить конкуренцию автомобилю с двигателем внутреннего сгорания (ДВС).

В данной статье речь пойдет об автомобиле, который по праву считается будущим автомобилестроения, т. к. использует действительно неисчерпаемое, возобновляемое и экологически чистое топливо – водород, обладает большим по сравнению с электромобилем запасом хода и

более коротким временем заправки.

Идея создания водородного автомобиля относится к 1807 году, когда Франсуа Исаак де Риваз запатентовал самодвижущуюся повозку с ручным приводом клапанов, дозирувавших водород и воздух, и воспламенением смеси от вольтова столба, а открытие топливных элементов англичанином сэром Уильямом Р. Гроувом датируется 1839 годом.

Существует два типа водородных автомобилей. Первый, в котором водород используется в качестве топлива для двигателя внутреннего сгорания, второй – водородные топливные элементы обеспечивают выработку электрического тока постоянного напряжения для привода в действие электродвигателя, приборов системы освещения и других электросистем.

Преимущества водорода как топлива связаны не только с тем, что при его сгорании образуется "экологически чистый" водяной пар. По сравнению с органическим топливом он обладает большим "запасом энергии": при сгорании 1 тонны водорода выделяется столько же тепла, сколько при сгорании 3,5 тонны органического топлива. Кроме того, водород, в отличие от углеводородного топлива, способен к каталитическому окислению при низких температурах с прямым преобразованием химической энергии окисления в электрическую.

Устройство, позволяющее реализовывать эту уникальную особенность, так называемый топливный элемент или электрохимический генератор энергии, характеризуется очень высоким к.п.д. – 70 - 80%, то есть в 2,0 – 2,5 раза превышающим к.п.д. теплового двигателя. Активные элементы для электрохимической реакции пода-

ются в него извне, а значит, оно может работать так долго, пока в него эти элементы будут поступать, в отличие от батареи с ограниченным запасом энергии.

### Цель работы

показать возможности современных «автомобилей с топливными элементами» (FCV – Fuel Cell Vehicle) на примере серийно выпускаемых моделей фирм Toyota Motor Corp и Honda Motor Co.

### Материалы исследований

К исследованиям в области водородных автомобилей обе компании приступили в конце 1980-х, начале 1990-х годов. Их концепты в разные годы удостоивались титула World Green Car of the Year («Зелёный автомобиль года»): в 2009 году – седан Honda FCX Clarity, в 2016 – седан Toyota Mirai. Автомобиль Honda Clarity Fuel Cell вошёл в пятёрку претендентов на звание самого экологичного в 2017 году.

Обе серийные модели (Toyota Mirai и Honda Clarity Fuel Cell) имеют сходные технические характеристики [4, 5, 6, 7, 8]. Например, приблизительно равные: ёмкость топливных баков, обеспечивающая пробег на одной заправке около 700 км, мощность тягового электромотора; топливных элементов; плотность отдачи электрохимического генератора; время разгона до 100 км/ч; средний расход топлива; максимальную скорость (см. таблицу 1).

И Toyota Mirai, и Honda Clarity FCV – по сути, электромобили, имеющие аналогичный принцип действия.

Через воздухозаборники в переднем бампере кислород из воздуха поступает в электрохимический генератор, где соединяется с водородом из топливных баков. Реакция происходит без процесса горения. На выходе блока топливных элементов образуется электричество для питания электромотора, подзарядки вторичной батареи и вода.

Тяговый синхронный электродвигатель приводит в движение передние колёса, а вода сливается автоматически или при нажатии кнопки в салоне по желанию водителя.

Электрохимический генератор собирается из последовательно соединённых ячеек – водородно-кислородных топливных элементов. В корпусе каждого из них установлена мембрана, проводящая только протоны. Она разделяет две камеры с электродами – катодом и анодом. В камеру анода поступает водород, а в камеру катода – кислород. Каждый электрод покрыт нанослоем

катализатора (платиной). Молекулярный водород под воздействием катализатора, нанесённого на анод, теряет электроны. Протоны проводятся через мембрану к катоду, и под воздействием катализатора соединяются с кислородом, образуя воду. Электроны из камеры анода поступают в электрическую цепь электродвигателя.

Водородный генератор Toyota Mirai состоит из 370 таких ячеек (весом 102 грамма и толщиной 1,34 мм), имеет объём 37 л, вес 56 кг, мощность 114кВт. Для сравнения: семь лет назад он состоял из 400 ячеек, весил 108 кг, занимал 64 л объёма и развивал 90 кВт.

Однако, в компоновке двух машин наблюдается принципиальная разница (рис. 1) [4, 5, 8].

1. Электрохимический генератор (блок топливных элементов FC Stack).
2. Инвертор постоянного тока в переменный.
3. Вторичная батарея.
4. Водородные баки высокого давления.
5. Синхронный электродвигатель.
6. Блок управления питанием.
7. Вспомогательные компоненты.

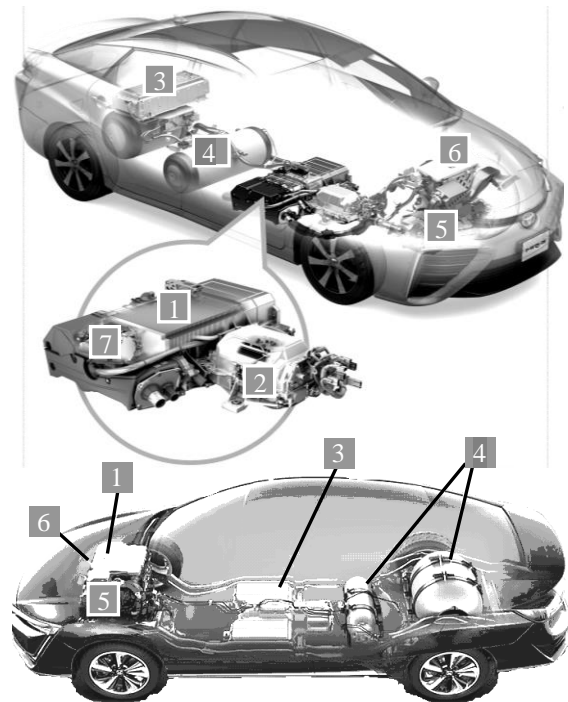


Рис. 1. Основные компоновочные узлы автомобилей: Toyota Mirai (сверху), Honda Clarity FCV (снизу)

У Toyota Mirai топливные ячейки спрятаны под передними креслами. Проводимость протонно-обменных мембран в них поддерживается за счёт использования синтезируемой влаги, отвод которой ускоряется за счёт специально разработанного рельефа титановых пластин катода [4].

Технические характеристики «автомобилей с топливными элементами»

Автомобиль	Toyota Mirai	Honda Clarity Fuel Cell
Название модификации	TFCS	FCV
Тип кузова	Седан	Седан
Число мест	4	5
Длина, мм	4890	4915
Ширина, мм	1815	1875
Высота, мм	1535	1480
Колесная база, мм	2780	2800
Снаряженная масса, кг	1850/2180	1890
Тяговый электромотор передний	электрический, синхронный переменного тока	синхронный индуктивный электродвигатель с постоянными магнитами
Расположение	Поперечно над передней осью	спереди, поперечно
Макс. мощность, л. с. (кВт)	154 (113)	174 (100)
Макс. крутящий момент, Нм(кг·м)	335 (34,2)	331
Тип привода	передний	передний
Электрохимический генератор	полимерный электролитный (PEFC) (плотность отдачи 3,1 кВт/л)	полимерный электролитный PEFC (плотность отдачи 3.1 кВт/л)
Максимальная мощность, л. с.	155 (114 кВт)	177 (130 кВт)
Водородный бак высокого давления	122 л: передний – 60,0 л.; задний - 62,4 л. (норм. давление = 70 МПа)	141 л: передний – 24,0 л.; задний - 117 л. (норм. давление = 70 МПа)
Тяговая батарея (АКБ)	никель-металлогидридная 1,6 кВт·ч (напряжение 244 В)	плоская литий-ионная 1,7 кВт·ч (напряжение 288 В)
Трансмиссия	одноступенчатый редуктор	одноступенчатый редуктор
Шины	215/55R17 (один размер для задней и передней оси)	235/45R18
Передняя подвеска	независимая, типа McPherson, со стабилизатором поперечной устойчивости	независимая, типа McPherson, со стабилизатором поперечной устойчивости
Задняя подвеска	независимая, двухрычажная, со стабилизатором поперечной устойчивости	независимая, многорычажная, со стабилизатором поперечной устойчивости
Макс. скорость, км/ч	175 (178)	161
Время разгона 0-100 км/ч, с	9,6	9,3
Средний расход топлива л/100 км	0,76	0,9
Макс. запас хода, км (цикл NEDC)	650	750

Они не требуют применения увлажнителя. Эффективность генерации электричества повышена за счет использования тончайших 3D каналов. Каналы расположены в тонкой трехмерной решетчатой структуре и повышают дисперсию воздуха (кислорода), что позволяет достичь равномерной выработки электроэнергии на поверхности ячеек [9].

Слева от генератора находится циркуляционный водородный насос, а спереди к нему крепится четырёхфазный конвертер, поднимающий напряжение с 250 до 650 В.

Каркас блока топливных элементов изготовлен из термопластичного армированного углеродным волокном пластика. Это легкий, прочный и легко внедряемый в массовое производство материал. Он защищает FC Stack, поглощая удары от неровностей дорожного покрытия.

У Honda Clarity топливные элементы соединены с силовой электроникой и тяговым электромотором в единый блок, по размеру равный бензиновому 3,5 литровому двигателю V6, и помещены под капот. При этом размер самого блока уменьшен в три раза, а производительность увеличена на 60 % по сравнению с предыдущей моделью Honda FCX Clarity. Известно также, что они вертикально ориентированы, и толщина каждой уменьшена на 1 мм.

В новой конструкции батареи (V Flow Stack) каналы для волнового движения водорода и атмосферного кислорода впервые направлены вертикально (сила тяжести используется для более эффективного оттока воды из генерирующего слоя ячейки). Между ними горизонтально, волнообразно обвивая их как волокна в ткани, расположены каналы для хладагента. Это обеспечило, по сравнению с прямоточными каналами, большую пропускную способность каждого канала и позволило сократить его глубину на 17 %. Турбулентное течение внутри канала улучшает распределение водорода и воздуха по всему электродному слою. Горизонтальное перемещение хладагента позволяет получить более ровное охлаждение слоя, вырабатывающего электроэнергию, что вдвое уменьшает количество необходимых охлаждающих слоев. В то время как предыдущие батареи имели по одному охлаждающему слою на каждый топливный элемент, в новой батарее достаточно одного слоя на два элемента [10, 11].

Всё вышеперечисленное обеспечило высокую стабильность выработки энергии, уменьшение размеров и увеличение производительности блока топливных элементов. В результате запуск двигателя стал возможен при температурах до -30°C.

Питание электродвигателя осуществляется не только от электрохимического генератора, но и от вторичной батареи (никель-металлогидридной - у Toyota Mirai, литий ионной - у Honda Clarity), которая накапливает энергию в движении или при торможении и отдаёт её, когда автомобилю необходима максимальная мощность, например при запуске двигателя при низких температурах, резком ускорении...

В автомобилях установлено по два бака, общей ёмкостью пять килограммов водорода. Один из баков расположен между задним сиденьем и багажником, второй – под задним сиденьем. Корпуса баков выполнены из углепластика, пластика и пластика, армированного стеклотканью. Всего – три слоя, выдерживающие давление до семисот атмосфер. В самом внутреннем слое каждый бак имеет прослойку из полиамидного материала, который обладает высокой прочностью и способностью предотвращать утечку водорода [9]. Увеличение объёма бака и снижение его веса были достигнуты за счёт использования самых оптимальных материалов, улучшения конструкции и методов производства, сведения к минимуму толщины стенки за счет оптимизации угла намотки, натяжения и объема углеродного волокна.

У Honda Clarity корпуса водородных баков изготовлены из углеродного волокна и облицованы алюминием. Для большей безопасности они установлены в специальном подрамнике [12].

Конструкция настолько прочна, что при любой аварии водородные баки сохраняют свою форму. Кроме того, каждый бак оснащен специальным клапаном безопасности, обеспечивающим сброс водорода при превышении (до взрывоопасных) значений давления и температуры; утечка водорода постоянно контролируется датчиками [9].

Оба автомобиля оснащены самыми современными активными и пассивными системами безопасности. В стандартный набор входят ремни и подушки безопасности; электронные системы безопасности и контроля движения: антиблокировочная система (ABS), система распределения тормозного усилия (EBD), предотвращения выезда из полосы движения (LKA), электронного контроля устойчивости (ESP), предотвращения столкновения с функцией автоматического торможения, радарный круиз-контроль (ACC), антипробуксовочная система (TCS); характеризуются повышенной устойчивостью, отличными аэродинамическими показателями и низким центром тяжести – все это достигается за счет выгодного расположения батареи топливных эле-

ментов, электробатареи и водородных баков. Тормозной пакет сформирован дисковыми механизмами всех колес с технологией рекуперации энергии.

Каждый из автомобилей обладает ещё одной полезной функцией: его силовая установка может служить своеобразной домашней электростанцией, обеспечивающей электроэнергией средний коттедж в течение 5 – 7 дней, что актуально для Японии, когда из-за цунами целые города остаются без электричества.

### Выводы

Водородные автомобили – это не замена гибридов и электромобилей, а скорее ещё один из путей уменьшения зависимости социума от ископаемого топлива и переключения на альтернативную энергетику, зеленый образ жизни.

Для повышения популярности водородного транспорта необходима развитая инфраструктура заправок и обслуживающих станций.

С этой целью Honda Motor Co выпустила компактную станцию электролиза Smart Hydrogen Station для добычи водорода из воды в домашних условиях.

Toyota Motor Corp и ещё двенадцать ведущих промышленных компаний поддержали глобальную инициативу по переходу к новой мировой энергетической модели на основе водорода. На Всемирном экономическом форуме в Давосе партнеры объявили о создании всемирного Совета по водородным технологиям (Hydrogen Council) и решили инвестировать почти 11 миллиардов долларов в развитие и продвижение водородной энергетики. Представители новой организации будут работать с правительствами стран, убеждая их в необходимости развития новой инфраструктуры и внесения изменений в законодательство.

### Список использованной литературы

1. Ломакин, В. В., Карпукhin, К. Е., Кондрашов В. Н. Тенденции развития автомобилестроения: учебное пособие [Текст] / В.В. Ломакин, К.Е. Карпукhin, В.Н. Кондрашов. – М: МГТУ «МАМИ» – 2008, – 70 с.

2. Vynakov, O. F. Modern electric cars of Tesla Motors company [Text] / O. F. Vynakov, E. V. Savolova, A. I. Skrynnyk // Automation of technological and business-processes. – 2016. – Volume 8, Issue 2. – P. 9 – 18. – ISSN print 0453 – 8307. – DOI: 10.15673/atbp.v8i2.162.

3. Винаков, А. Ф. Технические характеристики современных электромобилей [Текст] / А.Ф. Винаков, Э. В. Савёлова, А. И. Скринник // Электротехнические и компьютерные системы. –

2016. – № 22(98). – С. 371 – 377. – ISSN print 2221 – 3937. – DOI: 10.15276/eltecs.22.98.2016.62.

4. Карин, П. Ищем доброту внутри водородомобиля Toyota Mirai [Электронный ресурс] // Драйв [веб-сайт]. – 16.12.2015. – url: <https://www.drive.ru/test-drive/toyota/> (дата доступа 19.03.2017).

5. Кулешов, М. Премьеры. Первый элемент. Проверяем будущее за рулём первого серийного автомобиля на топливных элементах [Текст] / М. Кулешов // За рулем. – 2015. – № 12 (129). – С. 36–41.

6. Дебютант. Toyota Mirai: заглядывает в будущее [Текст] // Тест-Драйв. – 2015. – № 7. – С. 122 - 131.

7. Дебютант. Honda Clarity Fuel Cell: ставка на водород [Текст] // Тест-Драйв. – 2015. – № 12. – С. 52–57.

8. 2017 Clarity Fuel Cell – Environmentally-Conscious Vehicles | Honda [Электронный ресурс] // Honda [веб-сайт] –url: <http://automobiles.honda.com/clarity#technology>. – Заголовок с экрана (26.03.2017). – Язык англ.

9. Toyota FCV Mirai [Электронный ресурс] // Автоэко [веб-сайт] – url: [http://avtonov.info/autoeco/toyota\\_mirai.php](http://avtonov.info/autoeco/toyota_mirai.php) – Заголовок с экрана (02.04.2017).

10. Honda, Хонда, Clarity, FCX, Кларити [Электронный ресурс] // AutoBusinessInfo News Agency [веб-сайт]. – url: <http://abinfo.ru/articles/news.php?id=24351>. – Заголовок с экрана (31.03.2017).

11. Санников, В. Автомобили. Серийное будущее [Текст] / В. Санников // Популярная механика. – 2008. – № 9(71). – С. 100–104.

12. Davies, C. Fuel Cell Safety: Why hydrogen cars like Honda's Clarity are safe [Электронный ресурс] / C. Davies // Slash Gear [веб-сайт]. – 19.03.2017. – url: <https://www.slashgear.com/fuel-cell-safety-why-hydrogen-cars-like-hondas-clarity-are-safe-19479069/> – (дата доступа 01.04.2017). – Язык англ.

### References

1. Lomakin, V. V., Karpukhin, K. E., Kondrashov, V. N. (2008), Trends in the development of the automotive industry: the textbook. [Tendencii razvitiya elektromobilstroeniya: ychebnoe posobie], M: MSTU, 70 p (In Russian).

2. Vynakov, O. F., Savolova, E. V., Skrynnyk, A. I. (2016), Modern electric cars of Tesla Motors company, *Automation of technological and business-processes*, Volume 8, Issue 2. – pp. 9–18. – ISSN print 0453 – 8307. – DOI: 10.15673/atbp.v8i2.162 (In English).

3. Vynakov, O. F., Savolova, E. V., Skrynnyk,

A. I. (2016), Technical characteristics of modern electric cars, *Electrotechnic and computer systems*, № 22(98). – pp. 371–377. – ISSN print 2221–3937. – DOI: 10.15276/eltecs.22.98.2016.62 (In Russian).

4. Karin, P. (16.12.2015) We are looking for kindness inside the hydrogen car Toyota Mirai [Ishchem dobrotu vnutri vodorodomobilya Toyota Mirai], *Drive*, (In Russian) Available at: <https://www.drive.ru/test-drive/toyota/> (accessed 19.03.2017).

5. Kuleshov, M. (2015), Premieres. The first element. We check the future behind the wheel of the first production car on fuel cells, [Prem'yery. Pervyy element. Proveryayem budushcheye za rulom pervogo seriynogo avtomobilya na toplivnykh elementakh], *Behind the wheel*, № 12 (129). – pp. 36–41.

6. Debutant. Toyota Mirai: looks into the future [Debyutant. Toyota Mirai: zaglyadyvayet v budushcheye], *Test Drive*, (2015), № 7. – pp. 122–131.

7. Debutant. Honda Clarity Fuel Cell: bet on hydrogen [Debyutant. Honda Clarity Fuel Cell:

stavka na vodorod], *Test Drive*, (2015), № 12. – pp. 52–57.

8. 2017 Clarity Fuel Cell – Environmentally-Conscious Vehicles | Honda, *Honda* (In English) Available at: <http://automobiles.honda.com/clarity#technology> (accessed 26.03.2017).

9. Toyota FCV Mirai, *Avtoeko*. Available at: [http://avtonov.info/autoeco/toyota\\_mirai.php](http://avtonov.info/autoeco/toyota_mirai.php). – (accessed 02.04.2017).

10. Honda, Clarity, FCX, *AutoBusinessInfo News Agency*. Available at: <http://abinfo.ru/articles/news.php?id=24351> (accessed 31.03.2017).

11. Sannikov V. Vehicles. Serial future [Avtovobili. Seriynoye budushcheye], *Popular mechanics*, (2008), – № 9 (71). – pp. 100–104

12. Davies C. Fuel Cell Safety: Why hydrogen cars like Honda's Clarity are safe, *slash gear*, (19.03.2017) (In English) Available at: <https://www.slashgear.com/fuel-cell-safety-why-hydrogen-cars-like-hondas-clarity-are-safe-19479069/> – (accessed 01.04.2017).

## TECHNICAL CHARACTERISTICS OF MODERN HYDROGEN FUEL CELL VEHICLES

E. V. Savolova, O. F. Vynakov, L. I. Bondarenko

*Odessa National Polytechnic University*

**Abstract.** Advantages of modern Fuel Cell Vehicle are shown in this overview article, as compared with cars internal combustion, on example of the vehicles of companies Toyota Motor Corp u Honda Motor Co. Tactic-technical characteristics of these vehicles are brought, the principle of operation and the major sub-assemblies are briefly described.

And Toyota Mirai, and Honda Clarity FCV - in fact, electric cars, power the motor in which not only from the electrochemical generator, but also from the secondary battery. Electrochemical generator - a block of fuel cells (FC Stack) of both cars with small dimensions ensures high stability of energy production. As a result, the engine started to run at temperatures as low as -30 ° C. But the increase in its performance is achieved in one case due to the use of the thinnest 3D channels, in the second - their vertical orientation and reduction of the cooling layers. The design of hydrogen tanks is so strong that in any accident they retain their shape.

Modern hydrogen cars are reliable, economical and crashworthiness in exploitation. They make society independent of polluting fossil fuels, whose reserves are limited and will be exhausted in about sixty years what experts estimate.

Hydrogen cars are not replacement of hybrids and electric vehicles, but rather are their satellite, one more of modes of switching to alternative power engineering, a green way of life.

**Key words:** FCV, Fuel Cell Vehicle, hydrogen vehicle, Toyota Mirai, Honda Clarity Fuel Cell, ecological safety, accumulator batteries, traction motor, torque, acceleration time.

## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУЧАСНИХ ВОДОРОДНИХ АВТОМОБІЛІВ

Е. В. Савьолова, О. Ф. Винаков, Л. І. Бондаренко

*Одеський національний політехнічний університет*

**Анотація.** В оглядовій статті показані переваги сучасного автомобіля на паливних елементах на прикладі автомобілів фірм Toyota Motor Corp u Honda Motor Co. Приведені тактико-технічні дані цих автомобілів. Сучасні водневі автомобілі надійні, економічні і безпечні в експлуатації. Вони

роблять суспільство незалежним від викопного палива, що забруднює навколишнє середовище, запаси якого обмежені і за оцінками експертів будуть виснажені приблизно через шістдесят років.

Водневі автомобілі - це не заміна гібридів і електромобілів, а скоріше їх супутник, ще один із способів перемикання на альтернативну енергетику, зелений спосіб життя.

**Ключові слова:** електромобіль, Toyota Mirai, Honda Clarity Fuel Cell, екологічна безпека, акумуляторні батареї, тяговий електромотор, крутний момент, час розгону.

Получено 10.04.2017



**Савєлова Эльвира Викторовна**, старший преподаватель кафедры теоретических основ и общей электротехники Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, 65044, E-mail: elvira\_onaxt@mail.ua, тел. +38- 048-705-81-83

**Savolova Elvira**, senior lecturer of the Department of theoretical foundations and general electrical engineering, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0001-9266-9323



**Винаков Александр Федорович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теоретических основ и общей электротехники Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, 65044, E-mail: afvinakov@gmail.com, тел. +38- 048-705-85-12

**Vynakov Oleksandr**, Ph.D. in technical sciences, associate professor of the Department of theoretical foundations and general electrical engineering, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0002-6630-8986



**Бондаренко Любовь Игоревна**, студент Одесского национального политехнического университета. Просп. Шевченко, 1, Одесса, Украина, 65044, E-mail: l\_bondarenko7@ukr.net, тел. +38- 048-705-85-12

**Bondarenko Lubov**, student, Odessa National Polytechnic University, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0003-3712-603X