

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТА	21
1.1. Роль электротранспорта в экономике России.....	21
1.2. Перспективы развития электромобилей и их классификация	23
1.3. Требования, предъявляемые к электрическому оборудованию подвижных транспортных средств	37
1.4. Общие понятия, классификация систем тягового электропривода электрифицированных подвижных транспортных средств	38
Глава 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ.....	103
2.1. Требования к системам тягового электропривода гибридного электрического транспортного средства.....	103
2.2. Особенности проектирования систем тяговых электроприводов транспортных средств.....	115
2.3. Сравнительный анализ тяговых характеристик различных типов электродвигателей	117
2.3.1. Типы электрических тяговых двигателей	117
2.3.2. Асинхронный тяговый электропривод.....	118
2.4. Развитие систем тягового электропривода электромобилей	120
2.5. Анализ энергетических режимов тяговых систем электромобилей	122
2.6. Статическая и динамическая оптимизация систем тягового электропривода электромобилей	127
2.7. Эксплуатационные характеристики систем тягового электропривода электромобилей	132
Глава 3. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ ПИТАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ.....	134
3.1. Этапы развития полупроводниковых элементов	134

3.2. Основные полупроводниковые элементы, применяемые в тяговых преобразователях	135
3.3. Система управления электрифицированного подвижного транспортного средства	148
3.4. Общие сведения о микропроцессорных системах	154
3.5. Математическое описание механической части тяговых агрегатов.....	162
Глава 4. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ТЯГОВОЙ БАТАРЕИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	165
4.1. Характеристики свинцово-кислотных и никель-кадмиевых батарей.....	166
4.2. Режимы заряда и разряда аккумуляторов	174
4.3. Конструкция тяговых аккумуляторных батарей	184
4.3.1. Конструктивное исполнение модулей.....	184
4.3.2. Цилиндрическое исполнение модуля	185
4.3.3. Производство призматических аккумуляторов	186
4.3.4. Электронное соединение модулей	187
4.4. Применение перспективных технологий в источниках тока	191
4.4.1. Процессы на положительном электроде Li-ion-аккумулятора	192
4.4.2. Отрицательные электроды. Углеродные материалы.....	193
4.4.3. Обратимые процессы на углеродных материалах.....	193
4.5. Сравнительные характеристики электрохимических систем литий-ионных батарей	195
4.6. Топливные элементы (ТЭ).....	197
4.6.1. Конструктивное исполнение ТЭ	197
4.6.2. Основные характеристики тяговых ТЭ	202
4.6.3. Перспективы использования ТЭ в электромобилях.....	205
4.7. Солнечные батареи.....	208
4.7.1. Принцип действия	208
4.7.2. Соединение солнечных ячеек.....	209
4.7.3. Электрические характеристики солнечной батареи: вольт-амперная характеристика	209

4.7.4. Особенности конструкции	210
4.7.5. Арсенид-галлиевые солнечные батареи	212
4.7.6. Многослойные арсенид-галлиевые элементы	213
4.7.7. Солнечные батареи из аморфного кремния	214
4.7.8. Особенности тонкопленочных солнечных батарей	217
4.7.9. Микроморфные солнечные модули	217
4.7.10. Микроморфная технология	219
4.8. Зарядные станции для электромобилей	221
4.8.1. Технологические аспекты зарядной инфраструктуры для электромобилей	221
4.8.2. Способы заряда электромобилей	222
4.8.3. Описание типов зарядки	226
Глава 5. ТЕЛЕМАТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ	236
5.1. Датчики, сенсорные устройства	236
5.2. Датчики и аппаратура для сбора и обработки информации	288
5.3. Система обработки информации	304
Глава 6. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ НА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТЬ	307
6.1. Критерий и показатели эффективности транспортных средств	307
6.2. Расчет производительности электромобилей	312
6.3. Методика определения себестоимости перевозок	321
6.4. Выбор и оптимизация конструктивных параметров по критерию минимума приведенных затрат	326
Глава 7. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ	328
7.1. Теоретические исследования области эффективного использования электромобилей	328
7.2. Системный анализ области эффективного использования аккумуляторных электромобилей	341
7.3. Влияние конструктивных параметров и технико- экономических показателей на эффективность электромобилей	344

Глава 8. УЧЕТ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ	347
8.1. Анализ социально-экологических факторов и их влияния на развитие транспортных средств	347
8.2. Методические подходы к оценке ущерба, наносимого токсичными выбросами автомобильного транспорта	353
8.3. Оценка области эффективного использования электромобилей с учетом экологической составляющей	357
8.4. Перспективы развития электромобилей	358
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	361
Список литературы	362

ВВЕДЕНИЕ

Электротранспорт, до последнего времени по большей части не имеющий запаса энергии на борту, стоит на пороге глобальных перемен, связанных с внедрением автономной электрической тяги. Причем речь идет не только о легковом автомобильном транспорте — накопитель энергии в совокупности с электроприводом позволяет добиться многих преимуществ и на общественном транспорте, и на железных дорогах.

Наличие системы автономного хода за счет энергии аккумуляторных батарей в последние годы стало обязательным требованием при проведении закупок новых троллейбусов. Литий-ионные батареи внедряются в качестве части гибридной силовой установки на железнодорожном транспорте, в российских городах готовится внедрение трамвайных вагонов на аккумуляторном ходу.

Появление значительного парка транспортных средств, несущих на борту аккумуляторную батарею, в обозримой перспективе приведет к тому, что развитие транспорта станет тесно связано с развитием электрических сетей. При этом электротранспорт будет становиться не только всё более крупным потребителем электроэнергии — при определенном масштабе внедрения станет возможным также использование бортовых накопителей электроэнергии транспорта в качестве средства регулирования электрических сетей. В англоязычной литературе эта концепция получила название «vehicle-to-grid». Неудивительно, что эксперименты по подобному использованию электрического транспорта уже сейчас проводятся в странах с высокой долей возобновляемых источников энергии в энергобалансе — ведь такие источники энергии имеют нестабильный характер выработки энергии.

Определенную роль электротранспорт может сыграть и с точки зрения снижения антропогенных выбросов углекислого газа в атмосферу. Для оценки возможного влияния электротранспорта следует сравнить его интегральную энергоэффективность с эффективностью автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, так называемую величину well-to-wheel. Она показывает, сколько необходимо потратить углеводородного топлива для совершения автомобилем 1 км пробега, причем учитываются все энергозатраты цепочки, включая добычу нефти из скважины, её переработку и производство бензина, его доставку до АЗС и сжигание в двигателе. Аналогичную цепочку строят для электромобиля, с той разницей, что на определенном этапе от углеводородного топлива осуществляется переход на транспортировку, хранение и использование электроэнергии.

Очевидно, что «углеродная» эффективность электромобиля при подобном сравнении будет зависеть от доли неуглеродных источников электроэнергии в энергобалансе рассматриваемого государства — ГЭС, АЭС, солнечных и ветряных электростанций. Часть потребляемой для движения электромобиля энергии будет потребляться от неуглеродных источников электроэнергии, и чем больше будет их доля в энергобалансе, тем меньшее количество углекислого газа будет поступать в атмосферу в расчете на 1 км пробега электромобиля.

В настоящее время автомобили с электроприводом, или электромобиля, обладают рядом достоинств:

- практически не загрязняют атмосферу. Количество ядовитых газов, выделяющихся при зарядке и разрядке аккумуляторных батарей, ничтожно мало по сравнению с количеством вредных веществ в ОГ ДВС;
- имеют простую конструкцию; оптимальную характеристику начала движения и разгона электромотора (ЭМ), вращающего колеса, так как большие и постоянные

значения частоты вращения n и крутящего момента $M_{кр}$ в необходимом диапазоне обеспечивают силу тяги;

- просты в управлении;
- не требуют тщательного ухода и осмотра при эксплуатации, так как отсутствуют системы жидкостного или газового питания, смазки;
- имеют значительно меньшее количество регулировок и более простую систему охлаждения.

Поскольку электромобиль питается от аккумуляторных батарей и передвигается с помощью одного или нескольких ЭМ, он не свободен и от недостатков:

- сложность в утилизации из отработавших свой срок АКБ;
- малая емкость серийно выпускаемых аккумуляторных батарей и их большая масса.

Автомобильные фирмы решают перечисленные проблемы по-разному.

Наибольших успехов в создании электромобилей достигли автомобильные фирмы Японии. Так, образец автомобиля Mitsubishi FTO-EV установил мировой рекорд скорости, пройдя за 24 ч 899 кругов трассы общей длиной 2142,3 км. На электромобиле были установлены литий-ионные аккумуляторные батареи (ЛИАБ), способные накапливать 27 кВт·ч энергии и выдерживать зарядный ток до 240 А, что позволило сократить на 65 % время подзарядки. Такие батареи занимают вдвое меньший объем и обладают емкостью в 1,5 раза большей, чем у САКБ.

У образца электромобилей Nissan Efiis источниками питания оригинальной силовой установки служили плоские ЛИАБ, расположенные на полу кузова в виде ковриков и приводящие во вращение два супермотора, установленных по одному на переднем и заднем мостах и встроенных в их дифференциалы. Каждый супермотор представляет как бы два ЭМ в одном корпусе. Если в обычном ЭМ вокруг неподвижной магнитной обмотки статора вращается один ротор, то в рассматриваемой конструкции имеются два ротора — наружный и внутренний, которые вращаются вокруг статора, причем каждый из них связан с соответствующей полуосью. Это позволило создать компактный ЭМ, способный с помощью ЭБУ независимо приводить в движение левые и правые колеса на обеих осях. Компьютерное управление колесами значительно повышает динамическую стабилизацию и проходимость автомобиля.

На фирме Toyota создали оригинальное персональное средство передвижения — модель Toyota PM. Тяговые ЭМ, вращающие задние ведущие колеса ЛИАБ и механизм подъема-опускания кабины-капсулы, размещены за кабиной на раме тележки и закрыты кожухом-обтекателем.

Чтобы открыть автомобиль, нужно дотронуться до фары, после чего расположенная впереди дверь с большим полусферическим стеклом поднимается вверх и фиксируется упорами. В этот момент капсула займет одно из трех фиксированных положений, а именно «вход-выход» (под углом примерно 60° к полу), при этом сиденье опускается и выдвигается вперед. База автомобиля в этом положении самая короткая, равная 1100 мм, так как передние и задние колеса почти прижаты друг к другу. Длина автомобиля 1750 мм, высота 1855 мм. В таком положении автомобиль может развернуться практически на месте. Электромоторы, встроенные в задние колеса, будут вращать их в разные стороны, а каждое из передних (без классических ступиц) колес повернется на требуемый угол (вплоть до 90°) по команде ЭБУ.



Рис. 1. Возможные положения кузова электромобиля Toyota PM

*a — входе и выходе людей; б — движении по шоссе; в — движении по городу;
г — движении с малой скоростью*

В рулевом механизме применен ряд новинок. Прежде всего он как бы прирастает к человеку и поэтому цвет полупрозрачных наружных панелей кузова и даже ступиц задних колес может меняться в зависимости от настроения водителя. Это обеспечивают 2500 светодиодов, а настройки фиксируют датчики давления, пульса и влагоотделения, встроенные в органы управления. Светящиеся панели выполняют также функции габаритных огней и сигналов света «стоп». Электромобиль, кроме того, укомплектован системами Parktronic и спутниковой GPS.

Этой же фирмой разработан экспериментальный спорткар Toyota Triailon — полноприводный автомобиль, в каждое колесо которого встроен тяговый ЭМ (рисунок 2). Для повышения проходимости автомобиль может приподниматься на рычагах подвески. Шины-слики, в обычном состоянии работающие без протектора, при повышении давления «выпучивают» внедорожный протектор для улучшения проходимости.

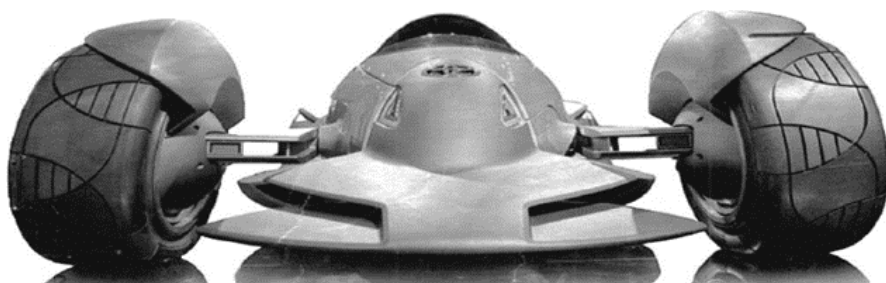


Рис. 2. Спортивный электромобиль Toyota Triailon

В Японии разработан еще один оригинальный экспериментальный образец. Принципиально он может быть выполнен в двух вариантах — с ЭМ на осях или в колесах (мотор-колесо). Это может быть также и водородоэлектромобиль. Необычный кузов автомобиля имеет круглую форму или выполнен в виде цилиндра или полусферы (рисунок 3). При необходимости изменения движения в противоположную сторону водитель нажимает кнопку на пульте, и кузов разворачивается на 180 градусов. Все управление осуществляется по проводам. Мест в салоне три, дверь одна — центральная распашная. Поэтому входить и выходить можно в любой момент независимо от поворота кузова.



Рис. 3. Электромобиль с кабиной, вращающейся на 180°

Представляют интерес велозлектромобили — одно- и двухместные, или электровелосипеды. В Швейцарии создан двухместный электромобиль TwikeIII для городских и загородных (и радиусе 60 км) поездок. Электропривод электромобиля с ЭБУ и рекуперацией энергии позволяет разогнаться до скорости 85 км/ч без подзарядки в пути длиной 90 км. В пробках и при движении от светофора к светофору целесообразнее отключить ЭМ и перейти на педали, для чего предусмотрена пятиступенчатая автоматическая КП. Зарядка батарей происходит от обычной электрической розетки. Энергии, полученной за 60 мин, достаточно для пробега 60 км.

Более перспективными считают никель-металлогидридные аккумуляторные батареи. К их достоинствам можно отнести в первую очередь увеличенный почти вдвое, по сравнению с САКБ пробег (примерно 250 км) до подзарядки батареи. Кроме того, достоинством является также быстрая подзарядка за 10 мин, когда можно зарядить батарею на 80 % ее емкости. Испытания показали, что никель-металлогидридные системы выдерживают более 80 тыс. циклов зарядки-разрядки, что сопоставимо с пробегом 160 тыс. км, которые питают ЭМ мощностью 50 кВт (87 л. с.). Такой мощности достаточно для разгона до скорости 100 км/ч за 18 с, а максимальную скорость пришлось ограничить величиной 125 км/ч.

В последние годы благодаря использованию нанотехнологий были созданы аккумуляторные батареи нового поколения. Таковой является батарея Batscap, разработанная во Франции компанией Bollard. Удельная емкость такого аккумулятора в 4 раза больше, чем у традиционных свинцово-кислотных. Они не требуют обслуживания и сохраняют работоспособность в течение 10 лет. Единственный недостаток таких батарей — необходимость нагрева до 90 °С. Именно при такой температуре полимерная пленка начинает вести себя как электролит. Аккумулятор при объеме 25 л и массе 25 кг имеет емкость 90 А·ч и напряжение 40 В. Без подзарядки батареи электромобиль проходит 200 км с приемлемыми динамическими характеристиками.

Одним из путей решения экологических проблем при использовании автомобильного транспорта является создание электромобилей с топливными элементами (ТЭ) в виде водорода и метанола. Преимущество таких автомобилей: никаких вредных выбросов, отсутствие шума и расхода ископаемых ресурсов. Недостаток в том, что в свободном виде водорода или метанола на Земле нет. Следовательно, их надо сначала получить, затратив для этого определенное количество энергии.

В водородных электромобилях (ВЭМ) используют в основном топливный элемент PEM (Proton Exchange Membrane) с протонообменной мембраной, схема

которого представлена на рисунке 4. Его реальный КПД достигает 60 %, мощность 250 кВт, рабочая температура 0–80 °С. В нем используют платиновый катализатор 2, а в качестве электролита вместо серной кислоты — полимерную мембрану, пропускающую лишь протоны. На аноде 1 молекула водорода распадается на четыре протона и четыре электрона. Протоны проходят на катод 4 через мембрану, а электроны попадают туда же через внешнюю электроцепь, совершая попутно полезную работу. На катоде, собравшись вместе, они соединяются с кислородом, образуя водяной пар. Одна ячейка дает напряжение чуть менее 1 В.

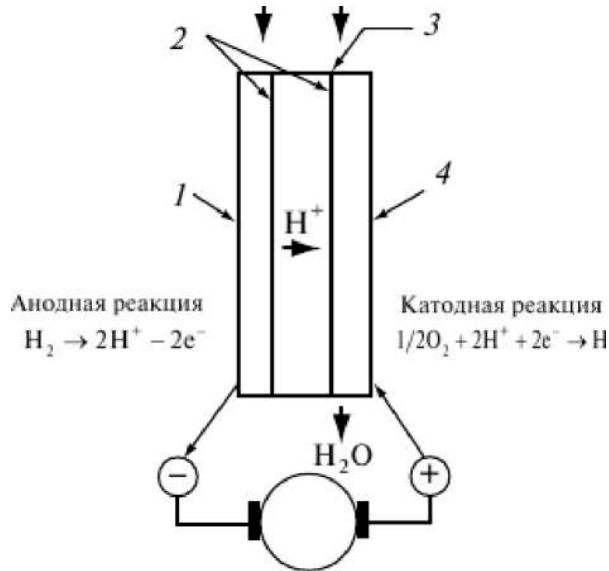


Рис. 4. Топливный элемент PEM

1 — анод, 2 — платиновый катализатор; 3 — полимерная мембрана; 4 — катод

ТЭ, созданный канадской фирмой Bullard, состоит из пакета полимерэлектролитных мембран, синтезирующих воду из водорода, который хранится в сжатом состоянии в специальных баллонах, и кислорода воздуха. При работе ТЭ нагревается до 95 °С и вырабатывает электроэнергию мощностью до 80 кВт.

Сдерживающим фактором применения ТЭ вначале был совершенно непригодный для автомобиля температурный диапазон работы — не ниже 0 °С. Только недавно был создан элемент, работающий при температуре –20 °С, что позволяет ВЭМ модели Opel выходить на режим полной мощности и зимний период за 30 с.

Одна из главных проблем водородных электромобилей — хранение запаса топлива в автомобиле. Ее можно решать, получая газ прямо на борту (из метана, бензина, метанола, метабората натрия и т. п.), но чтобы возить запас газа, его надо сжимать до десятков мегапаскалей либо охлаждать почти до абсолютного нуля, тогда водород становится жидкостью. Метанол можно заправлять в бак на обычной АЗС, но приходится использовать химический реактор, который устанавливают в багажнике, и он занимает много места. Криогенные установки более компактны. Появление баллонов «Гидроген-3», выдерживающих давление до 70 МПа, позволило довести пробег ВЭМ до 400 км и тем самым уравнивать его по возможностям с криогенным вариантом, где внутри бака-термоса температура равна –253 °С.

На модели Zafira жидкий водород помещен в бак-термос длиной около 1 м и диаметром 400 мм, он вмещает 75 л массой 5 кг. Удельный расход составляет 1,25 кг/100 км. Сохранить запас топлива помогает супертеплоизоляция, эквивалентная пенопласту толщиной 9 м. Баллон, изготовленный из коррозионностойкой стали, выдерживает перегрузки до 30g и размещен в самом безопасном месте — под задним рядом сидений. Топливные элементы в количестве 195 шт. объединены в единый блок размерами 590×270×500 мм и установлены под капотом рядом с тяговым электромотором. Блок ТЭ мощностью 80 кВт имеет низкую рабочую температуру 80 °С, возможность пуска при температуре –40 °С. Автомобиль с таким силовым приводом имеет массу 1575 кг (на 100 кг больше серийного образца), легко разгоняется до скорости 100 км/ч за 16 с и развивает максимальную скорость 140 км/ч.

Электрохимический генератор (вместо ДВС), батарея из ТЭ и увлажнитель воздуха установлены под полом автомобиля. Водородом, сжатым под давлением 35 МПа, заполнены два трехслойных баллона (из алюминия, углерода и стекловолокна) емкостью 68 и 88 л, которые обеспечивают запас хода автомобиля в 395 км.

В последние годы японские фирмы Toyota, Mitsubishi, Lexus и другие создали много образцов ВЭМ с пробегом до заправки 500 км. Принципиальное устройство таких автомобилей представляет собой следующее: четыре электромотора вращают колеса (мотор-колесо), делая автомобиль полноприводным; батареи ТЭ расположены внутри двойного днища кузова, а сжатый под давлением 70 МПа водород хранится в специальных сверхпрочных баллонах. Управление всеми системами осуществляется ЭБУ по проводам.

Для того чтобы оценить приемлемость и оптимальность самых различных вариантов решений, реализуемых при создании ВЭМ, фирмой General Motors было проведено исследование Wellto Wheel современного европейского автомобиля с параметрами:

- разгон до скорости 100 км/ч за 12 с, а до скорости 50 км/ч — за 4 с;
- разгон со скорости 80 км/ч до 120 км/ч на высшей передаче за 15 с;
- ускорение 4,5 м/с²;
- возможность 30 %-ного подъема;
- скорость 180 км/ч;
- путь без дозаправки 650 км.

Комбинированной силовой установкой (КСУ) называют агрегат, состоящий из ДВС, который может работать на бензине, дизтопливе, газе или их сочетании, и электромотора (моторов), дополнительно вращающих колеса автомобиля. Двигатель внутреннего сгорания и электромотор(ы) могут работать совместно или раздельно. В основном в автомобилях с КСУ начало движения осуществляет ЭМ, питающийся от блока тяговых аккумуляторных батарей, а ДВС подключается позже при движении со средними и высокими скоростями. Если ЭМ-генератор и ДВС установлены друг за другом, то реализована последовательная схема их подключения; если их размещение не связано друг с другом, то они могут работать независимо, при этом схема их подключения будет параллельной.

Как правило, в различных схемах КСУ (рис. 5) главную роль играет ДВС, но иногда он является вспомогательным агрегатом, лишь вращая ЭМ-генератор для подзарядки тягового блока аккумуляторных батарей или конденсаторов в режиме разгона автомобиля или при его движении с максимальной нагрузкой, например, при подъеме.

Блоки тяговых батарей состоят из набора никель-металлогидридных или литий-ионных аккумуляторов. Как уже отмечалось, иногда используют блок супер-

конденсаторов (емкостью 8 Ф), которые благодаря быстрой зарядке или подзарядке обеспечивают мощный разгон автомобиля. Комбинированные силовые установки с последовательной схемой подключения наиболее часто применяются в автомобилях. Как правило, ДВС и ЭМ связаны общим валом. Так, на модели Smart (концерн Daimler Chrysler) дизельный ДВС ($A_y = 30$ кВт (41 л. с.) при частоте вращения $\omega = 4200$ мин⁻¹; $M_{кр} = 100$ Н·м при $n = 1800$ мин⁻¹) работает с ЭМ. Электронный блок управления системы «старт-стоп» автоматически останавливает ДВС на остановках, а запускает его ЭМ при начале разгона, пока дизель не выйдет на требуемый режим. Во время переключения передач и выключения сцепления ЭМ обеспечивает постоянную ровную тягу; в пробках дизель не работает.

Электромотор в данной схеме служит лишь для пуска ДВС (он заменяет стартер) и для ускорения при разгонах. При этом ЭМ помогает увеличить на валу механической КП крутящий момент $M_{кр}$ более чем в 2 раза, до 1000 Н·м. При этом расход бензина по сравнению с серийной моделью на 15 % ниже. Батарея конденсаторов емкостью 8 Ф имеет более быструю зарядку — всего за одно рекуперативное торможение ДВС, когда ЭМ работает в режиме генератора. Помимо этого, у нее меньшая масса и больший срок службы по сравнению с аккумуляторной батареей.

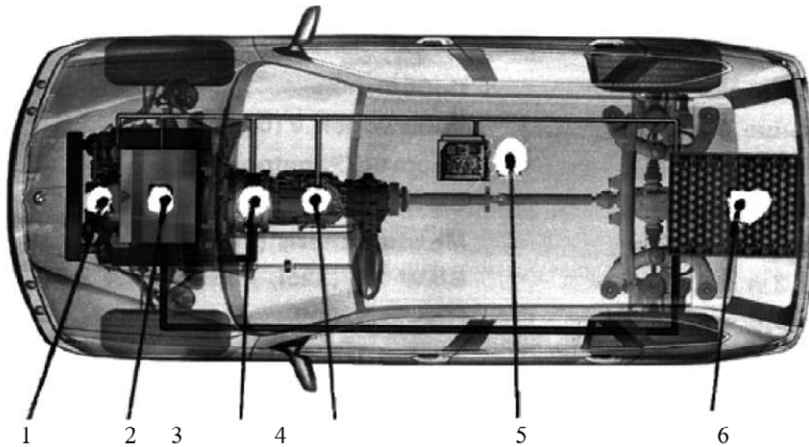


Рис. 5. Схема расположения агрегатов КСУ на автомобиле BMW X5

1 — ДВС; 2 — электропреобразователь; 3 — электромотор;
4 — механическая КП; 5 — ЭБУ; 6 — конденсаторная батарея емкостью 8 Ф

Модернизированная модель Toyota Prius II с КСУ имеет классическую компоновку. Под капотом поперек расположен бензиновый ДВС в блоке с генератором, ЭМ и трансмиссией, включающей планетарную и цепную передачи. Под полом багажника размещена никель-металлогидридная аккумуляторная батарея. Суммарная мощность силовой установки составляет 83 кВт (130 л. с.), а крутящий момент достигает 478 Н·м. Пятиместный автомобиль массой 1300 кг расходует бензина в среднем 5 л/100 км, время разгона до скорости 100 км/ч составляет 10,9 с. Эта установка имеет самый высокий КПД, равный 32 %. Более высокий КПД — 42 % — могут иметь только автомобили на топливных элементах. Подобно рассмотренным ранее, данная модель стартует только при действующем ЭМ, а в дальнейшем при разгоне к ним присоединяются ДВС и генератор, что изменяет $M_{кр}$ на передних ведущих колесах и поддерживает частоту вращения в необходимых пределах. На автомобиле установлен специальный переключатель, переводящий КСУ в электромобиль.

В качестве примера КСУ с параллельной схемой подключения можно привести модель Lexus RX40 Oh — полноприводный вседорожник премиум-класса. В ней использованы бензиновый ДВС V-образной формы с шестью цилиндрами и два электросиловых агрегата — передний, включающий в себя электромотор, генератор, планетарный редуктор и бесступенчатый вариатор, и задний. Передний силовой агрегат приводит в движение колеса передней оси, а задний — колеса задней оси. Такую систему назвали HSD — гибридный синергетический привод, что подразумевает не просто суммирование энергии, а возможность использования преимуществ каждого его источника для создания оптимального режима движения автомобиля.

При такой КСУ у ДВС отсутствуют навесные стартер и генератор, так как их заменяет мотор-генератор, и, следовательно, нет шкивов и приводного ремня. У двигателя внутреннего сгорания не отбирают мощность кондиционер и электроусилитель руля, так как они работают на электрическом токе. Управлять многочисленными потоками энергии, столь различными по силе тока, его напряжению и направлению, способен только ЭБУ. Электронный блок преобразует постоянный ток батареи и переменный для питания тяговых ЭМ, одновременно повышая напряжение с 288 до 650 В. Конвертор блока понижает напряжение постоянного тока с 288 до 12 В бортовой сети. Но главная задача ЭБУ — своевременно подключать, отключать, переключать, создавая каждому источнику и потребителю оптимальный режим работы. Электронная система VDIM — интегральное управление динамикой; объединив функции систем — антиблокировочной, противобуксовочной, стабилизации, распределения тормозных усилий, электроусилителя руля — управляет их взаимодействием друг с другом и с синергетическим приводом.

Сложность такой КСУ оправдана:

- высокими экологическими показателями. Выброс CO_2 в атмосферу в годовом исчислении на 2,6 т меньше, чем у бензинового аналога при испытании по смешанному европейскому циклу, а уровень выбросов окислов азота близок к нулю;
- значительной экономией топлива. Средний расход бензина по дорогам со сложным рельефом составляет 10,7 л/100 км. По экономичности вседорожник-гибрид Lexus (рис. 6) соответствует седану с меньшей массой и ДВС сравнимой мощности;
- плавностью работы, особенно при разгоне. Время разгона до скорости 100 км/ч составляет 7,6 с, т. е. на 4 с быстрее, чем у бензинового аналога.

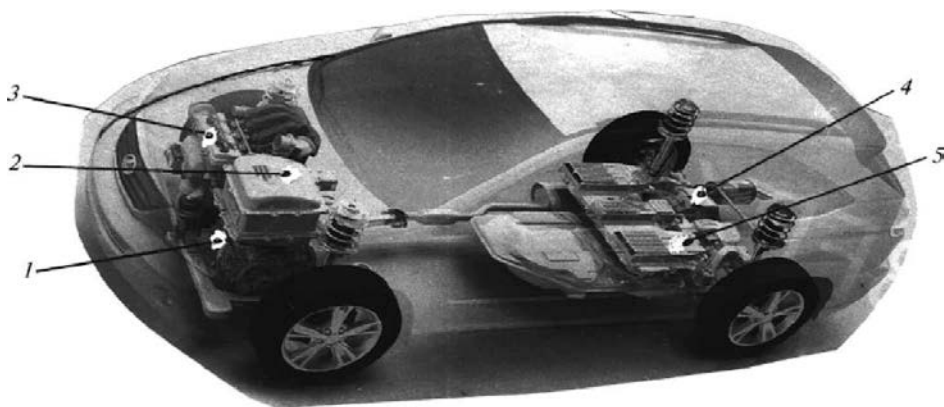


Рис. 6. Автомобиль Lexus RX 40Dh скомбинированным синергетическим приводом
 1 — передняя КСУ; 2 — электропреобразователь; 3 — V-образный бензиновый ДВС;
 4 — задний электромотор; 5 — два комплекта симметрично расположенных литий-ионных аккумуляторных батарей

Оригинальная система КСУ разработана фирмой Ford. На базе экспериментального образца пикапа Ford F350 Tonka создан и апробирован автомобиль с системой HLA (Hydraulic Launch Assist). На нем вместо классической КСУ с ДВС, аккумуляторной батареей и электромотором-генератором использована гидравлика. Дизельный ДВС со сцеплением и механической КП установлен спереди; за КП расположен гидромотор, далее классическая карданная передача и задний мост, в редукторе которого использована гипоидная передача и обычный межколесный дифференциал. Вдоль обоих бортов кузова расположены прочные стальные баллоны, рассчитанные на давление примерно 40 МПа и связанные системой трубопроводов с гидромотором. Баллоны заполнены азотом с машинным маслом. Через гидромотор-насос оба баллона связаны друг с другом.

При торможении в трансмиссии включается гидронасос, в одном из баллонов давление возрастает до 35 МПа, создавая эффект торможения. При начале разгона насос становится гидромотором и помогает ДВС, передавая суммарный $M_{кр}$ на карданную передачу. Из баллона-аккумулятора высокого давления масло переходит в другой баллон (на другом борту). Такая система из полученной при торможении энергии 380 кДж возвращает обратно до 80 %, которой достаточно для 10–15 с интенсивного разгона.

Таким образом, на современном этапе развития производства электромобилей имеются ряд нерешенных вопросов как технического, так и экономического плана. В предлагаемой читателям книге описаны основные этапы и особенности развития электромобилей, а также перспективы их эффективного использования.

Приведенные в книге основные технико-эксплуатационные показатели электромобилей, созданных в различные периоды их развития, свидетельствуют о том, что они имеют тенденцию к постоянному улучшению. В данной работе показано, что повышение технико-эксплуатационных показателей электромобилей в значительной степени зависит от их конструктивных особенностей и используемых химических источников тока.

В связи с этим в книге важное место отведено исследованию тяговых систем электромобилей, их оптимизации, анализу возможностей применения различных типов источников тока.

Наряду с этим рассматриваются вопросы влияния конструкция тяговых систем на эффективность электромобилей. Изложена подробная оценка влияния параметров массы электромобилей на их производительность, приведены затраты и себестоимость перевозок. В данной работе дана методика расчета области эффективного использования электромобилей. При оценке эффективности использования электромобилей предлагается учитывать социально-экологические факторы, т. е. ущерб, наносимый отработавшими газами автомобильного транспорта на фоне постоянного роста объемов «энергопотребления» в мире, происходящего несмотря на улучшение удельных показателей эффективности энергетических агрегатов и силовых приводов транспортных средств (ТС). Энергопотребление в транспортном комплексе, согласно базовому сценарию «Перспективы энергетических технологий. Сценарии и стратегии развития до 2050 года», разработанному ведущими мировыми аналитиками, до 2050 г. прогнозируется со средним ежегодным ростом в 15 %. Весьма показательной, даже не в плане распределения, а общего расхода, выглядит картина по потреблению топлива транспортом в разных регионах и отдельных странах мира, из которого видно, что львиную долю энергоресурсов планеты потребляют развитые экономики стран Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) Северной Америки (700 Мт нефтяного эквивалента)

и Европы (435 Мт). Россия (бывший СССР), несмотря на энергозатратность своей экономики, является аутсайдером в абсолютном, но не в удельном, выражении энергозатрат. По сегментам транспортного комплекса экономики России ежегодное относительно потребление энергии выглядит следующим образом: автомобильный 62,9 %, железнодорожный 17 %, авиационный 7,7 %, водный 4 % (без энергозатрат на проведение погрузочно-разгрузочных работ в портах, обслуживание пристаней, работу шлюзов и содержание водных путей). Потребления топливно-энергетических ресурсов всеми видами транспорта порядка 80 % расходуются подвижным составом. В связи с тем, что автомобильный транспорт является основным потребителем энергии в транспортной отрасли, более подробно остановимся на его рассмотрении в плане возможных мероприятий по повышению энергоэффективности эксплуатации ТС. Для четкого понимания целей, к которым надо стремиться при проектировании, изготовлении и эксплуатации ТС, и задач, решаемых на всем их жизненном цикле, необходима объективная картина энергоэффективности того или иного типа привода и всего ТС, а также ущерба, наносимого токсичными выбросами в атмосферу.

Обобщенная энергоэффективность автомобильного ТС и его экологическая чистота могут определяться как составом топливно-воздушной смеси в цилиндрах ДВС, процессами его сгорания, так и конструктивно-технологическими решениями привода с учетом всех потерь и затрат энергии, и оцениваться в двух вариантах. Или только в составе ТС с традиционным приводом — от топливного бака и в электромобиле — от аккумуляторной батареи до ведущего колеса (цепочка Well-to-Tank), или в полном цикле получения — использования топлива или электроэнергии от источника их добычи или генерирования до колеса. Эти оценки дают категорически разные результаты, поскольку в первом варианте (случай электрифицированного ТС) не учитывается КПД электростанций, равный 49,5 %, и что КПД современного ДВС составляет до 45 %. Установлено, что реальный расход углеводородного топлива автомобилем с ДВС из-за больших потерь на сопротивление движению (21 кВт·ч/100 км) на больших, чем средние скоростях перемещения (50–70 км/ч) на 10–20 % выше регистрируемых в стендовых условиях по инновационному ездовому циклу NEFZ — NEDC (16,5 кВт·ч/100 и 33,6 км/ч), а для гибридного автомобиля Toyota Prius III Hybrid — на 46 % (5,7 л/100 км против 3,9 л/100 км). Более правильным и точным признано считать расход и эффективность агрегатов привода, а автомобиля в целом, поскольку, например, только на отопление воздуха в салоне на скорости 60 км/ч при нулевой температуре окружающего воздуха тратится 64 % энергии, потребляемой приводом, при –10 °С — 106 %, при –20 °С — 152 %, а часть тепловой энергии отработавших газов, наоборот, полезно используется для этих целей. На отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха в салоне электромобиля необходимо 8 кВт·ч/100 км и 2 кВт·ч/100 км на привод устройств комфорта и безопасности, общий расход энергии на преодоление сопротивления движению составляет 31 кВт·ч/100 км. Энергетическая плотность углеводородного топлива составляет 0,12 кВт·ч/кг с потенциалом до 0,25 кВт·ч/кг, что с учетом всех энергозатрат в 230 кВт·ч для сопоставимого с запасом хода современных автомобилей в 500 км потребовало бы возить на электромобилях 1450 кг аккумуляторов. С учетом всех потерь и затрат энергии в полном цикле получения — использования электроэнергии от источника до колеса (49,5 % — КПД электростанций, 10 % утечки в аккумуляторах, 8 % — вентиляция, отопление и кондиционирование, 2 % — комфорт и безопасность, масса/температурный менеджмент аккумуляторов — 16 %, утечка тепла — 1,5 %) на механический привод ведущих колес электромобиля расходуется только 14,5 % (у ДВС — до 45 %)

Не менее важным, чем энергоэффективность, определяющая разгонную динамику и автономный запас хода колесного ТС, является показатель экологичности, выражающий удельные выбросы в атмосферу токсичных вредных веществ. Для их максимального сокращения, а лучше — полного устранения и проводятся сложные и дорогостоящие мероприятия по электрификации автомобильного транспорта. Уровень выполнения экологической нормы выбросов является составным элементом технико-эксплуатационных характеристик ТС и легкодоступен для любого типоразмера колесного ТС. Так, например, показательным является статистически зарегистрированный факт, что выбросы в атмосферу CO₂, ДВС только легковых автомобилей в 2010 г. в Германии составили 105 млн т. При перерасчете на 600 млрд км пробега и потребление топлива бензиновыми (70 % парка легковых автомобилей) и дизельными (30 %) ДВС в 8,5 л/100 км и 6,2 л/100 км в удельном выражении на единицу работы это эквивалентно 323 г CO₂/кВт·ч. На производство электроэнергии в Германии, потребовалось около 600 ГВт ч энергоресурсов, вылилось в удельное загрязнение 530 г CO₂/кВт·ч.

Специальные исследования известнейшей международной консалтинговой компании, специализирующейся на решении задач, связанных со стратегическим управлением, McKinsey в 2018 г. привели к заключению, что к 2020 г. каждое третье продаваемое в мире колесное ТС будет иметь электрическую машину (ЭМ) в качестве привода, в 2030 г. — уже два из трех. По прогнозу их общее число к тому времени возрастет до 114 млн ед., к 2040 г. ДВС вообще потеряет свое значение. Это будет иметь серьезные последствия и для рынка труда и для применяемых в промышленности металлов: так, например, потребность меди возрастет до 2030 г. в 13 раз, в неодиме — в 120 раз, в литии — в 200 раз. Стоимость лучшего тепло- и электропроводника — меди составляет около 8 долл. США за 1 кг, лучшего магнитного редкоземельного металла — неодима — около 70–110 долл. США за 1 кг при чистоте от 99 % до 99,9 %, соответственно, металла с высокими температурами плавления и кипения и самой низкой плотностью среди металлов — лития — около 70 долл. США за 1 кг и при чистоте 99 %. По мнению японской автомобильной компании Toyota при эволюционном характере развития к 2025 г. только 12 % новых колесных ТС будут двигаться на чистой электротяге, 60 % будут хорошо оснащены электрическими и электронными устройствами и только 25 % из них — гибридным приводом. Исходя из этого прогноза, Toyota сосредоточилась на выпуске и совершенствовании гибридных автомобилей семейства PriusPlug-I, Prius и Prius+, которые в настоящее время ежегодно продаются по всему миру в количестве 1,1 млн ед. По данным европейских агентов международной консалтинговой компании со штаб-квартирой в США Bain and Company уже сейчас европейский рынок готов принять ежегодно 100 тыс. электромобилей, мировой — 350 тыс. В ближайшие 10 лет половина новых автомобилей будет иметь чисто электрический или гибридный привод. Пока спрос не столь велик из-за вдвое большей стоимости электромобилей по сравнению с колесными ТС с ДВС в качестве силовых агрегатов, сопоставимой с автомобилями большего класса, дороговизной аккумуляторов и высокой продолжительности и неоднозначной стоимости из зарядки. И пока эта экономика не станет привлекательной трудно ожидать прогресса в рассматриваемом процессе электрификации, даже при запретительной законодательной практике эксплуатации ТС с высоким уровнем выбросов вредных веществ с прогрессивными штрафами, правительственными бонусами покупателям электромобилей, при развитой и доступной электрозарядной инфраструктуре и достаточности электроэнергии. Рассмотрим эти аспекты автомобильной электрификации. Не менее важным аспектом

электрификации автомобильного транспорта являются затраты потребителя — владельца на эксплуатацию электроавтомобиля, определяющиеся стоимостью зарядки аккумуляторов для обеспечения достаточного автономного хода. Исходя из средне-статистической длины ежедневной езды, меньшей 80 км в Европе и в Германии, в частности, при среднем тарифе на электроэнергию в Германии в 0,3 евро/кВт·ч средняя стоимость одной электрозарядки с возможностью потенциального автономного пробега в 160 км обойдется в 9 евро, при поездке на 80 км — в 4,5 евро, на 50 км ежедневного пробега — в 2,81 евро, то есть — в 0,05 евро/км. В годовом исчислении эксплуатация электроавтомобиля обойдется его владельцу в зависимости от частности и дальности поездок в 750–1440 евро. Беспрепятственная эксплуатация с электрифицированным приводом возможна только при гарантированном беспрепятственном доступе к источникам электроэнергии для зарядки аккумуляторов. Наиболее перспективными среди них являются возобновляемые ветровая и солнечная электрическая энергия и водород в топливных элементах. Сравнение их эффективности в настоящее время свидетельствует в пользу последнего: ДВС является вынужденным компромиссом, снижающим преимущества электропривода, а электроэнергия, несмотря на меньшие (31 %) потери при транспортировке и зарядке с использованием в электроавтомобилях с рекуперативным торможением по сравнению с чисто топливоэлементными на жидком водороде (80 %), сжатом водороде (74 %) и электро- (80 %-я доля энергии) — водородном (20 %-я доля энергии) с потерями в 40 %, пока также не является предпочтительной.

Одним из важнейших элементов оптимизации, в том числе электрифицированного и чисто электрического привода является использование водородной топливной энергетики. Так, например, наблюдающееся в последние годы стремительное эволюционное развитие технологий, реализующих электрохимическую реакцию трансформации окисления водорода в топливных элементах в электроэнергию и ее эффективное применение в приводе трамваев и легких железнодорожных рельсовых транспортных средств, основано на успешной опытно-экспериментальной и подконтрольной эксплуатации. Шансы электрифицированного автомобильного привода все более повышаются с реальной конкурентоспособностью КТС с комбинированными энергетическими установками с перспективой чисто электрической тяги — электроавтомобилей. Они заряжаются с использованием устройств разного напряжения, мощности и принципа действия, приспособленных к конкретным конструктивно-технологическим особенностям электроавтомобилей и ТС с гибридным приводом.

Обеспечить значительно возрастающие с его интенсивным развитием потребности в зарядке аккумуляторов должна электроэнергетика, являющаяся одной из ключевых отраслей мировой и национальных экономик. Главным критерием оценки ее совершенства, определяющего оптимальность процесса электрификации ТС, конечно же, является национальная безопасность, выражающаяся в предотвращении техногенных и природных катастроф. Этим и только этим можно объяснить отказ напуганной взрывами атомных реакторов Чернобыльской и Фукусимской атомных электростанций Германии от этого, казалось бы, самого перспективного и чистого при соблюдении технологий и требований источника электроэнергии, а также сворачивание ею тепловой энергетики.

На сегодняшний день электроэнергия — наиболее универсальный вид энергии. Ее ежегодно увеличивающееся производство вследствие роста потребления составляет более 22500 ТВт·ч. Так, за последние пять лет энергопотребление в Китае выросло на 76 %, Индии — на 31 %, Бразилии — на 18 %. И по абсолютному потреблению электроэнергии лидеры те же, только здесь на первом месте — США

(более 4400 млрд кВт·ч), а Китай на втором (около 4000 млрд кВт·ч), за ними Евросоюз (более 3000 млрд кВт·ч), Россия (более 1000 млрд кВт·ч), Япония (около 1000 млрд кВт·ч), Германия (около 640 млрд кВт·ч), Индия (более 600 млрд кВт·ч), Франция (менее 500 млрд кВт·ч) и Бразилия (более 400 млрд кВт·ч). А вот по потреблению электроэнергии на душу населения картина совсем другая. По данным Мирового Энергетического Агентства, первое место в этом рейтинге занимает Исландия с 52376 МВт·ч/чел., второе — Норвегия (лидер по энергоёмкости экономик) со значительным отставанием — 23,174 МВт·ч/чел., на третьем с 17,876 МВт·ч/чел. — Кувейт, далее следуют Канада — 14,029 МВт·ч/чел., Катар — 16,099 МВт·ч/чел., Финляндия — 15,742 МВт·ч/чел., Люксембург — 15,511 МВт·ч/чел., Швеция — 14,029 МВт·ч/чел., США — 13,227 МВт·ч/чел., ОАЭ — 10,619 МВт·ч/чел. Япония — на 22-м месте с 7,847 МВт·ч/чел., Франция — на 23-м с 7,318 МВт·ч/чел., Германия — на 24-м с 7,083 МВт·ч/чел., Россия — на 29-м с 6,533 МВт·ч/чел.

Дополнительный спрос для зарядки аккумуляторов электрифицированного автомобильного колесного транспорта сейчас пока не готовы удовлетворить производители электроэнергии в этих странах оценим по данным официальной статистики. В 2020 г. для этого возникнет необходимость для зарядки аккумуляторов в 15 МВт·ч, а в 2030 г. — в 75 МВт·ч. В 2030 г. эта картина, по прогнозу, может выглядеть так: Франции потребуется 60–80 МВт·ч дополнительной электроэнергии, Японии — не менее 80 МВт·ч, США не менее 300 МВт·ч.

Подводя итоги проведенного производственно-технического анализа проблем и реализации процесса электрификации автомобильного транспорта, следует отметить сложность климатической ситуации, в которой прослеживается явная вина колесных ТС с токсичными выбросами вредных веществ, и неоднозначность оценок энергоэффективности и экологичности разных вариантов их приводов. Вместе с тем, на лицо понимание всеми участниками процесса сложности проблемы, решение которой требует инновационных технологий и объединения усилий, энергетических и финансовых ресурсов на основе реальных результатов деятельности.

В настоящее время автомобильный транспорт страны является основным потребителем нефтяных топлив. Учитывая ограниченность последних, а также необходимость экономии жидких топлив важно бережное отношение к их расходованию. Это положение (применительно к экономии топлива на автомобильном транспорте) может быть реализовано по многим направлениям, из которых следует выделить:

- дальнейшее совершенствование перевозочного процесса и управления им, начиная с улучшения организации перевозок и заканчивая разработкой новой нормативной базы, но расходу топлива и усилению контроля за ним;
- изыскание и широкое применение на автомобильном транспорте новых малотоксичных видов горючего и прежде всего сжатого газа, метанола и др.;
- разработку и применение в качестве транспортных средств электромобилей на базе высокоэнергоёмких химических источников тока.

Реализация перечисленных направлений (в особенности последних двух) будет способствовать, при прочих равных условиях, дальнейшему совершенствованию перевозочного процесса, а также решению экологической проблемы.

При этом важно заметить, что с позиции применяемого источника энергии электромобиль имеет хорошие перспективы по сравнению с существующими автомобилями, так как он является потребителем электроэнергии. Последняя может быть получена, главным образом, за счет ввода новых мощных ядерных электростанций; использования существующих тепловых электростанций, работающих на сланцах и других недорогих топливах. Кроме того, в перспективе могут быть использованы

солнечная и другие виды энергии, запасы которых практически неисчерпаемы. Несомненно, что наиболее перспективными источниками из всех форм нетрадиционных энергетических ресурсов является ядерная и солнечная энергия.

Потенциальные запасы мировых энергоресурсов распределяются следующим образом: ядерное топливо до 90 %. все виды твердого топлива примерно 9 %, нефть и газ вместе около 1 %. Из вышеизложенного следует, что энергия атома является основным и реальным источником, способным в ближайшие десятилетия компенсировать прогрессирующее истощение ископаемых топлив.

В связи с этим в данной монографии поставлена основная задача — рассмотреть комплекс инженерных и экономических подходов, позволяющих определить перспективы развития в области эффективного использования электромобилей в РФ. Одной из важных особенностей книги является то, что в ней, наряду с обоснованием выбора рациональных тяговых систем электромобилей и рекомендаций по выбору и использованию для них источников энергии, рассматриваются взаимосвязанные инженерно-экономические и социальные аспекты применения электромобилей в транспортной системе страны. В данном случае важно рассмотреть возможности и целесообразность улучшения структуры автомобильного парка за счет пополнения его электромобилями, что может способствовать снижению загрязнения воздушной среды и уровня шумового воздействия транспортных потоков на человека в условиях города.

Авторы надеются, что книга окажет определенную помощь инженерно-техническим и научным работникам при проведении исследований и оценке эффективности применения на электрифицированных транспортных средствах различных тяговых систем и источников тока.

Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРАНСПОРТА

1.1. Роль электротранспорта в экономике России

Электротранспорт в России представлен в основном неавтономными видами транспорта, то есть такими транспортными средствами, которые не имеют собственного источника электроэнергии, и могут перемещаться только вдоль специальной инфраструктуры, обеспечивающей питание электропривода. Существуют также транспортные средства для перевозки грузов или пассажиров, питание которых осуществляется от бортовой аккумуляторной батареи, однако они применяются на коротких дистанциях и их роль в общем объеме транспортной работы незначительна.

В крупных городах пассажирский электротранспорт играет ведущую роль в обеспечении пассажирских перевозок. Например, в Москве по данным Росстата доля электротранспорта в общем объеме пассажирских перевозок составляет более 70 % — в основном, за счет метрополитена. Метрополитен в условиях современного мегаполиса имеет важное преимущество — он не сталкивается с проблемой автомобильных пробок, затрудняющих перемещение автобусов, троллейбусов. Трамваи, хотя трамвайный путь и расположен по большей части за пределами дорожного полотна, так же являются сильно зависимыми от дорожной обстановки, поскольку вынуждены пересекать проезжую часть на перекрестках, где и собираются основные пробки.

Сохранение высокого объема пассажирских перевозок на метрополитене связано с тем, что метрополитен в крупных городах остается практически безальтернативным способом быстро перемещаться на значительные расстояния. Различия в динамике наземного транспорта, а именно многократное падение объема перевозок троллейбусами и трамваями при незначительном снижении автобусных перевозок можно объяснить двумя причинами. Во-первых, в приведенных выше сведениях из общего объема автобусных перевозок не выделены междугородные автобусные перевозки — на фоне железнодорожного транспорта автобусные рейсы часто являются более удобными и дешевыми. Во-вторых, автобусы и маршрутные такси, в отличие от трамвая и троллейбуса, не связаны инфраструктурой, что позволяет им более гибко реагировать на транспортную обстановку в городе и сохранять высокую загрузку пассажирами.

Электротранспорт в России, и в первую очередь — электрифицированный железнодорожный транспорт, является одним из крупнейших потребителей электроэнергии. Согласно Энергетической стратегии ОАО «РЖД» [6], фактическое потребление электроэнергии компанией составило в 2010 г. 45,9 млрд кВт·ч (рис. 1.1.), что равно около 5 % от выработки электроэнергии в России. За тот же период потребление электроэнергии прочими видами электротранспорта — поездами метрополитена, трамваями и троллейбусами составило, согласно данным Росстата, 4,4 млрд кВт, то есть 0,4 % от выработки электроэнергии в России.

Данные ОАО «РЖД» по энергозатратам и финансовым расходам на разные виды тяги — электрическую и дизельную — позволяют сравнить энергетическую и экономическую эффективность разных видов тяговых установок. При этом сравнение будет весьма объективным, поскольку прочие условия работы транспорта — климатические, маршрутные, рельефные и т. д. — являются очень близкими. Согласно данным, расходы на дизельное топливо, затраченное на тягу поездов, составили 26,6 % от общих затрат, или 39,2 млрд рублей.

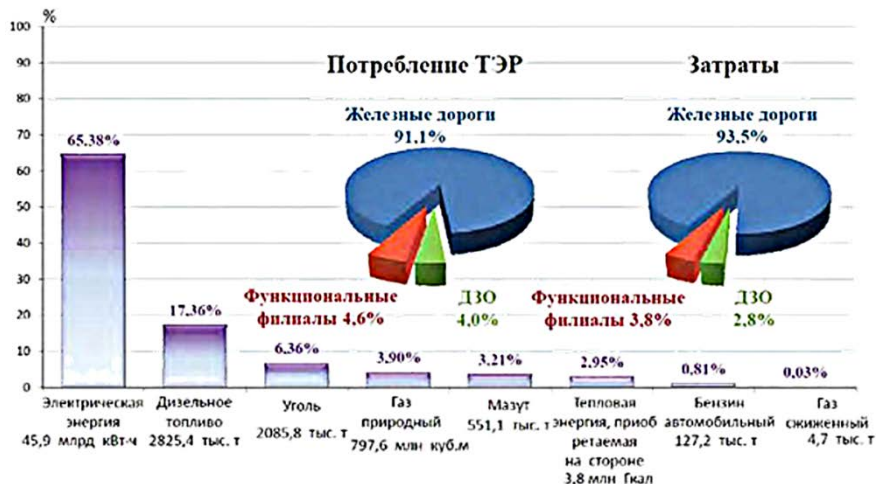


Рис. 1.1. Структура исходного сводного топливно-энергетического баланса холдинга «РЖД»

Расходы на электроэнергию, затраченную на тягу поездов, составили 52,5 % от общих затрат, или 77,4 млрд рублей. При этом объем грузовой работы, выполненной поездами на дизельной тяге, составил 561 млрд т·км брутто, а поездами на электрической тяге — 3325 млрд т·км брутто. Приведенные данные показывают, что на каждый 1 млрд т·км брутто при использовании дизельного топлива ОАО «РЖД» затрачивает около 70 млн рублей, а при использовании электрической тяги — лишь 23,3 млн рублей, то есть в 3 раза меньше.

С точки зрения энергетической эффективности преимущество не столь существенно, однако и здесь электротранспорт обеспечивает значительно более высокую эффективность. Согласно данным ОАО «РЖД», удельный расход электроэнергии на выполнение 10 тыс. т·км брутто транспортной работы составил 115,1 кВт·ч (табл. 1).

Поезда на дизельной тяге для выполнения такого же количества транспортной работы затратили в среднем 64,1 кг условного топлива. Для сопоставления энергозатрат требуется привести тепловую энергию сгорания условного топлива к эквивалентной электрической энергии. Согласно данным Энергетической стратегии России на период до 2030 г. [7], удельный расход топлива на тепловых электростанциях составил 0,33 кг условного топлива на 1 кВт·ч. Это означает, что из 64,1 кг условного топлива могло быть произведено 194 кВт·ч электроэнергии — на 69 % больше, чем требуется электрическим локомотивам для выполнения аналогичного объема транспортной работы. Приведенные соотношения показывают, что в сопоставимых единицах энергетические затраты на дизельную тягу на 69 % выше, чем затраты на электрическую тягу. Даже если учесть, что часть электроэнергии, произведенной на электростанциях, в процессе передачи на тяговые подстанции ОАО «РЖД» необратимо теряется, уровень этих потерь заведомо ниже, чем 69 %.

Таблица 1.1. Динамика удельного расхода ТЭР на тягу поездов на железных дорогах ОАО «РЖД» в 2003–2010 годах

Удельный расход ТЭР на тягу поездов	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.
Электроэнергия, кВт·ч/10 тыс. т·км брутто	119,7	119,1	117,7	117,2	116,4	115,4	115,7	115,1
Дизельное топливо, кг у. т./10 тыс. т·км брутто	68,6	68,3	67,8	67,1	67,0	66,9	66,3	64,1

Таким образом, уже при нынешнем уровне развития технологий, в сопоставимых прочих условиях электрический транспорт неавтономной тяги (то есть, питающийся непосредственно от инфраструктуры) является значительно более выгодным как с энергетической, так и с экономической точки зрения.

Дополнительным подтверждением этому является динамика объема перевозочной работы, выполненной на разных видах тяги (табл. 1.1). За период 2003–2010 гг. объем работы, выполненной на электрической тяге, вырос на 19 %, в то время как на дизельной тяге объем выполненной работы увеличился лишь на 2 %.

1.2. Перспективы развития электромобилей и их классификация

Условия для массового перехода на автономную электрическую тягу в области легкового электротранспорта пока не сложились. Однако производители с большим энтузиазмом отрабатывают различные технологии электротранспорта, пытаясь найти те решения, которые заинтересуют потребителя уже сегодня. В результате появилось несколько типов транспортных средств, в которых в той или иной степени электроэнергия используется для движения. Более-менее устоявшаяся классификация выделяет следующие три основных типа:

- **Классический электромобиль** (batteryelectricvehicle– BEV, либо plug-inelectricvehicle — PEV) — автомобиль с тяговым электроприводом, единственным источником энергии которого является аккумуляторная батарея. Зарядка батареи осуществляется от сети. Наиболее распространенные в настоящее время классические электромобили — NissanLeaf, TeslaModelS, Mitsubishi-MiEV.

- **Подключаемый к сети гибридный автомобиль** (plug-inhybridelectricvehicle — PHEV) — автомобиль с комбинированной силовой установкой, состоящей из двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя с аккумуляторной батареей. Емкость бортовой батареи в подключаемых к сети гибридах обычно обеспечивает меньший пробег, чем в классических электромобилях — 15...60 км, что может быть вполне достаточно для непродолжительных поездок, характерных для городской среды. Наиболее распространенные в настоящее время подключаемые гибриды — ChevroletVolt, ToyotaPriusPHV, MitsubishiOutlanderP-HEV.

- **Традиционный гибридный автомобиль** (hybridelectricvehicle — HEV) — автомобиль с комбинированной силовой установкой, состоящей из двигателя внутреннего сгорания и электродвигателя с аккумуляторной батареей. Емкость бортовой батареи в традиционных гибридных автомобилях позволяет преодолеть на чисто электрической тяге считанные километры. Основное предназначение электропривода и батареи в этих автомобилях заключается в снижении среднего расхода углеводородного топлива за счет использования рекуперативного торможения, а также за счет оптимизации работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в процессе разгона автомобиля, когда расходуется наибольшее количество топлива. Традиционные гибриды не имеют возможности заряжать батарею от внешнего источника электроэнергии — зарядка осуществляется только во время движения автомобиля.

Современные серийно выпускаемые электромобили сравнительно массово начали выходить на рынок в конце 2000-х годов. Более-менее значимая статистика по продажам начинается с 2010 г., когда счет на продаваемые электромобили пошел на десятки тысяч ежегодно [8–12]. По общей численности парка электромобилей безоговорочным лидером являются США [13], чей парк в 300 тыс. электромобилей составляет примерно 40 % от мирового (табл. 1.2–1.3). По доле электромобилей в общем объеме продаж легковых авто, а также по количеству электромобилей, приходящихся на тысячу жителей страны, первое место занимает нефтедобывающая Норвегия.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru