



Skolkovo Institute of Science and Technology

**Сколковский Институт Науки и Технологий**

---

**Мониторинг аналитических, стратегических и прогнозных документов в области научного и технологического развития**

*Тема номера: Текущее состояние и перспективы технологического развития электромобилей*

*Январь-Апрель 2017 г.*

*№7*

**Авторы: Фролов А.С.**

*аналитик по промышленной политике*

**Арутюнян А.Г.**

*аналитик*

**Каталевский Д.Ю.**

*директор департамента индустриальных программ*

Май 2017 г.

Москва, ИЦ Сколково

## *1. Динамика и структура мирового рынка электромобилей*

Электрификация автомобильного транспорта в настоящее время является одним из основных трендов развития мировой автомобильной отрасли<sup>1</sup>. Несмотря на то, что в 2015 г. доля электромобилей в мировом автопарке была незначительная – около 0,1%, по прогнозам эта доля будет быстро расти и составит около 10% к 2030 г. и около 40% к 2050 г.<sup>2</sup>

Основная мотивация в распространении электромобилей связана с повышением экологичности и энергоэффективности автомобильного транспорта, а также с рядом потребительских характеристик: отсутствие шума мотора, динамические характеристики и др. Ключевыми барьерами для распространения электромобилей являются:

- высокая стоимость аккумуляторных батарей/топливных элементов;
- относительно низкий запас хода на одной зарядке;
- неразвитость инфраструктуры, прежде всего – зарядных станций.

Формально выделяется несколько основных типов электромобилей:

- гибридные электромобили с подзарядкой аккумуляторных батарей от двигателя внутреннего сгорания (ДВС) (HEV);
- гибридные электромобили с подзарядкой аккумуляторных батарей от внешней сети (PHEV);
- электромобили, работающие полностью на аккумуляторных батареях (BEV);
- электромобили, работающие на топливных элементах (FCEV).

Первый тип электромобилей, HEV, является в настоящее время наиболее распространенным типом электромобилей в мире (более 1,8 млн. проданных автомобилей или около 70% от общего количества проданных электромобилей в 2016 г.<sup>3</sup>). В то же время

---

<sup>1</sup> Наряду с трендами повышения автономности (autonomous), общего пользования (shared) и включенности в информационную среду (connected). Источник: McKinsey&Company (2017) Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability

<sup>2</sup> В оценках IEA учитывались только такие типы электромобилей как PHEV и BEV ([https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf)).

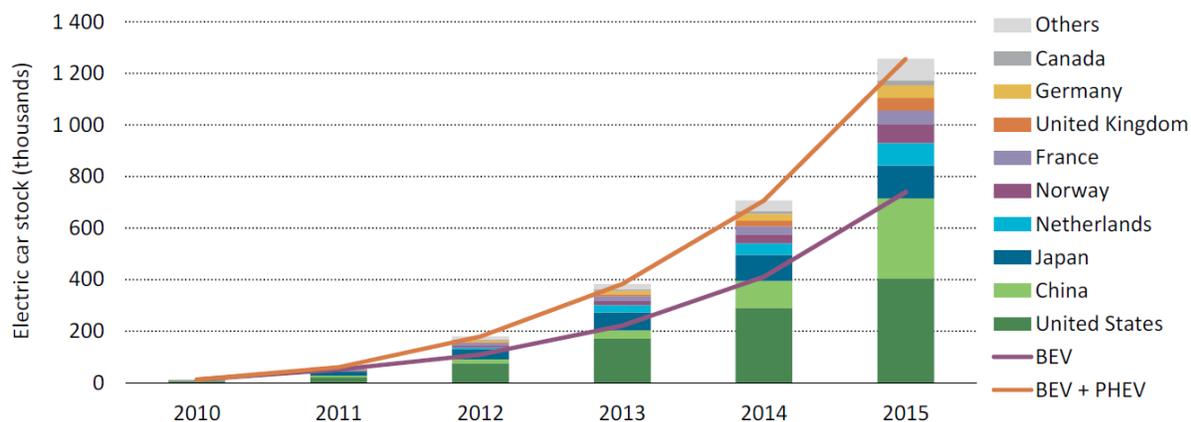
<sup>3</sup> Основной объем производства данного типа электромобилей приходится на одну компанию – Toyota, и наиболее распространен данный тип электромобилей в Японии. (Источник: [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes\\_presentation-c\\_pilot\\_fevrier\\_2017\\_pour\\_diffusion.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes_presentation-c_pilot_fevrier_2017_pour_diffusion.pdf))

он представляет собой скорее апгрейд автомобиля с двигателем внутреннего сгорания (ДВС), нежели полноценный электромобиль<sup>4</sup>.

Наиболее перспективными типами электромобилей в настоящее время являются PHEV и BEV. В последние годы мировые продажи данных типов электромобилей демонстрируют быстрые темпы роста (в среднем + 50% в год на протяжении 2012-2016 гг.<sup>5</sup>). Основными рынками распространения данных типов электромобилей являются США и Китай. Китай, во многом за счет государственного стимулирования, очень мощно вырос в 2015 г. (Рисунок 1) и в 2016 г. также продемонстрировал опережающие темпы прироста: +21% по PHEV и +68% по BEV (по сравнению с +14% по PHEV и +15% по BEV по остальному миру<sup>6</sup>).

В настоящее время в мире в целом более распространены полностью электрические автомобили (BEV), однако в разных странах структура парка автомобилей различается и в некоторых (Нидерланды, Швеция, Великобритания) доминируют PHEV. Выбор между BEV и PHEV зависит не только от сочетания технических характеристик (дальность пробега на одной зарядке, уровень выбросов CO<sub>2</sub>, уровень шума) и цены, но и от государственных программ субсидирования, а также уровня развития сети электрозаправок в различных странах.

Рисунок 1 – Динамика количества электромобилей (PHEV и BEV) по странам (тыс. шт.)



Источник: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf)

<sup>4</sup> Аккумуляторные батареи и электросиловая установка в HEV играют второстепенные функции и нацелены на повышение энергоэффективности. Данный тип электромобилей не учитывается ИЕА при расчете общего автопарка электромобилей в мире.

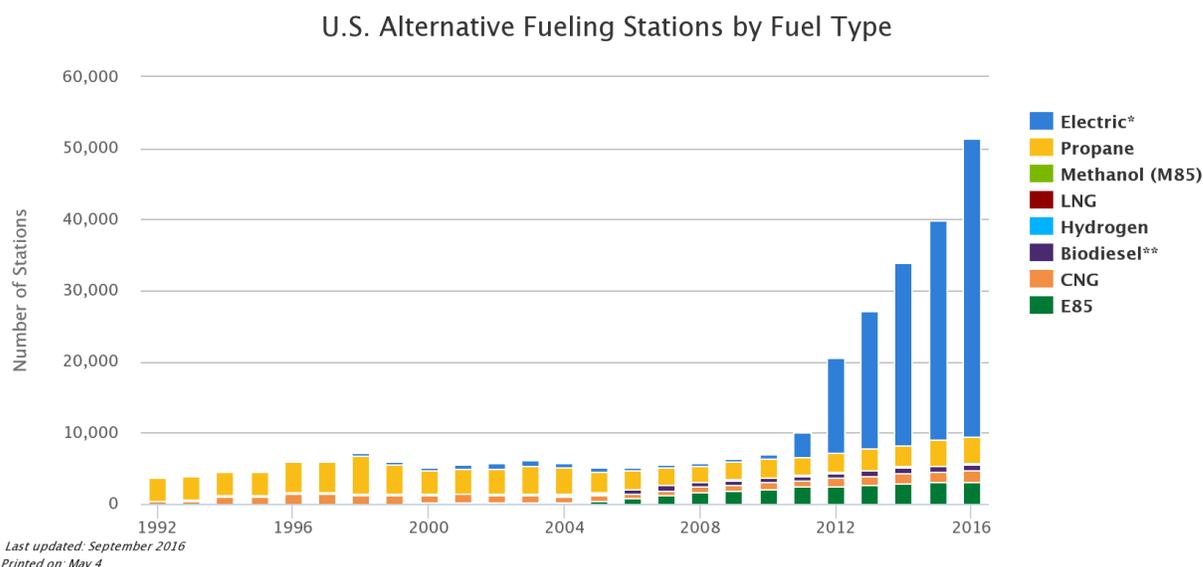
<sup>5</sup> [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes\\_presentation-c\\_pillot\\_fevrier\\_2017\\_pour\\_diffusion.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes_presentation-c_pillot_fevrier_2017_pour_diffusion.pdf)

<sup>6</sup> [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes\\_presentation-c\\_pillot\\_fevrier\\_2017\\_pour\\_diffusion.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes_presentation-c_pillot_fevrier_2017_pour_diffusion.pdf)

Электромобили, работающие на топливных элементах, FCEV, пока остаются в основном экзотикой, однако имеют определенные перспективы технологического развития. Так, в 2017 г. на рынке США было представлено всего 3 модели FCEV (Toyota, Honda, Hyundai), в то время как BEV представлена примерно 25-ю моделями, PHEV – более чем 20-ю, а HEV – примерно 40-ка моделями<sup>7</sup>. Аналогично и с объемами продаж: если объемы продаж BEV и PHEV уже в 2015 г. составляли уже более 200 тыс. ед. и 300 тыс. ед. соответственно, то объем мировых продаж FCEV оценивался лишь примерно в 1 тыс. ед. с прогнозом роста до чуть более 70 тыс. ед. к 2027 г.<sup>8</sup>

Соответственно, наблюдается и существенное отставание FCEV в развитии сети заправочных станций. В США с 2011 г. наблюдается быстрый рост количества электростанций (около 40 тыс. на 2016 г.) (Рисунок 2), в то время как количество станций заправки водородом исчисляется десятками единиц. Ситуация с водородными заправочными станциями в ЕС и Японии схожа с американской<sup>9</sup>.

Рисунок 2 - Динамика количества заправочных станций по типам альтернативного топлива



Источник: <http://www.afdc.energy.gov/data/10332>

Далее в рамках обзора рассматриваются электромобили, относящиеся к типам PHEV и BEV. Анализ перспектив развития топливных элементов представлен в Приложении 1.

<sup>7</sup> <http://www.afdc.energy.gov/uploads/publication/model-year-2017-vehicles.pdf>

<sup>8</sup> <http://news.ihsmarket.com/press-release/automotive/global-hydrogen-fuel-cell-electric-vehicle-market-buoyed-oems-will-launch-1>

<sup>9</sup> <http://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/why-the-automotive-future-will-be-dominated-by-fuel-cells>

## 2. Аккумуляторные батареи для электромобилей

Одним из ключевых элементов, определяющих перспективы развития электромобилей, являются аккумуляторные батареи. Именно от аккумуляторных батарей в наибольшей степени зависит, с одной стороны, потенциальная дальность передвижения электромобилей на одной зарядке, с другой стороны – разница в цене с традиционными автомобилями с ДВС. Наиболее распространенным типом батарей для PHEV и BEV в настоящее время являются литий-ионные батареи<sup>10</sup>.

В настоящее время максимальная дальность передвижения электромобилей на одной зарядке может достигать порядка 500 км. В то же время увеличение дальности передвижения электромобилей достигалось во многом за счет увеличения количества и емкости батарей, установленных на электромобилях. Так, автомобили Tesla, обладающие наибольшим запасом хода (334-508 км.), оснащены батареями совокупной энергоемкостью в 60-100 кВт-ч, в то время как электромобили других компаний, ориентированные на запас хода на одной зарядке в 100-200 км., оснащены батареями совокупной энергоемкостью в 20-40 кВт-ч. (Таблица 1).

Таблица 1 – Характеристики аккумуляторных батарей различных электромобилей

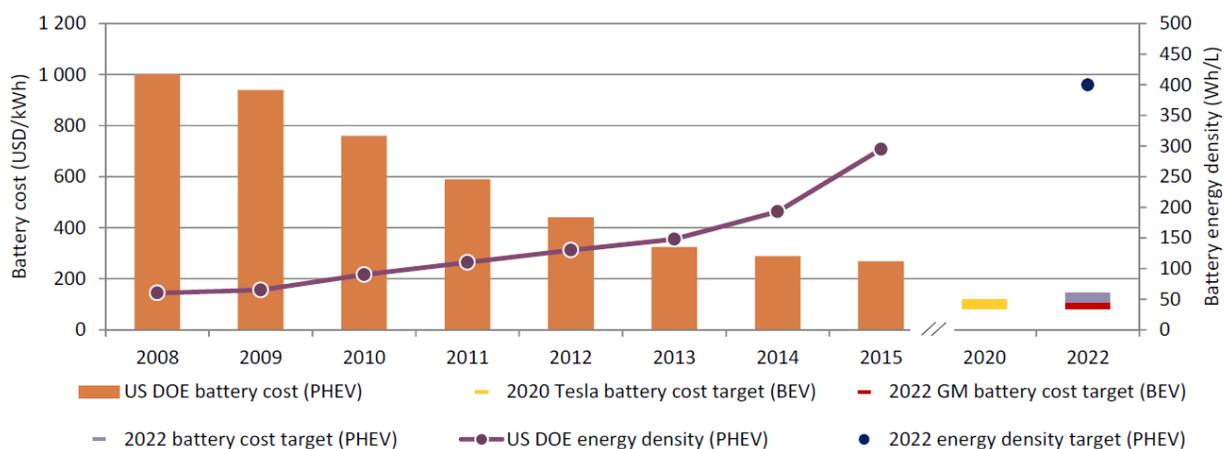
Manufacturer	Model	Battery size (kWh)	Battery Chemistry	Battery Supplier	Vehicle range (mi)	Vehicle range (km)
Tesla	S	60–100	C/NCA	Panasonic/Tesla	208–315	334–508
Tesla	X	60–100	C/NCA	Panasonic/Tesla	208–315	334–508
BMW	i3	22,33	C/NMC	Samsung/Bosch	80,114	129,183
Nissan	Leaf	24,30	C/LMO (C/NMC)	AESC and LG Chem <sup>†</sup>	84,107	135,172
Volkswagen	e-Golf	24,35.8	C/NMC	Panasonic (Sanyo Div.)	83,124	135,200
Chevrolet	Spark	19	C/LFP	A123	82	132
Fiat	500e	24	C/NMC	Samsung/Bosch	87	140
Kia	Soul EV	27	C/NMC	SK Innovation	90	145
Smart	Fortwo EV	17.6	C/NMC	LG Chem	68	109
Ford	Focus EV	35.5	C/NMC	LG Chem	100	160
Mercedes	B-Class Electric	28	C/NCA, (C/NMC)	Panasonic/Tesla and SK Innovation <sup>†</sup>	85	137
Mitsubishi	I	16	LTO/LMO	Toshiba	62	100
Honda*	Fit EV	20	LTO/LMO	Toshiba	82	132
Toyota*	RAV4 EV	41.8	C/NCA?	Panasonic/Tesla	113	182

Источник: <http://jes.ecsdl.org/content/164/1/A5019.full#ref-22>

<sup>10</sup> [https://energy.gov/sites/prod/files/2014/09/f18/battery\\_rd\\_amr\\_plenary\\_june\\_2014\\_final.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2014/09/f18/battery_rd_amr_plenary_june_2014_final.pdf)

Несмотря на то, что дальность поездок на одной зарядке в передовых моделях электромобилей уже вполне способна удовлетворить потребности потребителей, обратной стороной увеличения дальности передвижения становится рост совокупной стоимости установленных батарей и, соответственно, электромобиля в целом. Цена на батареи для электромобилей за последние годы снизилась почти в 5 раз (с 1000\$ за кВт-ч в 2008 г. до чуть более 200\$ за кВт-ч в 2015 г.) (Рисунок 3). Однако, за счет большой емкости батарей, которые устанавливаются на передовых электромобилях, их цена примерно на 13000\$ выше стоимости традиционных автомобилей, что продолжает тормозить развитие рынка электромобилей в целом<sup>11</sup>.

Рисунок 3 - Эволюция энергоемкости и стоимости батарей для электромобилей



Источник:

[https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global\\_EV\\_Outlook\\_2016.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Global_EV_Outlook_2016.pdf)

Крупнейшие игроки на данном рынке, ведущие аналитические агентства и ведомства (Tesla<sup>12</sup>, McKinsey<sup>13</sup>, Министерство энергетики США<sup>14</sup>) ожидают дальнейшего снижения стоимости батареи – еще примерно на 50% на горизонте в 5-7 лет.

<sup>11</sup> McKinsey&Company (2017) Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability

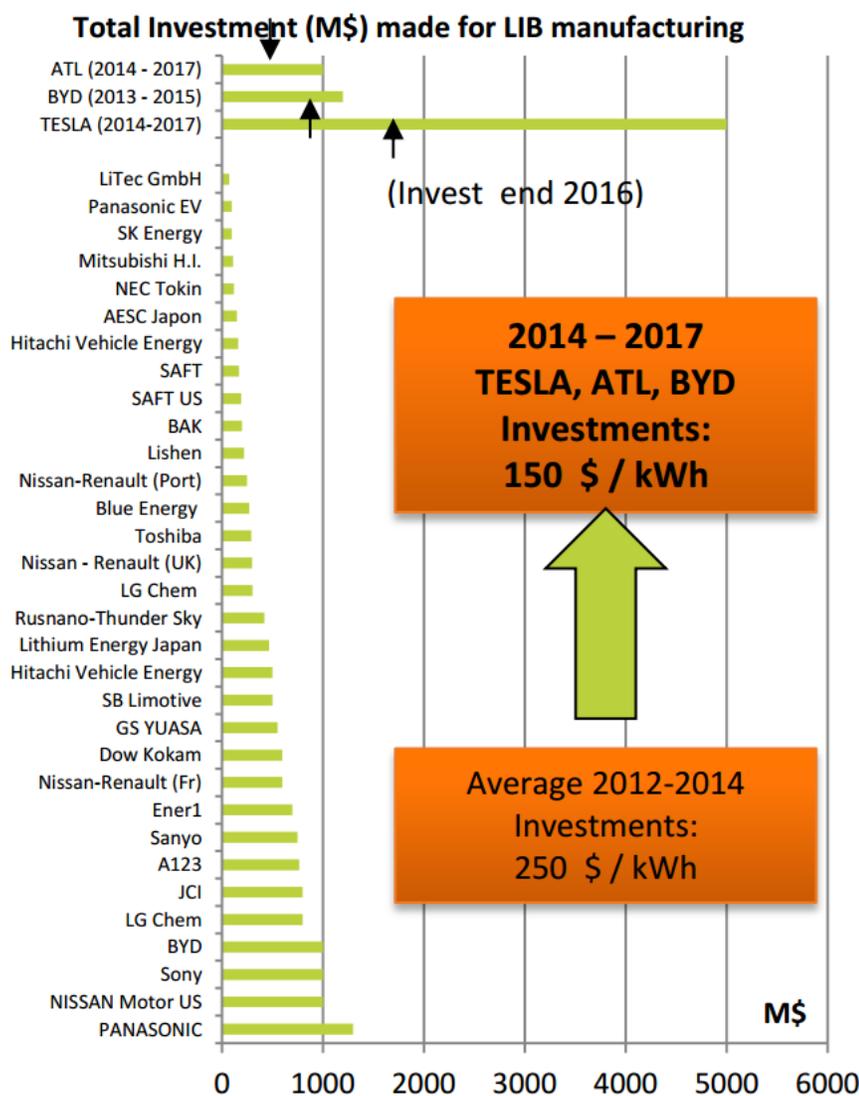
<sup>12</sup> <http://www.hybridcars.com/tesla-projects-battery-costs-could-drop-to-100kwh-by-2020/>

<sup>13</sup> McKinsey&Company (2017) Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability

<sup>14</sup> [https://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/es000\\_howell\\_2016\\_o\\_web.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/es000_howell_2016_o_web.pdf)

Косвенным подтверждением того, что в среднесрочном периоде наиболее перспективными типами батарей для электромобилей остаются литий-ионные батареи, является тот факт, что компания Tesla совместно с Panasonic инвестировали около 5 миллиардов долларов в создание так называемой Gigafactory по производству литий-ионных батарей в расчете на снижение стоимости батарей до 150\$ за кВт-ч. за счет эффекта масштаба. С учетом того, что данные инвестиции являются крупнейшими в отрасли за последние годы (Рисунок 4), можно предположить, что руководство Tesla не видит в среднесрочной перспективе реальной альтернативы литий-ионным батареям.

Рисунок 4 - Инвестиции в производство литий-ионных батарей по компаниям (млн. долл.)



Источник: [http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes\\_presentation-c\\_pillot\\_fevrier\\_2017\\_pour\\_diffusion.pdf](http://www.mineralinfo.fr/sites/default/files/upload/comes_presentation-c_pillot_fevrier_2017_pour_diffusion.pdf)

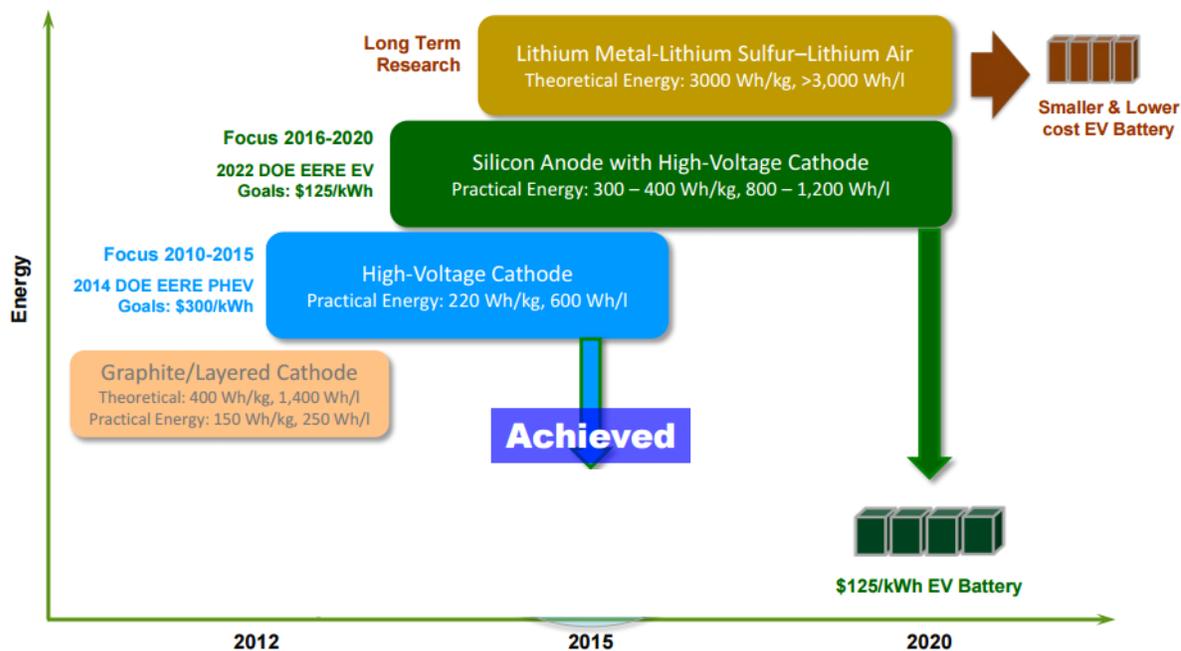
Направления технологического развития аккумуляторных батарей для электромобилей в среднесрочном периоде (2016-2020 гг.) связаны с усовершенствованием литий-ионных батарей, что, как ожидается, позволит повысить плотность энергии до 800-1200 Вт/л (в 2015 г. – 600 Вт/л) и выйти на уровень цены в 125\$ за кВт-ч. к 2022 г. (Рисунок 5).

В долгосрочной перспективе дальнейшее технологическое развитие батарей для электромобилей, по-видимому, будет связано с новыми типами батарей (Рисунок 5):

- литий-металлические;
- литий-серные;
- литий-воздушные.

Согласно ожиданиям Министерства энергетики США, теоретически достижимая плотность энергии новых типов батарей составляет свыше 3000 Вт/л, что позволит производить батареи существенно меньших размеров и производить их по значительно более низким ценам (Рисунок 5).

Рисунок 5 - Дорожная карта развития технологий передовых батарей Министерства энергетики США



Источник: [https://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/es000\\_howell\\_2016\\_o\\_web.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2016/06/f32/es000_howell_2016_o_web.pdf)

### **3. Инфраструктура для электромобилей**

Низкий уровень развития инфраструктуры (в первую очередь – зарядных станций) является одним из ключевых факторов, сдерживающих развитие электромобилей.

McKinsey оценивало общее количество частных и общественных зарядных станций в мире в 2016 г. примерно в 2 млн. с прогнозом роста до 12 млн. к 2020 г.<sup>15</sup> По оценкам Международной организации возобновляемой энергетики (IRENA) в 2015 г. в странах с наиболее развитым рынком электромобилей имелось около 1,5 млн. зарядных станций, причем около 1,3 млн. – частные станции, по-видимому, владельцев электромобилей (приблизительно совпадает с общим количеством электромобилей в этих странах на 2015 г.) (Рисунок 6).

Одной из ключевых характеристик зарядных станций для электромобилей является время подзарядки электромобилей, которое может достигать 8 ч. для «медленных» зарядных станций и от 30 мин. для «быстрых»<sup>16</sup>. В структуре общественных зарядных станций в 2015 г. около 85% приходилось на «медленные» зарядные станции, и лишь только 15% - на «быстрые». При этом почти половина мировых «быстрых» общественных зарядных станций размещалась в Китае (благодаря стимулированию со стороны китайского правительства). (Рисунок 6).

Одним из ключевых игроков по развитию сети «быстрых» зарядных станций для электромобилей является компания Tesla. Ее проект Supercharger позиционируется как самая быстрая электрозаправочная станция в мире. Зарядка, длящаяся 30 мин., позволяет обеспечить заряд хода электромобиля в 170 миль (более 270 км.), а полная зарядка электромобиля с емкостью батарей в 90 кВт-ч составляет 75 мин.<sup>17</sup>

Несмотря на прогресс в технологиях зарядки электромобилей в ближайшие годы будет, по-видимому, занимать существенно больше времени, чем заправка традиционных автомобилей бензином. Возможным решением этой проблемы выступает изменение бизнес-модели по зарядке электромобилей по сравнению с бизнес-моделью традиционной автозаправочных станций.

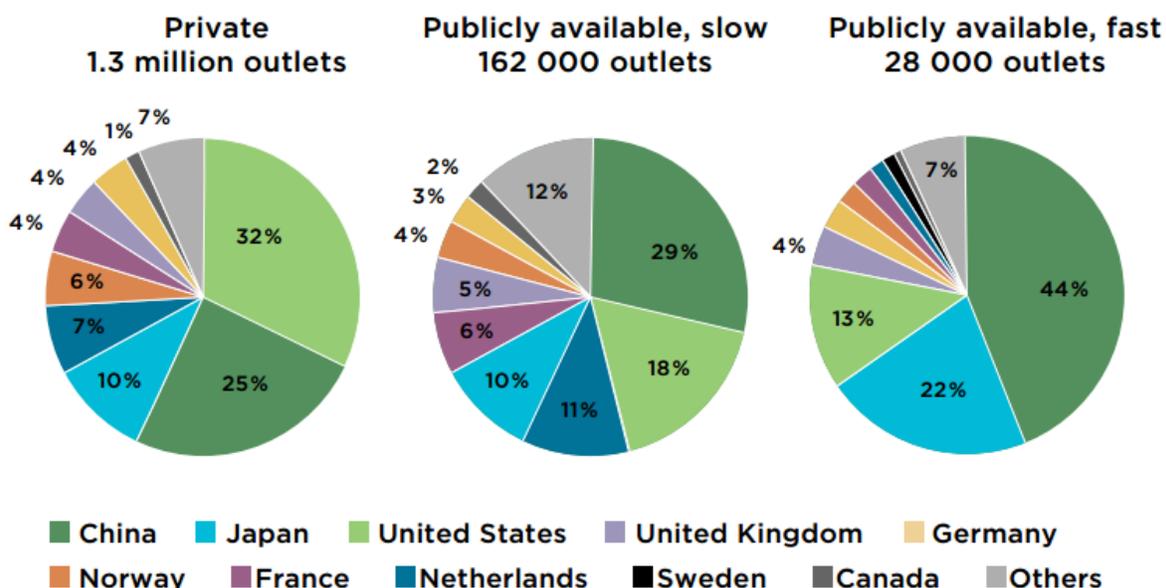
---

<sup>15</sup> McKinsey&Company (2017) Electrifying insights: How automakers can drive electrified vehicle sales and profitability

<sup>16</sup> <http://file.vogel.com.cn/2016/1207/1734576061.pdf>

<sup>17</sup> <https://www.tesla.com/supercharger>

Рисунок 6 - Количество зарядных станций для электромобилей в 2015 г.



Источник: [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Electric\\_Vehicles\\_2017.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Electric_Vehicles_2017.pdf)

В США, например, Министерство энергетики продвигает программу развития зарядных станций для автомобилей на парковках работодателей (Workplace charging)<sup>18</sup>. Это связано с тем, что большую часть времени среднестатистический электромобиль проводит или рядом с домом, или рядом с рабочим местом.

Другой возможной бизнес-моделью является не зарядка батарей на станции, а их замена на уже полностью заряженные батареи. В частности, в рамках подобной бизнес-модели пробовал работать стартап Better Place, а также такой вариант развития электрозаправочных станций прорабатывала Tesla. Однако Tesla в итоге отказалась от данной бизнес-модели в пользу проекта Supercharger<sup>19</sup>. Эксперты, анализировавшие бизнес Better Place отмечали недостатки данной модели, связанные с необходимостью больших инвестиций (дорогие и тяжелые аккумуляторные батареи, требующие специального оборудования для замены)<sup>20</sup>.

<sup>18</sup> <https://energy.gov/eere/vehicles/workplace-charging>

<sup>19</sup> <http://www.roadandtrack.com/new-cars/car-technology/news/a25872/elon-musk-tesla-battery-swap/>

<sup>20</sup> <https://www.quora.com/Why-are-electric-cars-not-equipped-with-easily-removable-batteries>

## **Приложение 1 - Топливные элементы**

Топливные элементы преобразуют химическую энергию топлива в электрическую энергию. Их принцип работы схож с аккумуляторными батареями, однако электроэнергия производится непосредственно в них в результате химических реакций, а не пополняется извне как в случае с аккумуляторными батареями.

Водород является основным топливом, используемым для топливных элементов. Несмотря на то, что возможно также использование других видов топлива, например, метанола, в большинстве практических применений (в частности во всех доступных моделях электромобилей на топливных элементах) используются водородные топливные элементы.

Интерес к водородным топливным элементам объясняется их потенциально более перспективными характеристиками относительно аккумуляторных батарей, однако их развитие сдерживается высокой стоимостью подобных систем и вопросами безопасности (Таблица 2).

Таблица 2 - Ключевые преимущества и недостатки электромобилей на водородных топливных элементах относительно электромобилей на аккумуляторных батареях

<b>Преимущества</b>	<b>Недостатки</b>
существенно более высокая энергоемкость водорода и, как следствие, большой запас хода	более высокая стоимость систем на топливных элементах
скорость заправки водородных топливных элементов сопоставима со скоростью заправки традиционных автомобилей с ДВС бензином или дизелем	повышенные требования к безопасности транспортировки и хранения водорода

Источник: составлено авторами.

Несмотря на то, что электромобили на топливных элементах пока существенно проигрывают по распространенности электромобилям на аккумуляторных батареях, представляется, что водородные топливные элементы могут стать реальной альтернативой аккумуляторным батареям на отдельных сегментах транспортного рынка, таких как

большегрузный транспорт, поезда, корабли, беспилотники и др.<sup>21</sup>, для которых соотношение цена/требуемые/требуемые характеристики (в частности – по весу, размерам), будет складываться в пользу топливных элементов.

В настоящее время использование водородных топливных элементов в основном связано со стационарными приложениями и лишь в незначительной степени – с транспортными. Наибольшее развитие водородная энергетика получила в азиатском регионе<sup>22</sup>. В то же время исследования по данной тематике активно развиваются также и в США, и в Европе.

Так, в США развивается программа Министерства энергетики «Hydrogen and Fuel Cells Program», которая ориентирована на развитие технологий топливных элементов с полимерной мембраной (PEM Fuel Cells)<sup>23</sup>. В ЕС идет целая серия исследований в области водородной энергетике в рамках Совместной технологической инициативы в области топливных элементов и водорода<sup>24</sup>

---

<sup>21</sup> [https://energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/fcto\\_2015\\_market\\_report.pdf](https://energy.gov/sites/prod/files/2016/10/f33/fcto_2015_market_report.pdf)

<sup>22</sup> [http://ballard.com/files/PDF/Media/4th\\_Energy\\_Wave\\_2016\\_FC\\_and\\_Hydrogen\\_Annual.pdf](http://ballard.com/files/PDF/Media/4th_Energy_Wave_2016_FC_and_Hydrogen_Annual.pdf)

<sup>23</sup> [https://www.hydrogen.energy.gov/fuel\\_cells.html](https://www.hydrogen.energy.gov/fuel_cells.html)

<sup>24</sup> <http://www.fch.europa.eu/fchju-projects>