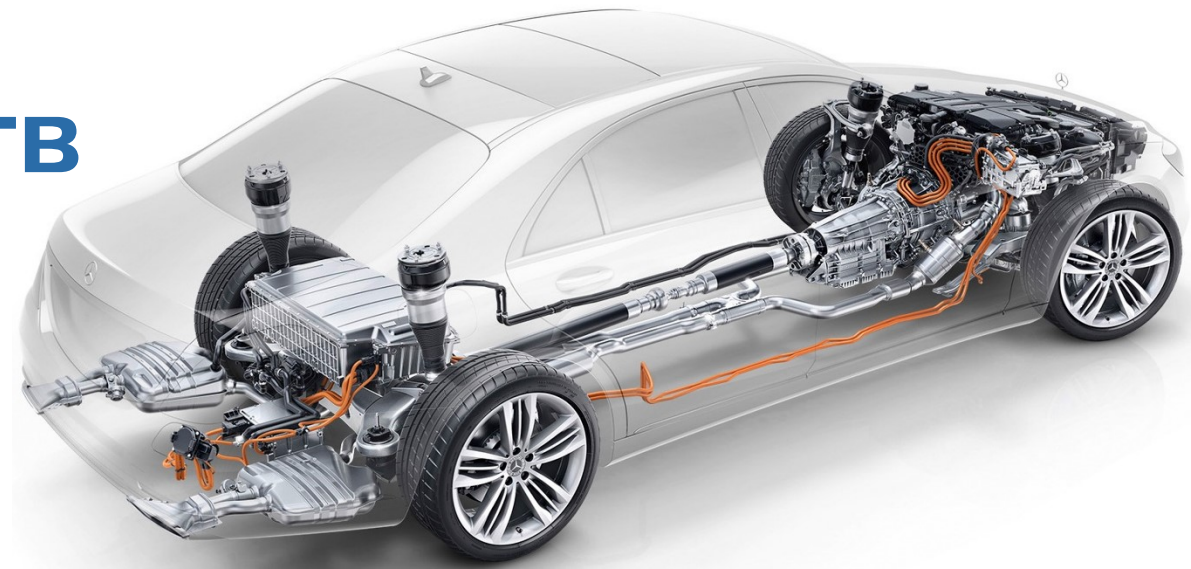


Электронные системы наземных транспортно- технологических средств

Лекция 8 Автомобили с тяговым электроприводом

Автор:

Пузаков Андрей Владимирович, канд. техн. наук,
доцент кафедры технической эксплуатации и
ремонта автомобилей



План лекции:

1. Классификация автомобилей с тяговым электроприводом
2. Комбинированные энергетические установки
3. Классификация КЭУ
4. КЭУ параллельного типа
5. КЭУ последовательного типа
6. КЭУ с разделением мощности
7. Батарейный электромобиль
8. Электромобиль на топливных элементах
9. Заключение
10. Вопросы для самоконтроля
11. Литература

Цель лекции: изучение принципов классификации автомобилей с тяговым электроприводом; устройства и принципа работы электромобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками; топологии автомобилей с КЭУ параллельного типа.

В результате изучения лекции обучающийся должен:

знать:

- принципы классификации автомобилей с тяговым электроприводом;
- устройства и принципа работы электромобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками;
- топологии автомобилей с КЭУ параллельного типа;

уметь:

- обосновывать выбор автомобиля тяговым электроприводом по различным критериям;
- читать схемы электромобилей и автомобилей с комбинированными энергоустановками.

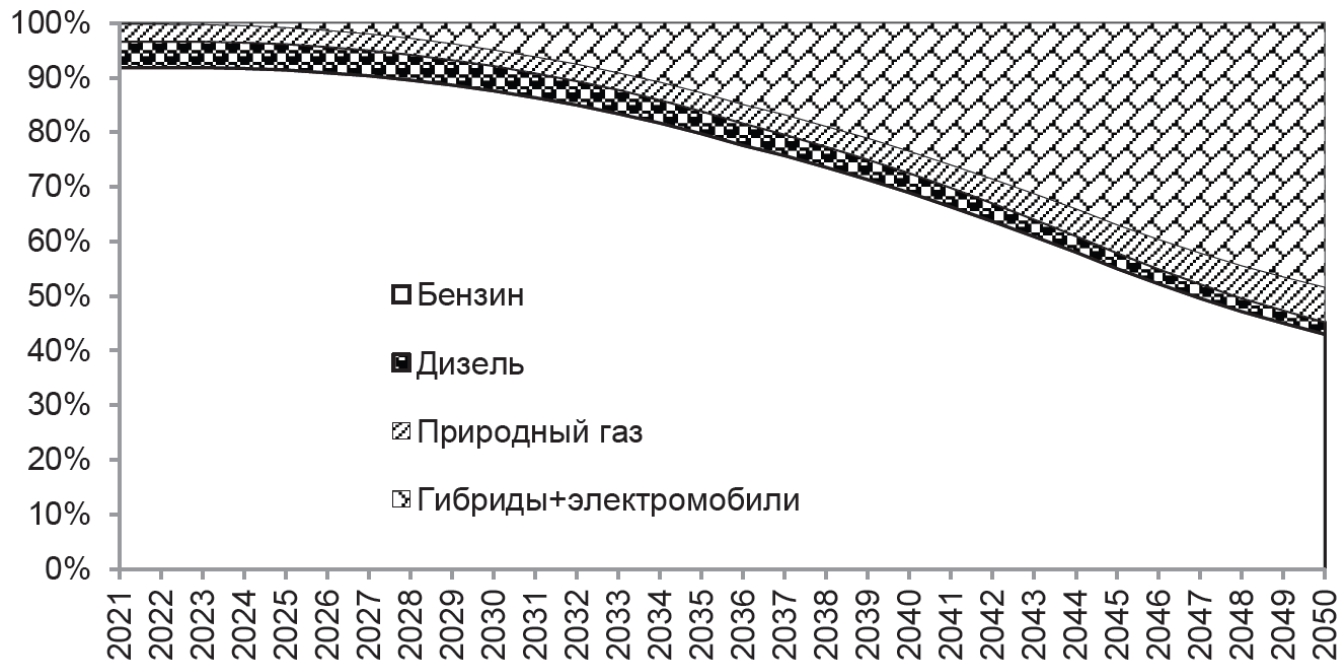
Преимущества электромобилей

- Электрический привод (электродвигатель-генератор) работает гораздо тише ДВС. При высокой скорости у таких автомобилей преобладающим является шум от качения шин.
- При движении электромобиль не выбрасывает в атмосферу никаких вредных веществ или газов. Если высоковольтная батарея перезаряжается от восстанавливаемых источников энергии, то электромобиль может эксплуатироваться без выбросов CO₂.
- Электродвигатель-генератор очень надёжен и не требует затратного обслуживания. Он подвержен только незначительному механическому износу.
- Электродвигатель-генератор имеет высокий (до **96%**) КПД по сравнению с ДВС, КПД которого составляет 35–40%.
- У электродвигатель-генератора более оптимальные характеристики крутящего момента и мощности. Уже с момента запуска он развивает максимальный крутящий момент. Благодаря этому электромобиль по сравнению с автомобилем с ДВС при одинаковой мощности может разгоняться значительно быстрее.
- Устройство трансмиссии проще, потому такие узлы и детали автомобиля, как коробка передач, сцепление, глушитель, сажевый фильтр, топливный бак, стартер, генератор, свечи зажигания, отсутствуют.
- При торможении электродвигатель может выполнять функции генератора, генерировать электроэнергию и заряжать АКБ (рекуперация энергии).
- Энергия подаётся только тогда, когда она требуется потребителю. В отличие от обычных автомобилей электродвигатель-генератор никогда не работает при остановке перед светофором. Особенно эффективен электродвигатель-генератор при движении в плотном транспортном потоке, а также при движении с частыми остановками.
- За исключением редуктора на электродвигатель-генераторе электромобиль не требует масла для смазки.

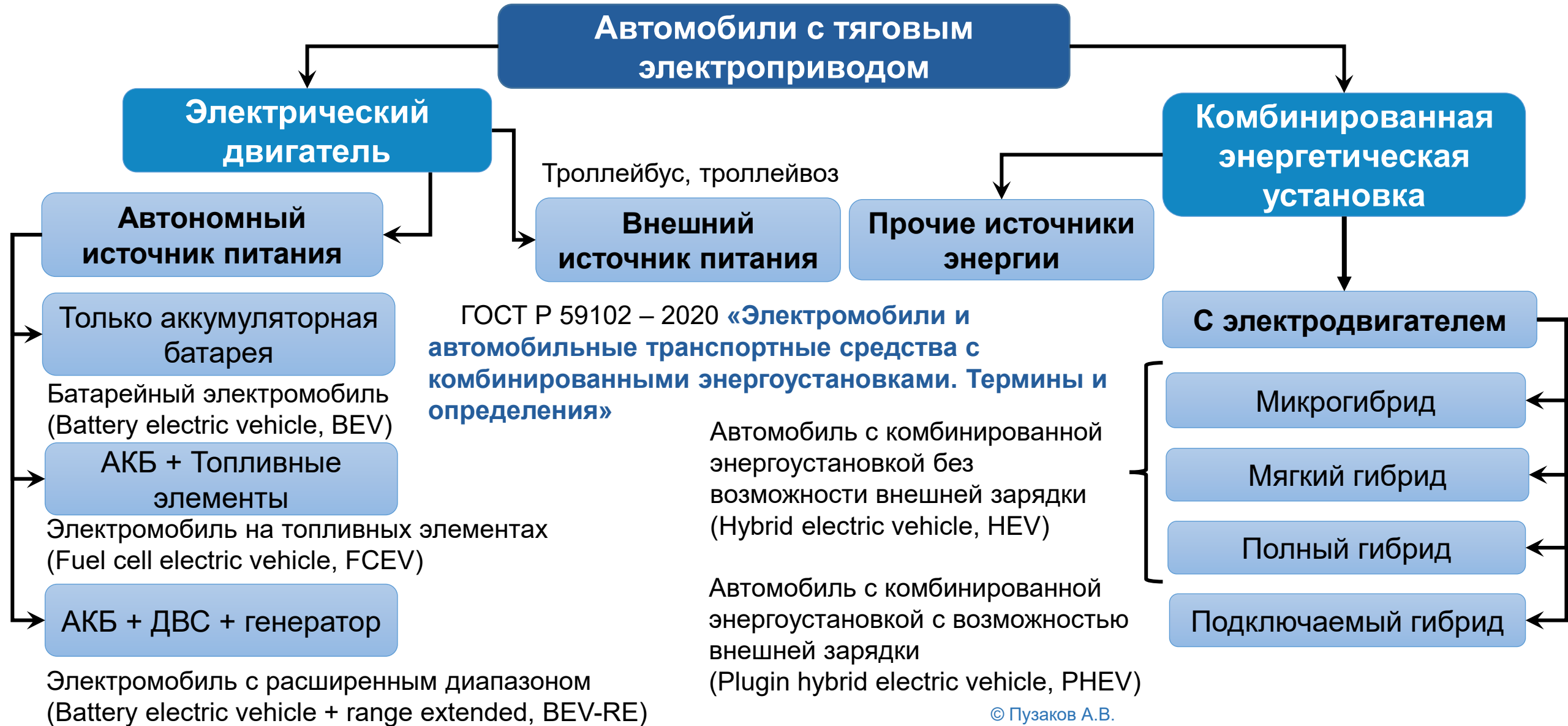
Недостатки электромобилей

- У электромобилей ограниченный запас хода. Электрическая энергия должна быть накоплена современной высоковольтной автомобильной батареей в достаточной степени. Это количество накопленной энергии является решающим фактором для запаса хода электромобиля.
- Если высоковольтную батарею требуется зарядить из полностью разряженного состояния до полностью заряженного состояния, а в наличии имеются только минимальные зарядные возможности, то продолжительность процесса зарядки может достигать 8 часов.
- Возможности зарядки электромобилей в процессе поездки пока находятся в стадии развития. Сеть зарядных станций развита слабо.
- При низких температурах окружающего воздуха снижается доступная ёмкость аккумуляторной батареи.

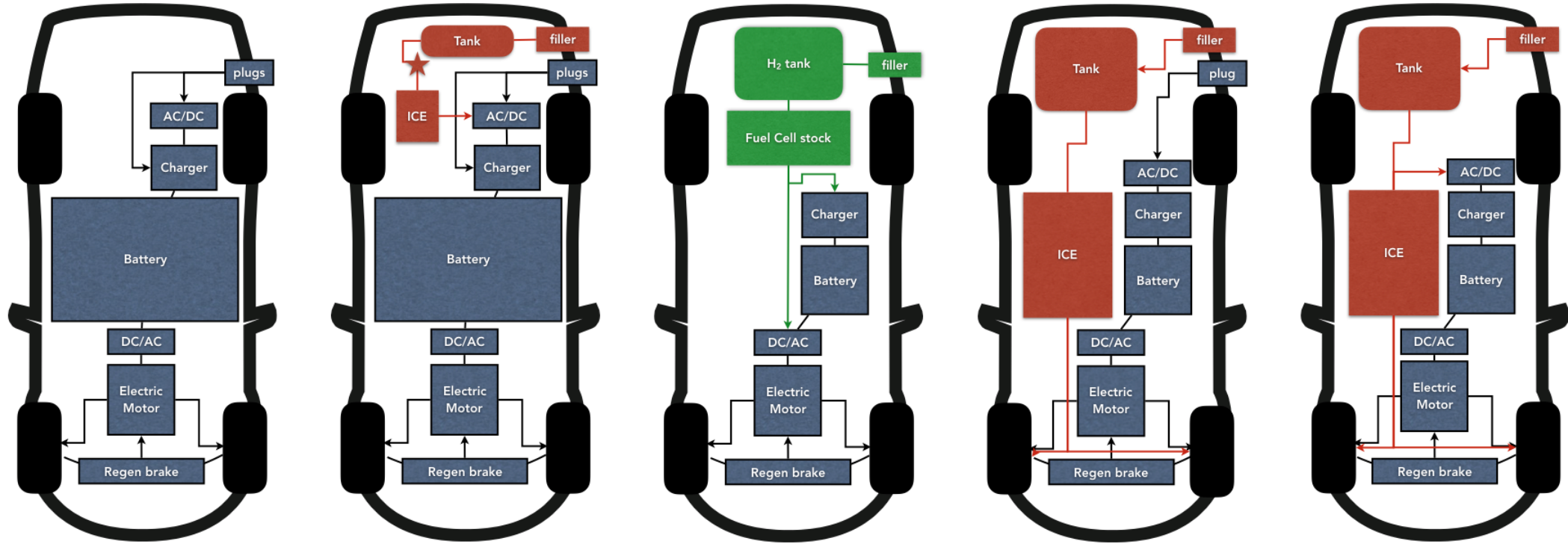
Оптимистичный сценарий развития парка автомобилей с тяговым электроприводом (на примере РФ)



Классификация автомобилей с тяговым электроприводом



Сравнительная эффективность автомобилей с тяговым электроприводом



BEV

BEV + REx

FCEV

PHEV

HEV

Example: Tesla Model S	BMW i3	Toyota Mirai	Mini Countryman Plug-In	Toyota Prius
Energy efficiency: 73%	73% ↔ 20%	22% (???)	60% ↔ 17%	54% ↔ 15%
Transmission: NO	NO	NO	YES	YES / HSD
Gearshift: NO	NO	NO	YES	YES
Engine: AC induction/synchro	AC synchronous	AC synchronous	AC synchronous	AC synchronous
Emissions: -66% CO ₂	-66% ↔ -8% CO ₂	-50% (???) CO ₂	-58% ↔ +2% CO ₂	-57% ↔ +11% CO ₂

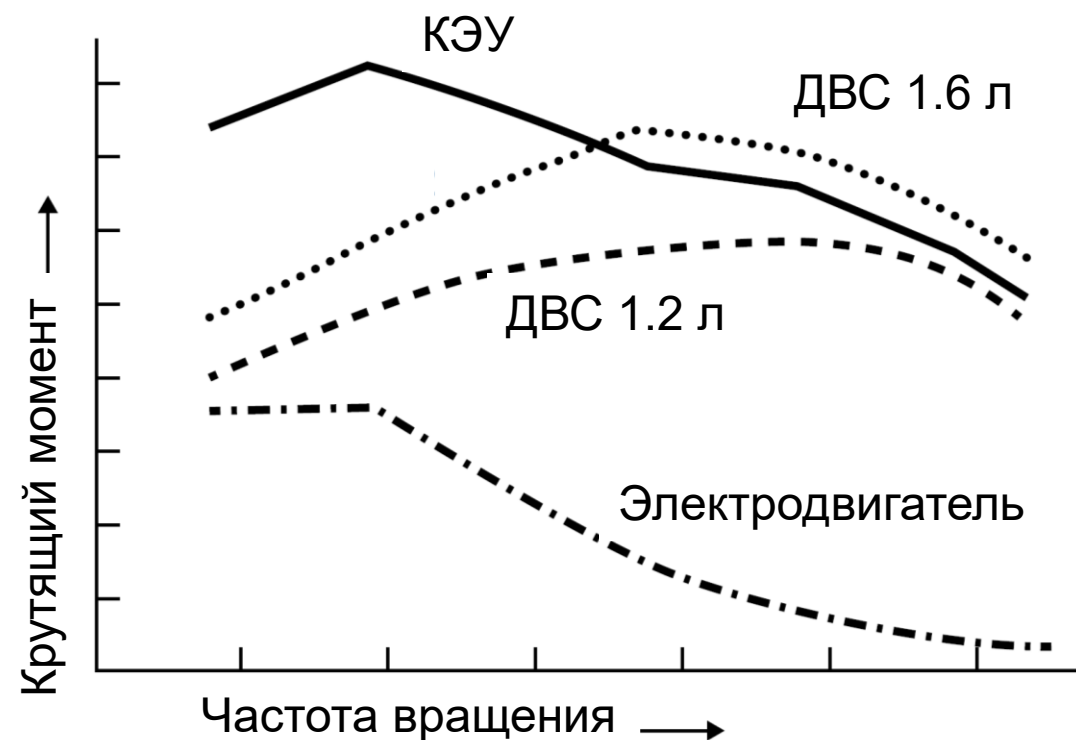
Комбинированные энергетические установки

Автотранспортное средство с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) (англ. *Hybrid Electric Vehicle, HEV*) – транспортное средство, оснащенное энергетической установкой обеспечивающей механическое перемещение АТС, состоящей из двух и более различных преобразователей энергии и содержащей не менее двух различных накопителей любого вида энергии, необходимой для работы преобразователей.

Подавляющее большинство АТС с КЭУ используют комбинацию ДВС и электродвигателей.

Существуют также КЭУ, в которых ДВС сочетается с другими источниками энергии: *гидропневматические КЭУ, кинетические КЭУ* и т.д.

Сравнение кривых крутящего момента

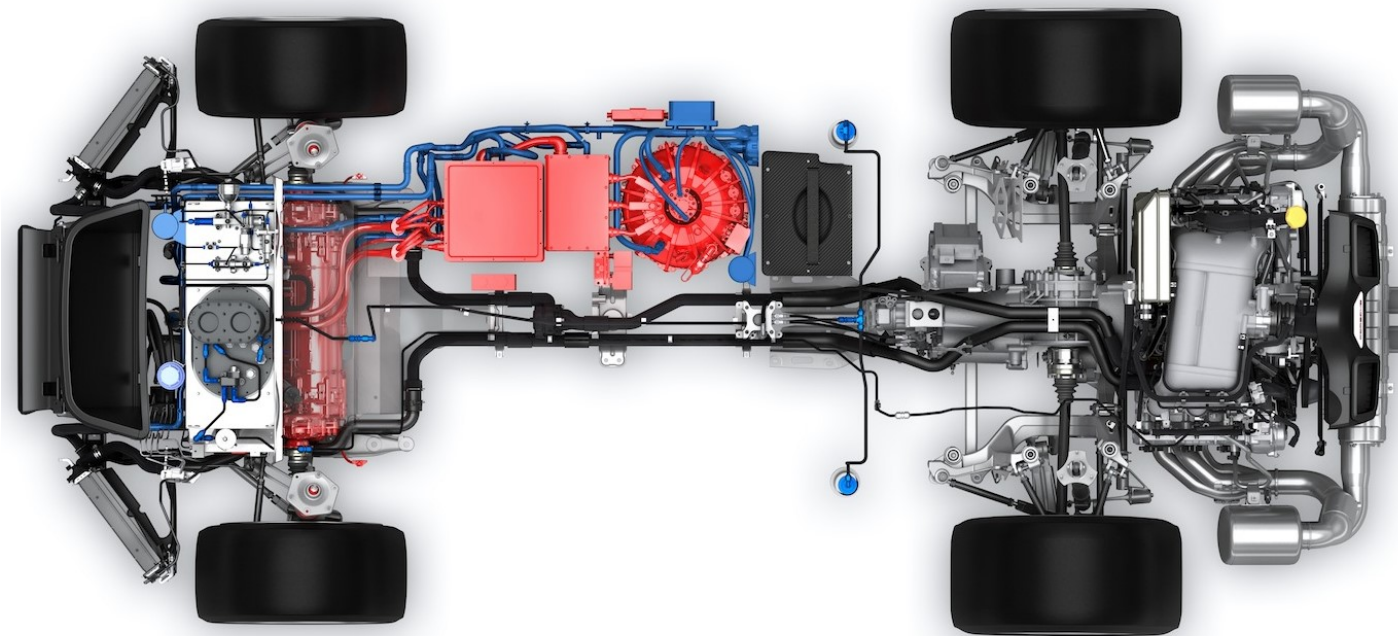


Кинетическая КЭУ

Автомобиль Porsche 911 GT3 имеет два электродвигателя мощностью 60 кВт каждый на передней оси и двигатель внутреннего сгорания мощностью 480 л.с.

Кроме того, в автомобиле установлен **электрический маховик**, который обеспечивает электродвигатели энергией. Маховик сам по себе является электродвигателем с ротором, который вращается со скоростью до 40,000 об/мин. Маховик подзаряжается от энергии при торможении.

При разгоне или обгоне, эта энергия может быть задействована, для чего водителю достаточно нажать специальную кнопку на 6 - 8 секунд. Эта гибридная система не только обеспечивает дополнительной энергией, но и экономит топливо.





Kinetic Energy Recovery Systems for Buses

**The Flybus flywheel-based mechanical hybrid
system for commercial vehicle applications**

Видеофрагмент (<https://youtu.be/LC0pHkstuF8>)

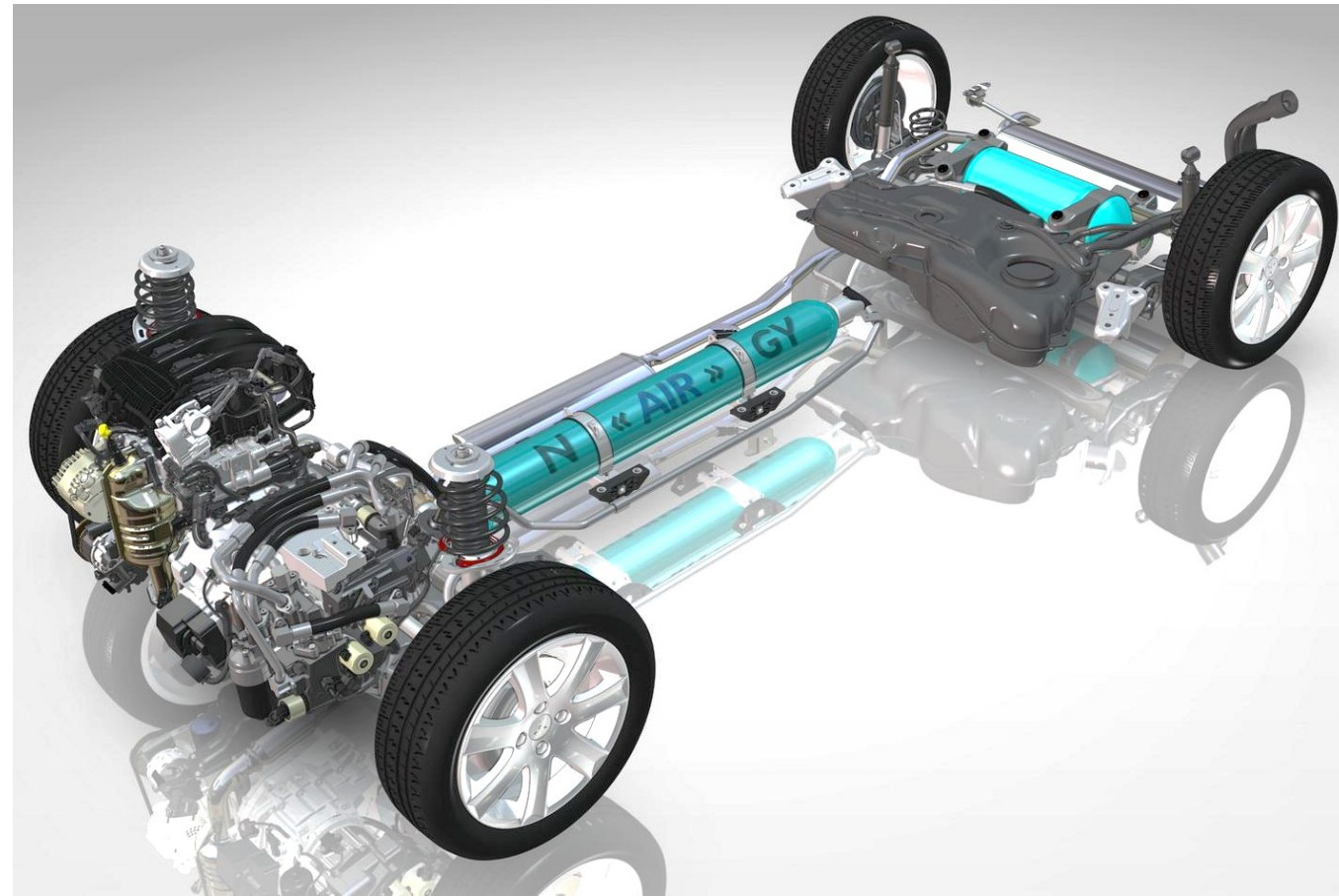
Гидропневматическая КЭУ

Гидропневматическая КЭУ разрабатывается компанией Bosch в сотрудничестве с PSA Peugeot Citroën.

В гидропневматической КЭУ двигатель внутреннего сгорания в сочетании с гидроагрегатом и аккумулятором давления азота дает кратковременный импульс ускорения. Система способна поддерживать бензиновые и дизельные двигатели в диапазоне, где они не работают с максимальной эффективностью.

Для коротких поездок, запасенная энергия может быть использована для работы исключительно на гидравлически генерируемой мощности, и транспортное средство производит нулевой уровень выбросов.

Для дальних поездок, или при движении на высоких скоростях, ускорение обеспечивается двигателем внутреннего сгорания.



Hybrid Air

An innovative Full Hybrid solution

Комбинированные энергетические установки

Автомобиль с КЭУ использует два **накопителя энергии** и два **преобразователя энергии**.

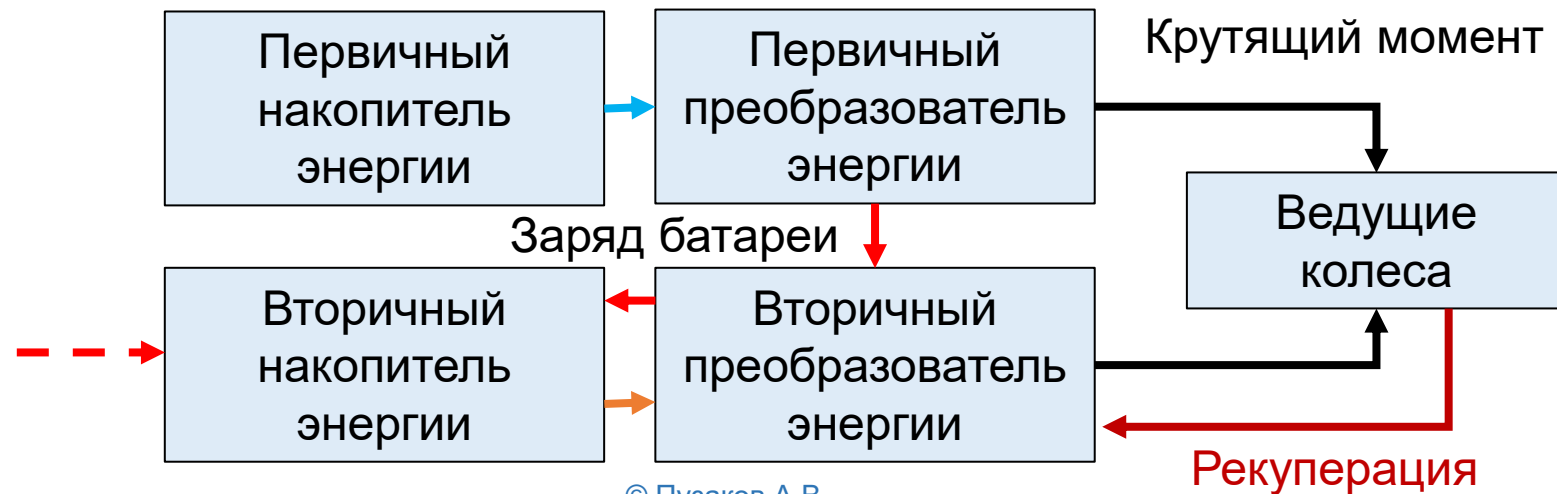
Имеется **первичный накопитель энергии** (топливный бак) и **вторичный накопитель энергии** (аккумуляторная батарея), причем первичный накопитель энергии имеет гораздо большую энергоемкость, чем вторичный. Энергия может передаваться от первичного накопителя энергии к вторичному, но не наоборот. Передача энергии от первичного накопителя к вторичному осуществляется с помощью преобразователей энергии.

Имеется **первичный преобразователь энергии** (двигатель внутреннего сгорания) и **вторичный преобразователь энергии** (электрическая машина). Часть **кинетической энергии** автомобиля может быть рекуперирована при торможении только вторичным преобразователем энергии и сохранена во вторичном накопителе энергии.

Оба преобразователя энергии могут передавать **тяговый крутящий момент** к колесу.

Преимущества автомобилей с КЭУ:

- снижение расхода топлива,
- снижение выбросов выхлопных газов (включая нулевые выбросы при электрическом вождении)
- увеличенный крутящий момент и выходная мощность для улучшения динамики работы.



КЭУ последовательного типа: автомобиль приводится в движение только за счет тягового электродвигателя, а ДВС используется только для вращения генератора, вырабатывающего электроэнергию. Питание тягового ЭД осуществляется от аккумуляторной батареи, генератора или обоих устройств одновременно. Тяговый ЭД также может действовать как генератор для зарядки аккумуляторной батареи посредством рекуперативного торможения. Поскольку ДВС не связан с потребляемой автомобилем мощностью, он может работать с оптимальным КПД и уровнем выбросов. Недостатком являются потери на преобразование энергии.

КЭУ параллельного типа: ДВС и тяговый ЭД подключены к приводному валу и могут приводить в движение автомобиль индивидуально или одновременно. В этой компоновке достаточно одной ЭМ, действующей как двигатель или генератор, что снижает вес и стоимость по сравнению с КЭУ последовательного типа.

КЭУ с разделением мощности: ДВС и ЭД подключены к планетарной коробке передач, которая действует как устройство разделения мощности, распределяя движущую силу между ДВС, генератором и тяговым двигателем по мере необходимости. Несмотря на то, что этот тип является самой сложной из трех систем, он обеспечивает более высокую эффективность.

КЭУ параллельного типа

В КЭУ параллельного типа одна или несколько электрических машин независимо друг от друга или совместно способствует приведению автомобиля в движение (*полный гибрид*) или форсированию ДВС (*мягкий гибрид*). Мощности электрической машины и ДВС складываются в общую мощность привода.

КЭУ параллельного типа подразделяют на *микрогибриды* (start-stop), *мягкие гибриды* (mild), *полные гибриды* (full) и *подключаемые гибриды* (plug-in). Отличием данных типов КЭУ является набор выполняемых функций.

Тип КЭУ	Набор поддерживаемых функций				
	Старт-Стоп	Рекуперация	Форсирование ДВС	Движение на электрической тяге	Внешняя зарядка
Микрогибрид	●	●			
Мягкий гибрид	●	●	●		
Полный гибрид	●	●	●	●	
Подключаемый гибрид	●	●	●	●	●

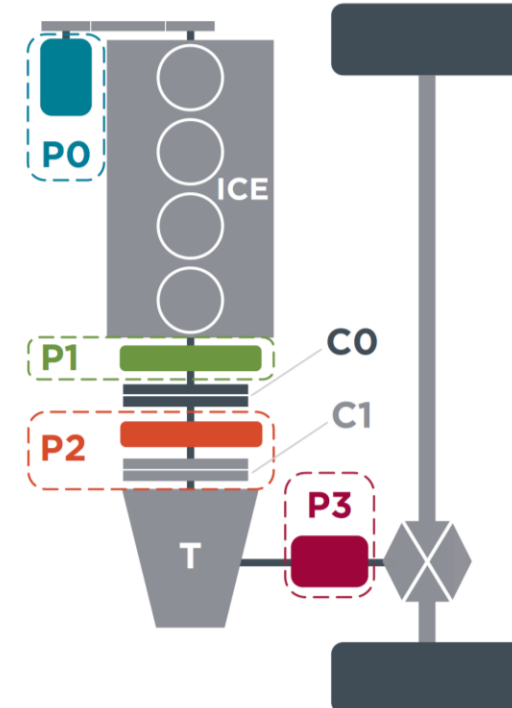
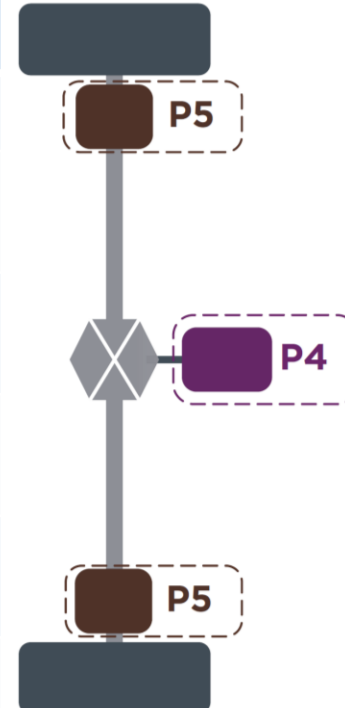
Классификация КЭУ параллельного типа

Под архитектурой (топологией, конфигурацией) понимают расположение основных компонентов комбинированной энергетической установки на автомобиле.

При КЭУ **параллельного типа** на привод автомобиля одновременно (параллельно) воздействуют ДВС и электрическая машина. Электрическая машина в КЭУ параллельного типа может быть расположена в разных точках трансмиссии, что имеет определенные преимущества и недостатки. Классификация, предложенная Daimler AG, стала общепринятой. Согласно ей, КЭУ параллельного типа могут иметь маркировку от **P0** до **P5**.

Буква **P** здесь обозначает параллельную архитектуру, а цифра обозначает место установки электрической машины в трансмиссии.

Тип	Характеристика
P0	Электрическая машина соединена с ДВС ремнем
P1	Электрическая машина соединена непосредственно с коленчатым валом ДВС
P2	Электрическая машина крепится сбоку (через ремень) или интегрирована между ДВС и трансмиссией
P3	Электрическая машина соединена через зубчатую передачу с трансмиссией
P4	Электрическая машина подключается через зубчатую передачу на задней оси транспортного средства
P5	Электрическая машина встраивается в колеса задней оси



Топология P0

Электрическая машина постоянно соединена посредством ременной передачи с ДВС. В этой топологии электродвигатель заменяет обычный генератор переменного тока. При условии, что электрическая машина имеет достаточно компактную конструкцию и не требует дополнительного водяного охлаждения, монтаж электрической машины требует минимальных дополнительных затрат. Однако натяжное устройство ремня должно быть адаптировано к различным рабочим состояниям, в которых возникает натяжение или провисание ремня.

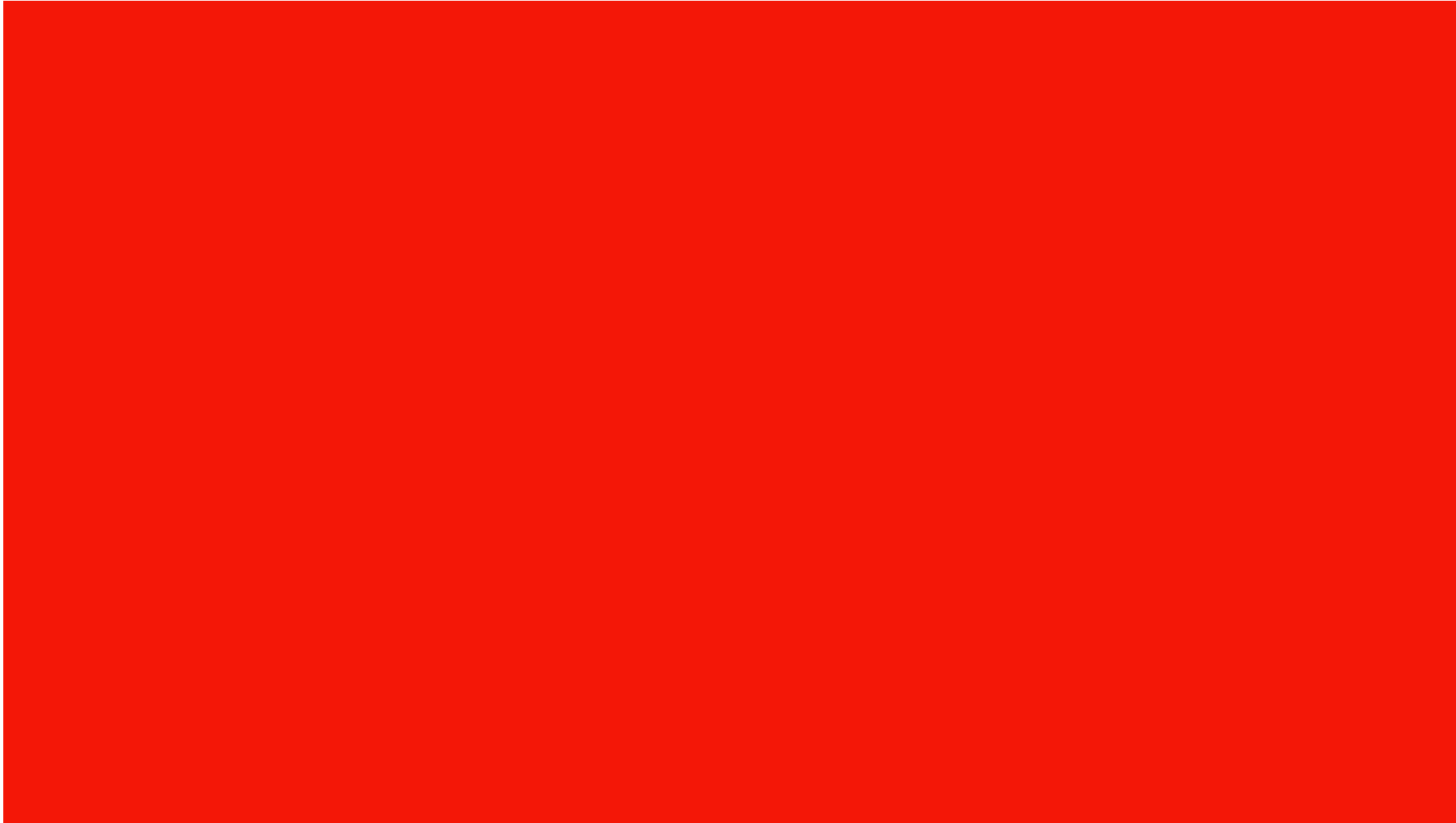
Поскольку электрическая машина постоянно соединена с ДВС, уменьшается энергия которую можно рекуперировать при замедлении. Выходная мощность электрической машины обычно составляет менее 10 кВт.

Следовательно, с топологией **P0** можно реализовать только мягкий гибрид. Потенциал экономии CO₂ ограничен.

При рабочем напряжении < 60 В нет необходимости принимать дорогостоящие меры для соблюдения требований по защите от поражения током.



Топология P0



Видеофрагмент (<https://youtu.be/SrAlKg2URpo>)

Топология P1

Когда электрическая машина установлена непосредственно на коленчатом валу ДВС, ременная передача с потерями отсутствует, что приводит к увеличению КПД. Кроме того можно использовать более мощную электрическую машину.

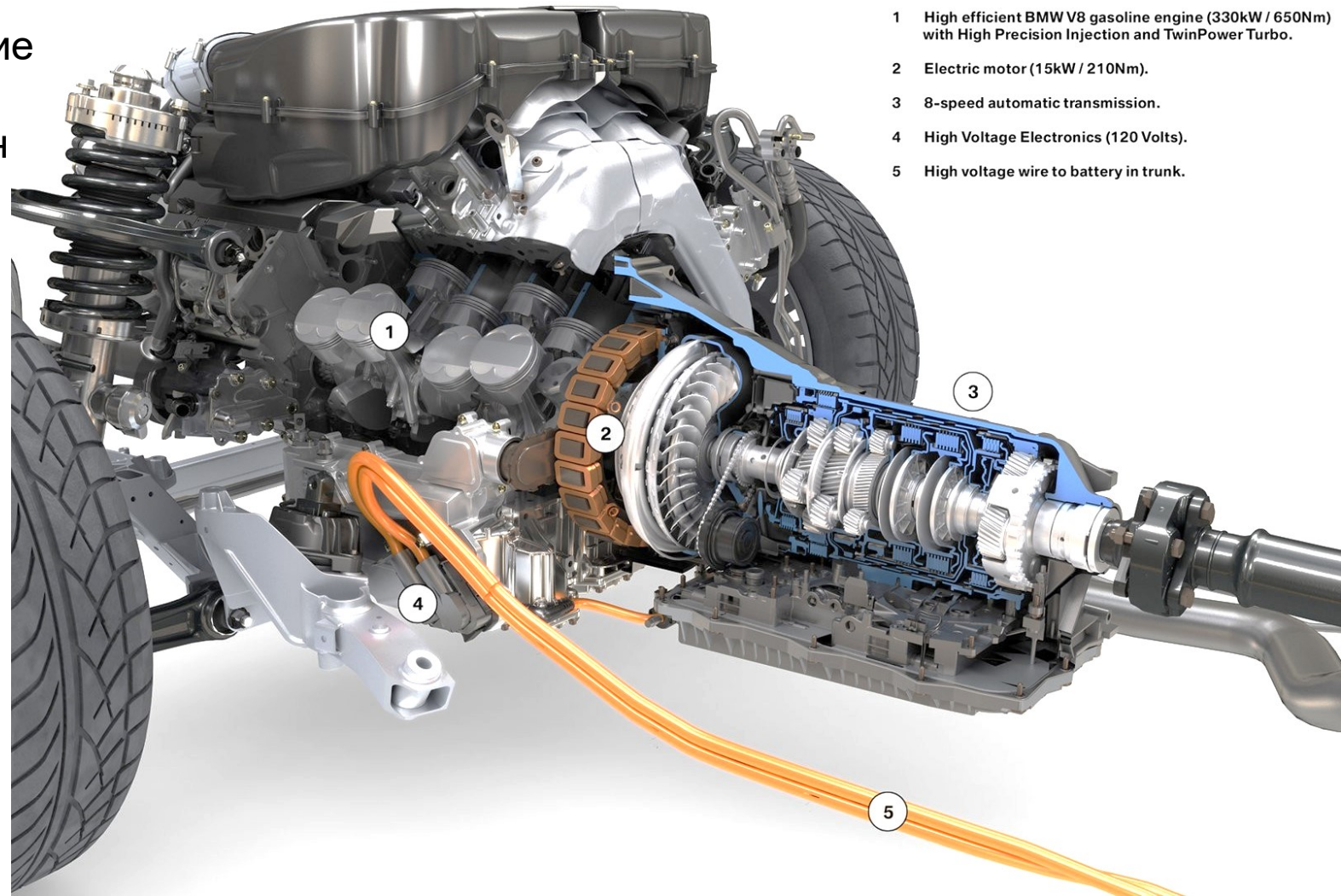
При такой конструкции привода движение на электрической тяге невозможно.

Электропривод может быть использован для форсирования ДВС.

Поэтому топология **P1** подходит только для мягкого гибрида.

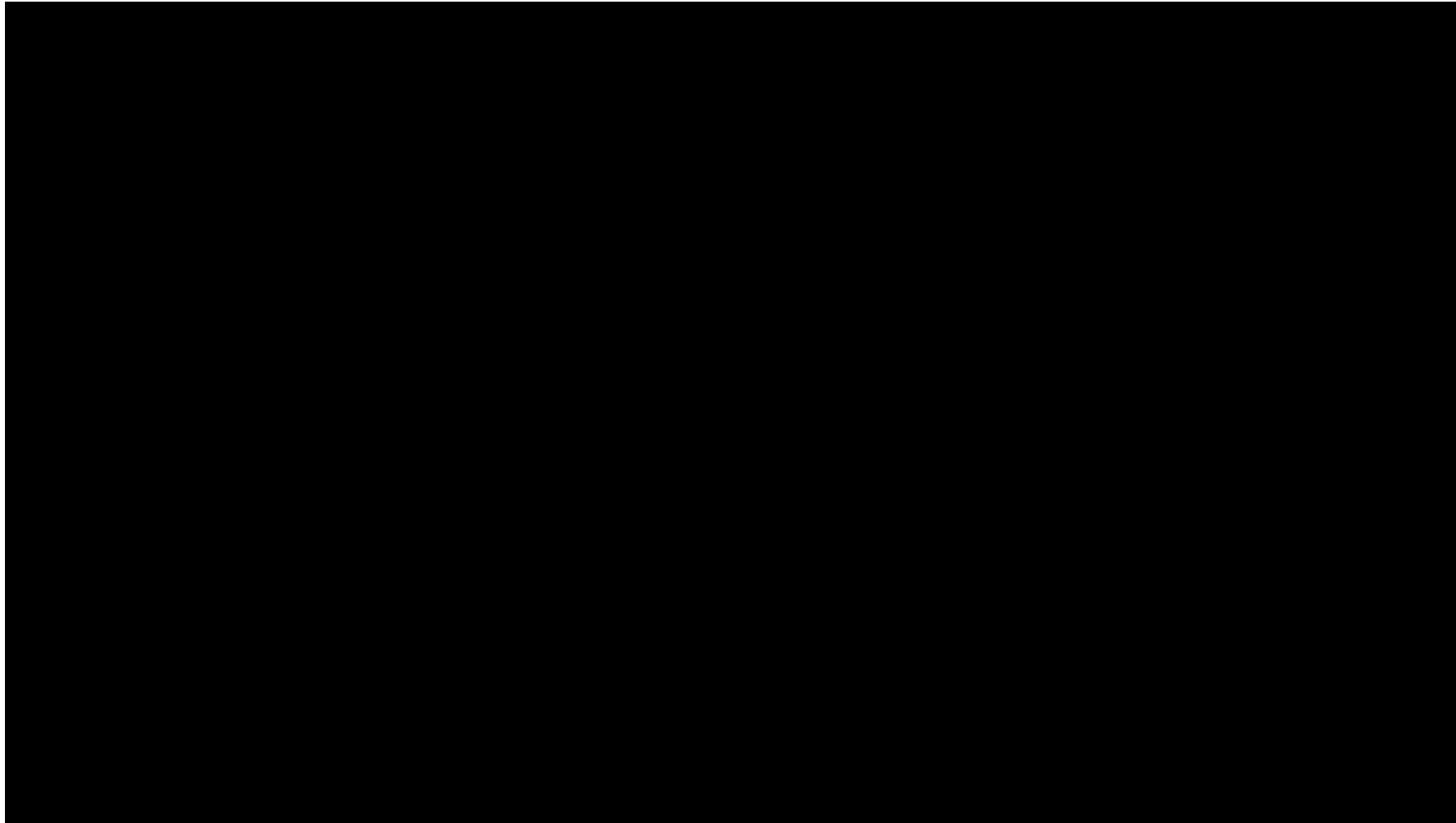
Выходная мощность электрической машины обычно составляет около 20 кВт.

Затраты на интеграцию электрической машины в трансмиссию выше, чем для топологии P0 с ременной передачей.



- 1 High efficient BMW V8 gasoline engine (330kW / 650Nm) with High Precision Injection and TwinPower Turbo.
- 2 Electric motor (15kW / 210Nm).
- 3 8-speed automatic transmission.
- 4 High Voltage Electronics (120 Volts).
- 5 High voltage wire to battery in trunk.

Топология Р1



Видеофрагмент (<https://youtu.be/QMIFyMCAIEI>)

Топологии P2 и P3

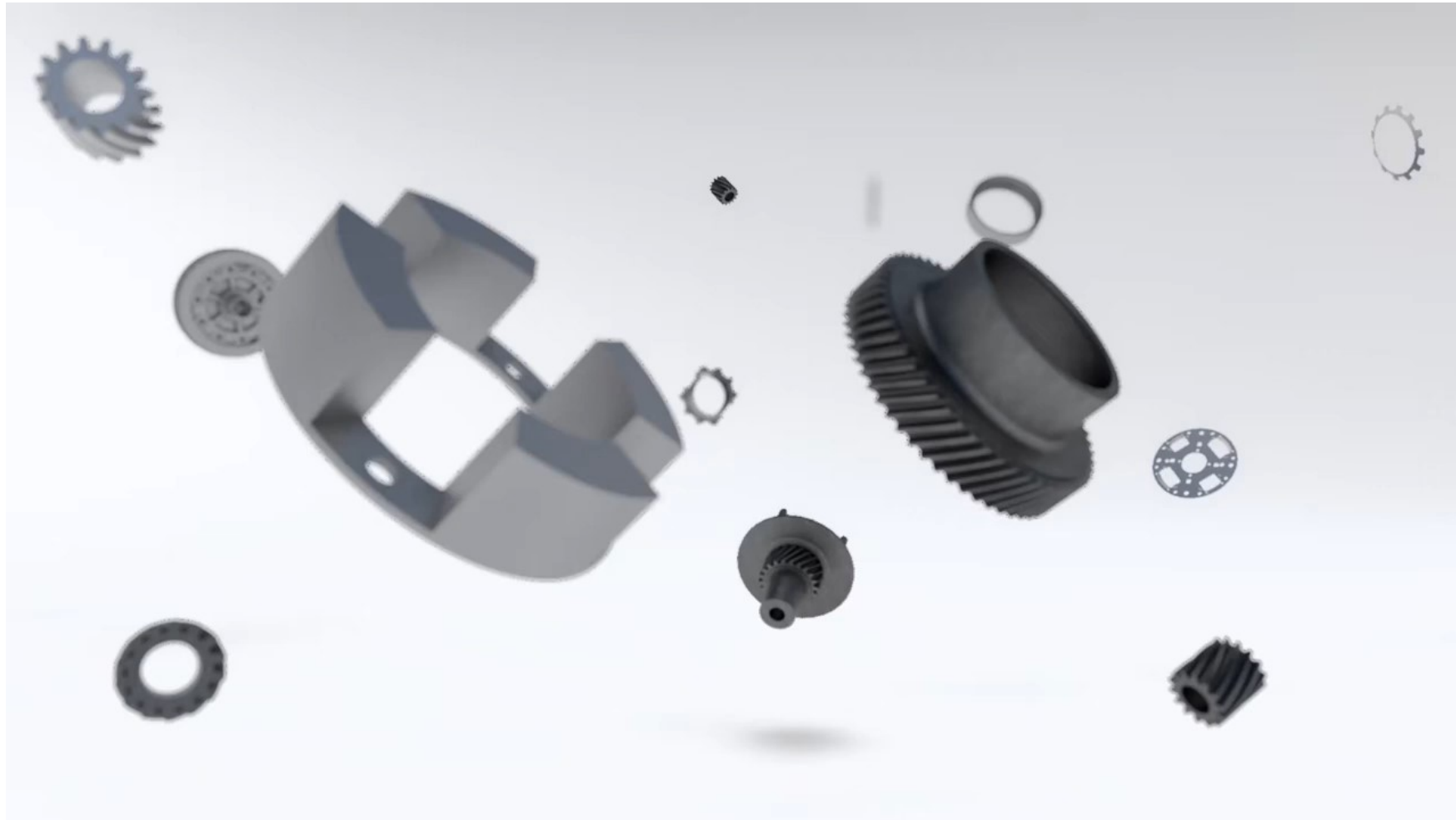
Если между ДВС и электрической машиной установлено **сцепление**, которое позволяет включать и выключать двигатель и, таким образом, отсоединять его от электрической машины, становится возможным чисто электрическое вождение с полным гибридом. ДВС может быть отключен на этапах замедления.

Во-первых, это увеличивает энергию, рекуперлируемую при ускорении. Во-вторых, он позволяет работать накатом, при этом транспортное средство свободно катится и замедляется только за счет аэродинамического сопротивления и трения качения.

Электрическая машина соединена с выходным валом коробки передач и, таким образом, постоянно соединена с колесами. Основным преимуществом этой архитектуры по сравнению с P0, P1 и P2 является большой потенциал рекуперации энергии, поскольку трение двигателя и трансмиссии, а также потери на вращение не уменьшают количество энергии, которая может быть рекуперирована. Это также позволяет использовать недорогие автоматизированные механические коробки передач (АМТ), в которых прерывание крутящего момента двигателя во время переключения передач может компенсироваться ЭМ.

С другой стороны, в отличие от компоновки P2, архитектура P3 не может извлечь выгоду из переменного передаточного числа трансмиссии для оптимизации рабочей точки ЭМ и усиления крутящего момента. Кроме того, поскольку ЭМ постоянно подключена к колесам, её нельзя использовать для остановки/запуска двигателя, и для запуска двигателя требуется обычный стартер или небольшая система P0.

Топологии P2 и P3



Видеофрагмент (<https://youtu.be/QMIFyMCAIEI>)

Топология P4

Реализация основана на электрификации отдельной оси (КЭУ с разделенными осями). ДВС и трансмиссия на ведущей оси, сочетается с осью с электрическим приводом (*e-axle*).

Распределение крутящего момента можно регулировать путем специального включения электропривода в широких пределах. Тяговый аккумулятор заряжается за счет рекуперативного торможения или от внешнего источника через зарядную розетку.

Недостатками этой топологии является то, что электрическая машина не сможет использовать различные передачи трансмиссии ДВС и будет подвержена потерям на высоких скоростях движения, если ее нельзя отсоединить от дифференциала главной передачи и колес.

Схема P4 может быть объединена со второй ЭМ, обычно в конфигурации P0 или P1 и называемой «P4+Px», что дает преимущества обеих схем, но увеличивает стоимость и сложность.

Топология Р4

Видеофрагмент (<https://youtu.be/QMIFyMCAIEI>)

Топология P5

Подобно компоновке P4, ЭМ в конфигурации P5 воздействуют также на ось, не приводимую в движение ДВС. Однако в компоновке P5 два ЭМ интегрированы в ступицы колес, непосредственно воздействуя на колеса (*мотор-колеса*).

Основное преимущество заключается в том, что обеспечивается индивидуальное управление неведомыми колесами, векторизация крутящего момента и индивидуальное управление тормозами для повышения безопасности и управляемости автомобиля.

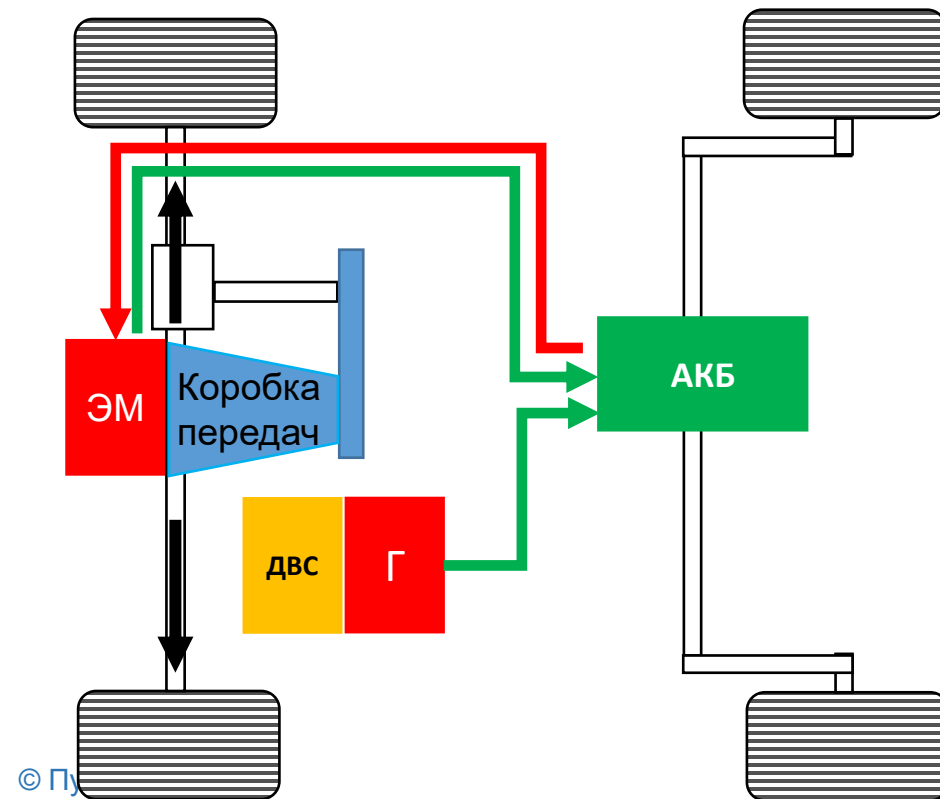
Недостатками конфигурации P5 являются повышенная стоимость из-за дополнительных ЭМ и большой неподрессоренной массы, а также риски для безопасности из-за неконтролируемых моментов отклонения от курса при выходе из строя одной из ЭМ.

КЭУ последовательного типа

В КЭУ последовательного типа механическая связь ДВС с колесами отсутствует. ДВС приводит в движение электрическую машину, которая работает как **генератор переменного тока**. Генерируемая таким образом электроэнергия вместе с энергией аккумулятора подается на вторую электрическую машину, которая приводит в движение транспортное средство. С точки зрения потоков энергии в этом случае существует последовательное соединение.

Избыточная механическая энергия, вырабатываемая ДВС при работе с высоким КПД, может накапливаться в аккумуляторной батарее и затем использоваться в дальнейшем при выключении ДВС.

По мере того, как ДВС и генератор переменного тока уменьшаются в размерах, эта система превращается в **расширитель диапазона** (*range extended*).



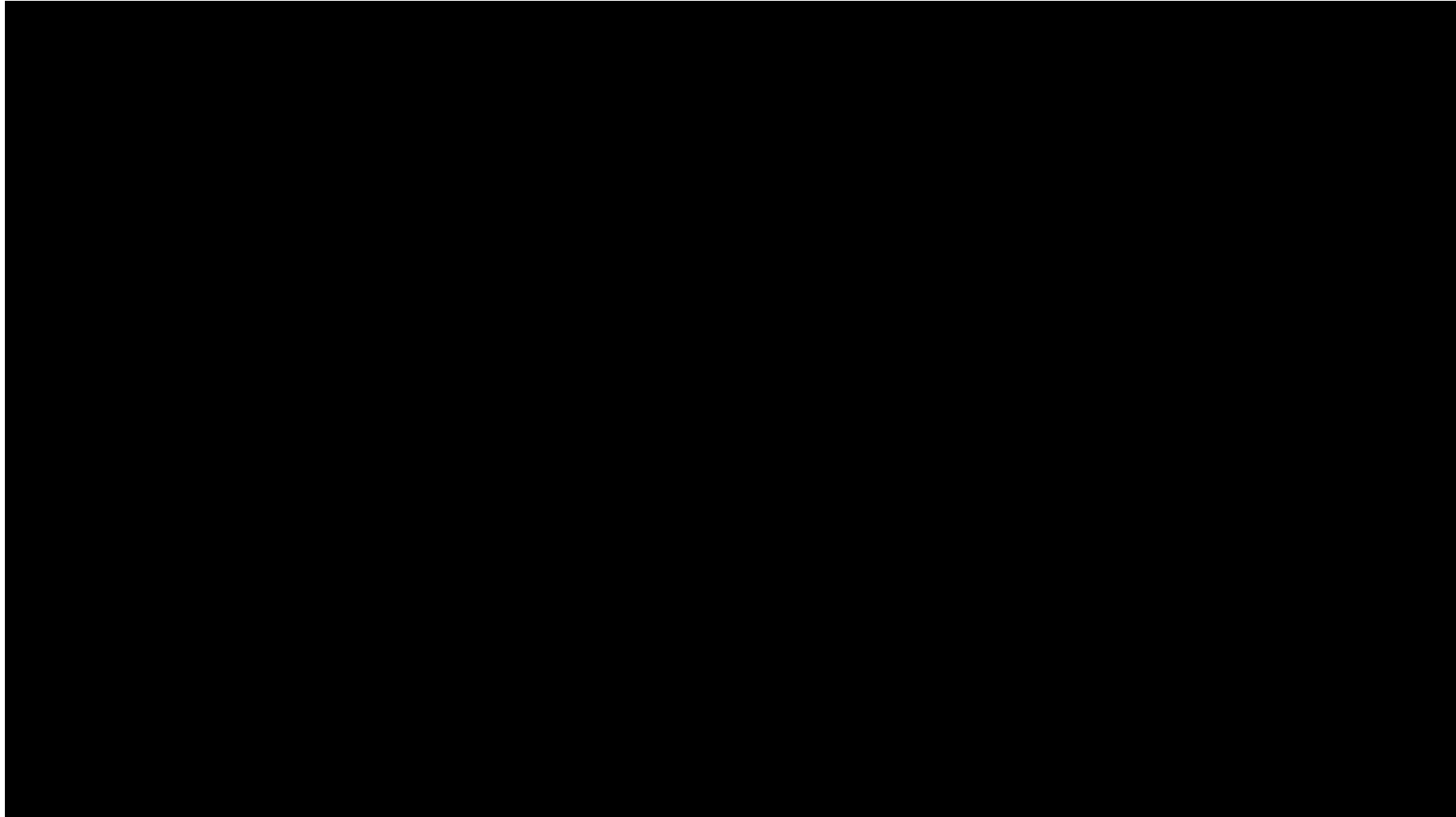
КЭУ последовательного типа

Недостатком КЭУ последовательного типа является то, что электрическую энергию приходится преобразовывать дважды. Потери, возникающие при двойном преобразовании энергии, выше, чем при чисто механической передаче посредством трансмиссии. Кроме того, в принципе отсутствует возможность присоединения мощности ДВС к мощности электрической машины (форсирование).

Высокому комфорту вождения, обеспечиваемому электрической машиной без изменения передаточного числа, и возможности работы ДВС в точке оптимального потребления, противостоит высокая сложность конструкции двух электрических машин.

Благодаря двойному преобразованию энергии КЭУ последовательного типа экономичен только при определенных условиях эксплуатации. На низких и средних скоростях положительные стороны возможности свободного выбора рабочей точки двигателя перевешивают отрицательные стороны. На высоких скоростях преобладают высокие потери.

КЭУ последовательного типа



Видеофрагмент (<https://youtu.be/VAukw-PlqR0>)

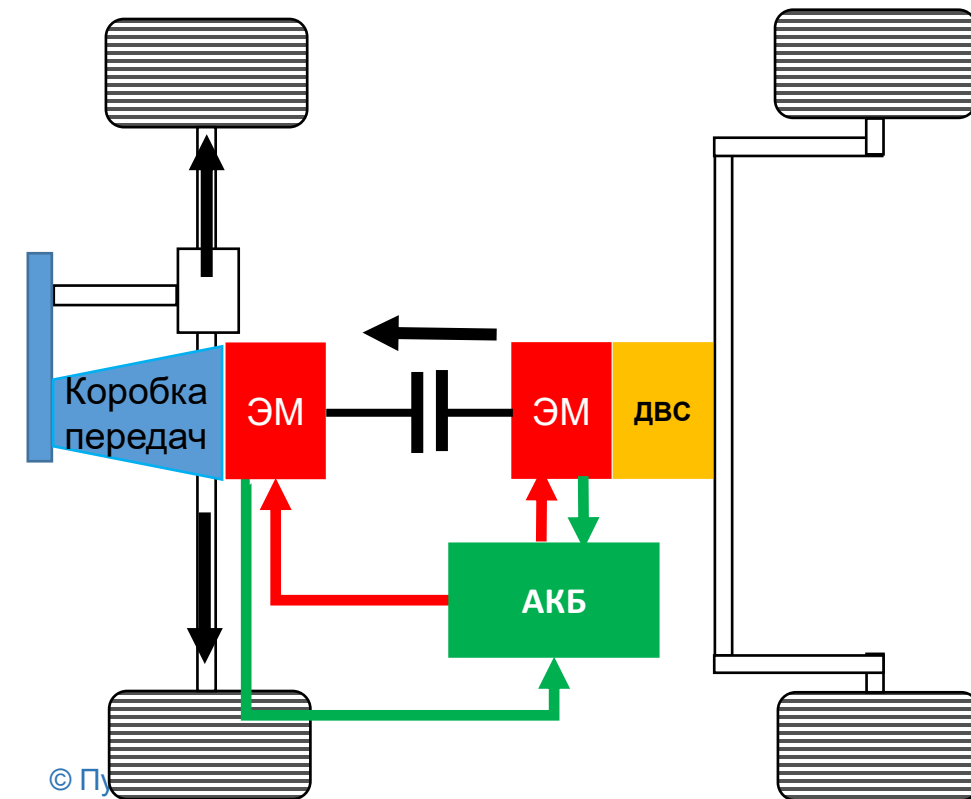
КЭУ последовательно-параллельного типа

КЭУ последовательного типа расширяется до последовательно-параллельного путем установления **сцепления** между двумя электрическими машинами. КЭУ последовательно-параллельного типа может использовать преимущества КЭУ последовательного типа на низких скоростях и обойти недостатки на более высоких скоростях за счет включения сцепления.

Когда сцепление замкнуто, КЭУ последовательно-параллельного типа ведет себя как КЭУ параллельного типа. Поскольку двойное преобразование энергии ограничено диапазоном более низких скоростей и выходной мощности, для КЭУ последовательно-параллельного типа достаточно электрических машин меньшего размера, чем требуется для КЭУ последовательного типа.

По сравнению с КЭУ последовательного типа преимущество компоновки снижается за счет механической связи ДВС с ведущими колесами.

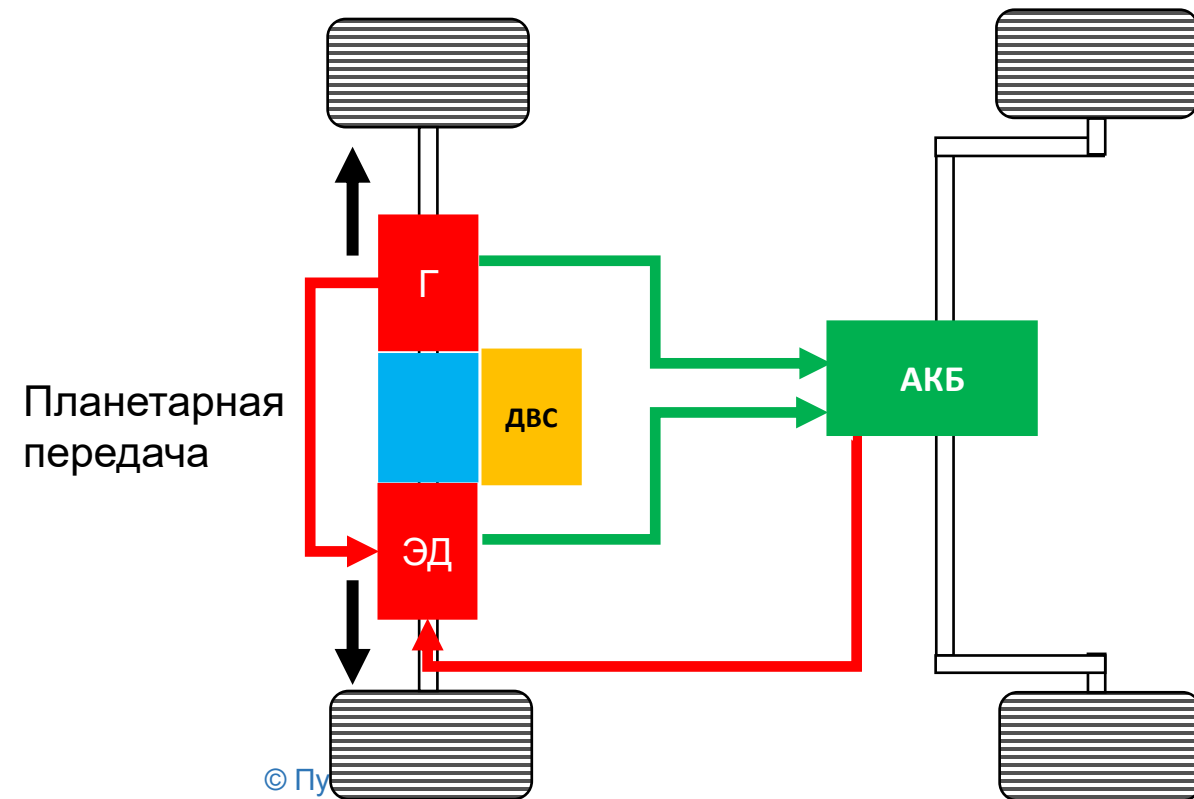
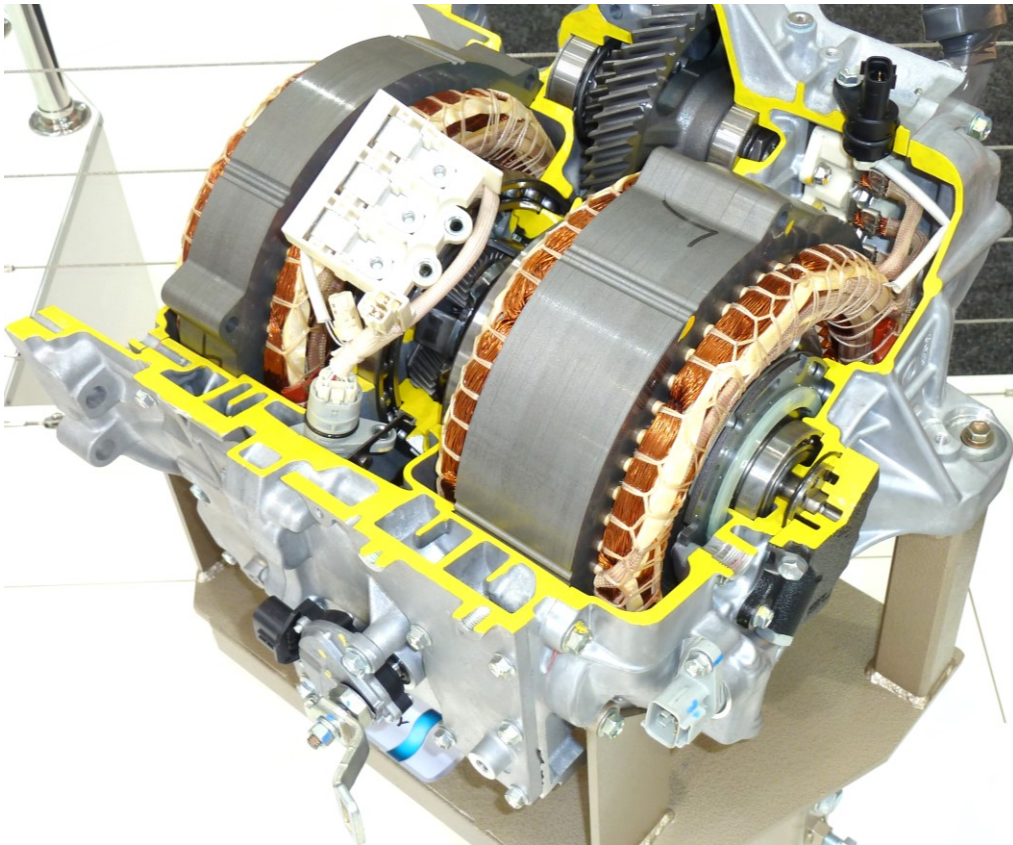
По сравнению с КЭУ параллельного типа для выполнения одной задачи требуются две электрические машины.



КЭУ с разделением мощности

КЭУ с разделением мощности (*Power-split hybrid drive*) сочетают в себе характеристики КЭУ параллельного и последовательного типа. Часть механической энергии передается через планетарную передачу на первую электрическую машину, которая функционирует как **генератор** и преобразует механическую энергию в электрическую (**электрический путь**).

Оставшаяся мощность вместе со второй электрической машиной приводит в движение транспортное средство (**механический путь**).



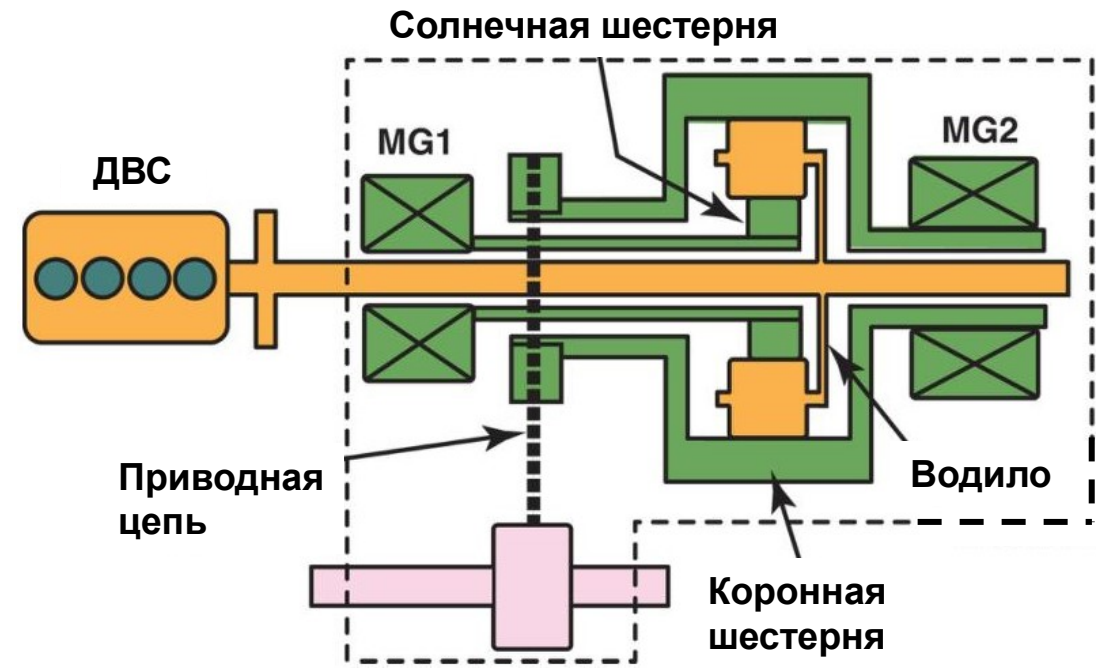
КЭУ с разделением мощности

Для разделения входной мощности ДВС подключается к **водилу** планетарной передачи, генератор – к **солнечной шестерне**, а электродвигатель к **коронной шестерне** и выходу. Это обеспечивает плавный пуск и плавную регулировку передаточного отношения. Батарею можно заряжать или разряжать, изменяя генерируемую и подаваемую электрическую энергию двух электрических машин. Благодаря кинематическим граничным условиям в планетарном ряду частота вращения двигателя может регулироваться в определенных пределах независимо от скорости движения. Таким образом, ДВС может работать в оптимальном рабочем диапазоне.

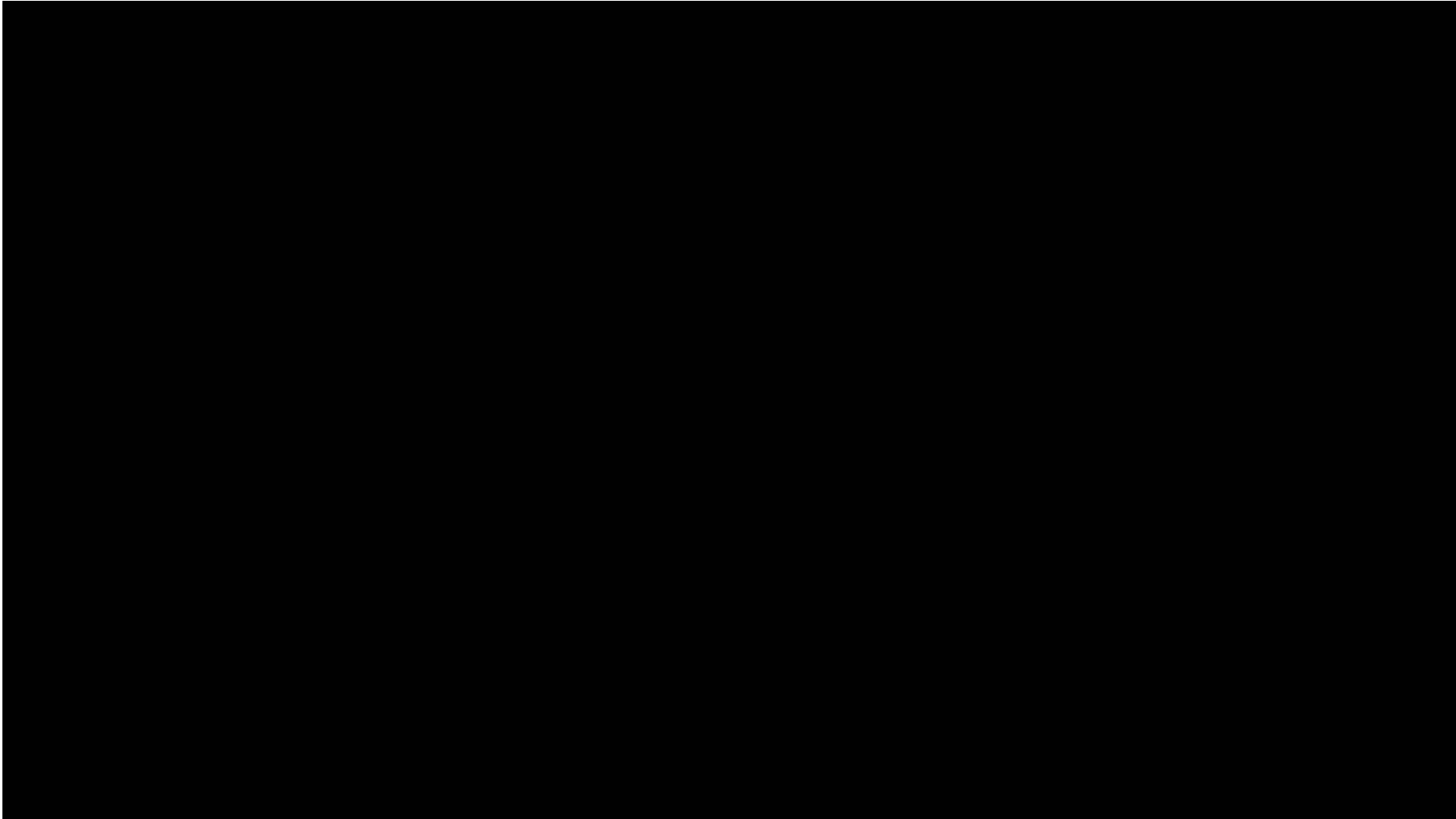
Как и в случае с КЭУ последовательного типа, электрический путь передачи может использоваться в случае низкой потребности в мощности. Для более высоких требований к мощности также доступен механический путь передачи.

Однако невозможно произвольно переключаться между механическим и электрическим путями передачи.

Таким образом, КЭУ с разделением мощности может добиться существенной экономии топлива на низких и средних скоростях. Никакой дополнительной экономии топлива на высоких скоростях добиться невозможно.



КЭУ с разделением мощности



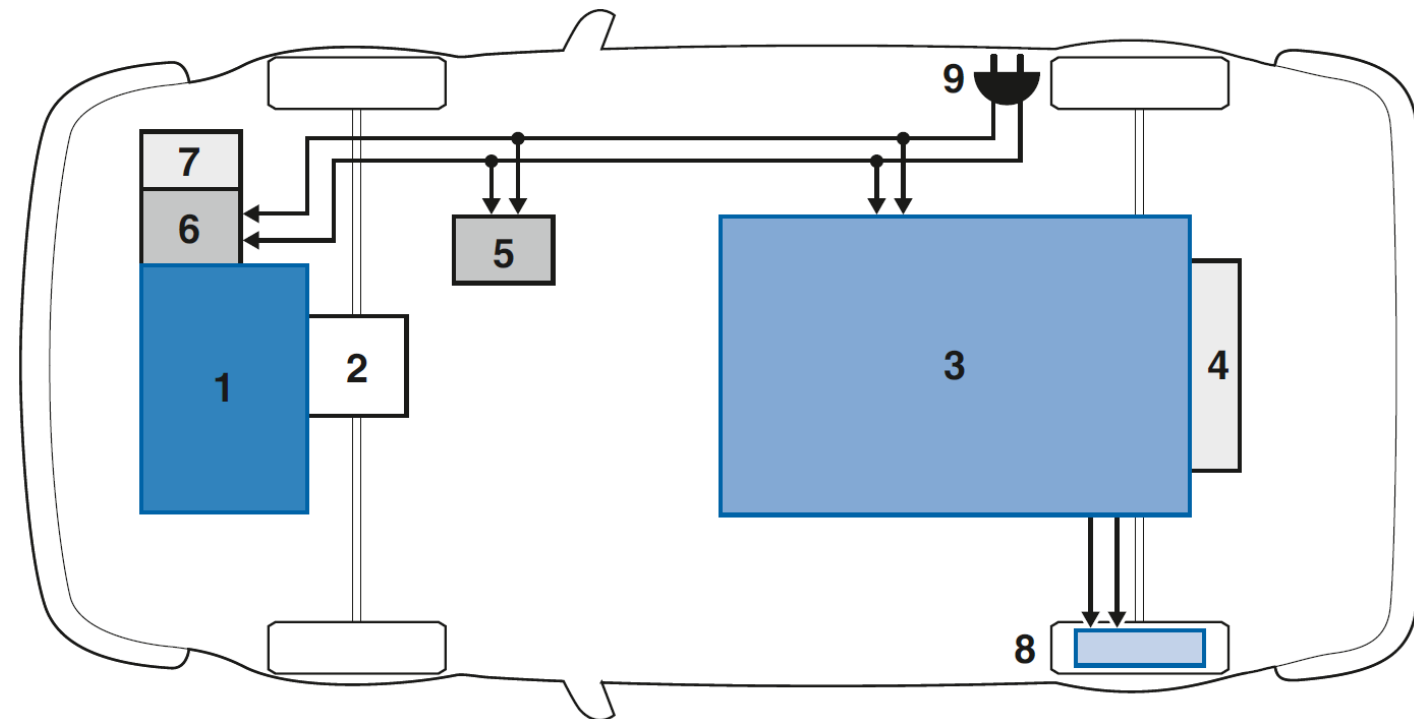
Видеофрагмент (<https://youtu.be/jNuixuVhc5E>)

Батарейный электромобиль

Классическая компоновка батарейного электромобиля предполагает использование **одного** электродвигателя, приводящего в движение передние или задние колеса. Большинство электромобилей этого типа не имеют коробки передач, поскольку двигатель работает с подходящим крутящим моментом во всем диапазоне скоростей автомобиля.

В полноприводном варианте каждая ось автомобиля приводится собственным электродвигателем. При **трёхмоторной** компоновке два ТЭД размещают на задней оси, один – на передней. В случае использования **четырёх** ТЭД на каждой оси располагается по два ТЭД.

1 – Тяговый электродвигатель, 2 – Редуктор (одно- или многоступенчатый), 3 – Тяговая АКБ (высоковольтная), 4 – Система управления аккумулятором (BMS), 5 – Преобразователь постоянного тока (DC/DC), 6 – Инвертор, 7 – ЭБУ автомобиля, 8 – Рекуперативная тормозная система, 9 – Зарядный разъем.



Батарейный электромобиль



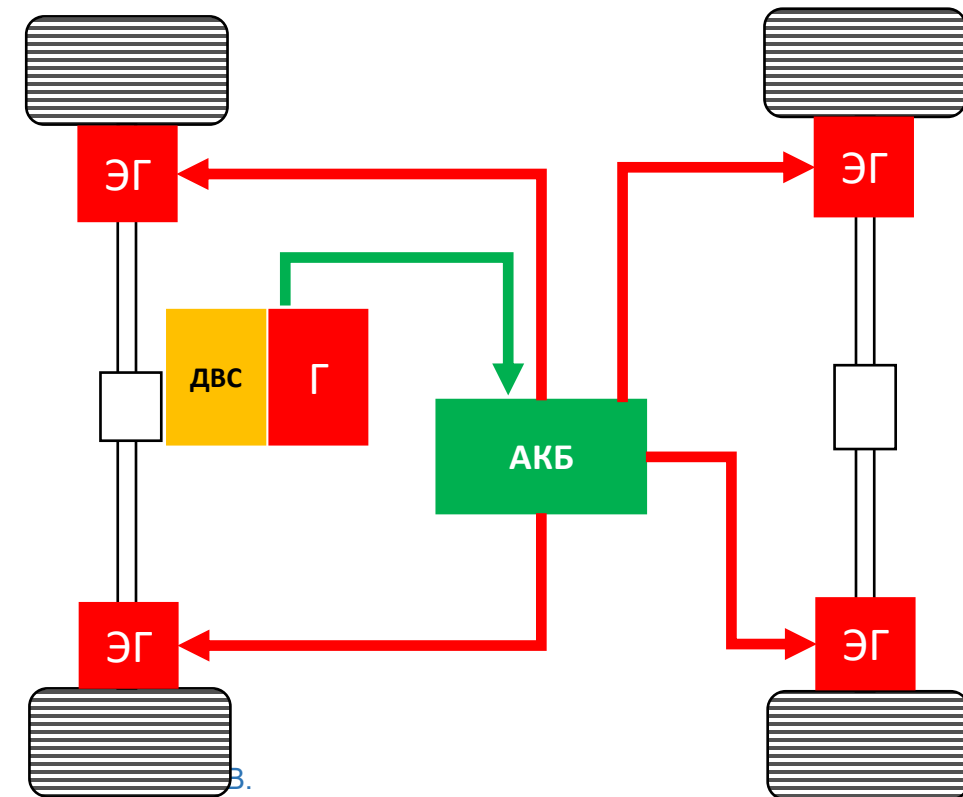
Видеофрагмент (<https://youtu.be/jNuixuVhc5E>)

При индивидуальном приводе в каждом колесе размещен электродвигатель-генератор, который может выполнять функции как двигателя, так и генератора (в процессе торможения).

Управляемое мотор-колесо значительно повышает маневренность автомобиля – все колеса могут вращаться с разной скоростью и даже в разных направлениях. Машина способна разворачиваться на 360 градусов, парковаться в самых сложных условиях и мгновенно адаптироваться к качеству дорожного покрытия.

Облегчается обеспечение активной безопасности движения – любые алгоритмы систем ABS, ESP, ПБС, Brake Assist и других легко программируются в блоке управления и могут воздействовать на каждое колесо индивидуально.

Большая неподрессоренная масса резко снижает комфорт и управляемость, повышает износ подвески, передает на кузов больше вибраций.



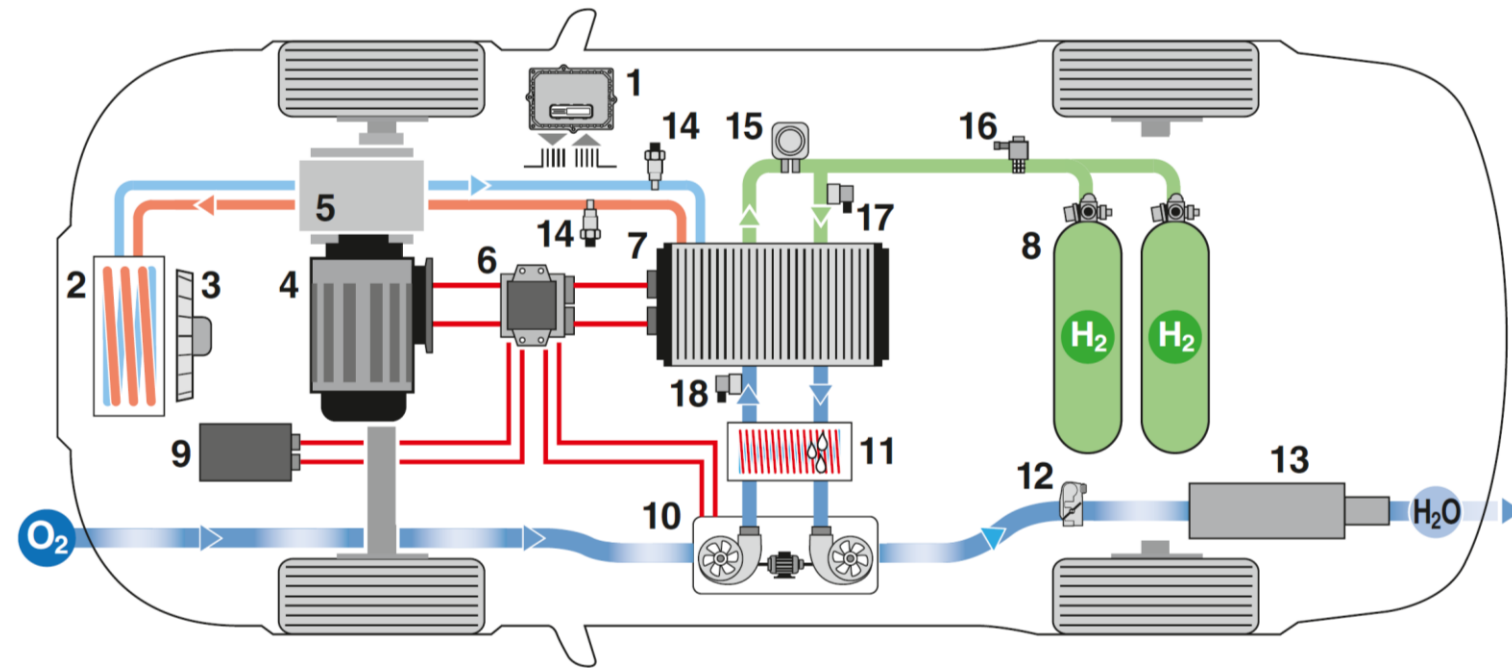
Мотор-колёса



Электропривод топливных элементов состоит из электропривода и системы топливных элементов. Блок топливных элементов состоит из отдельных топливных элементов.

Топливные элементы представляют собой электрохимические преобразователи, которые преобразуют химическую энергию топлива непосредственно в электрическую энергию. Для автомобильного транспорта в настоящее время наиболее интересен низкотемпературный топливный элемент с протонообменной мембраной (LTPMFC; температура $< 100\text{ }^{\circ}\text{C}$), работающий на водороде (H_2) и кислороде (O_2). В таком топливном элементе водород реагирует с кислородом, образуя воду, выделяя при этом электрическую энергию.

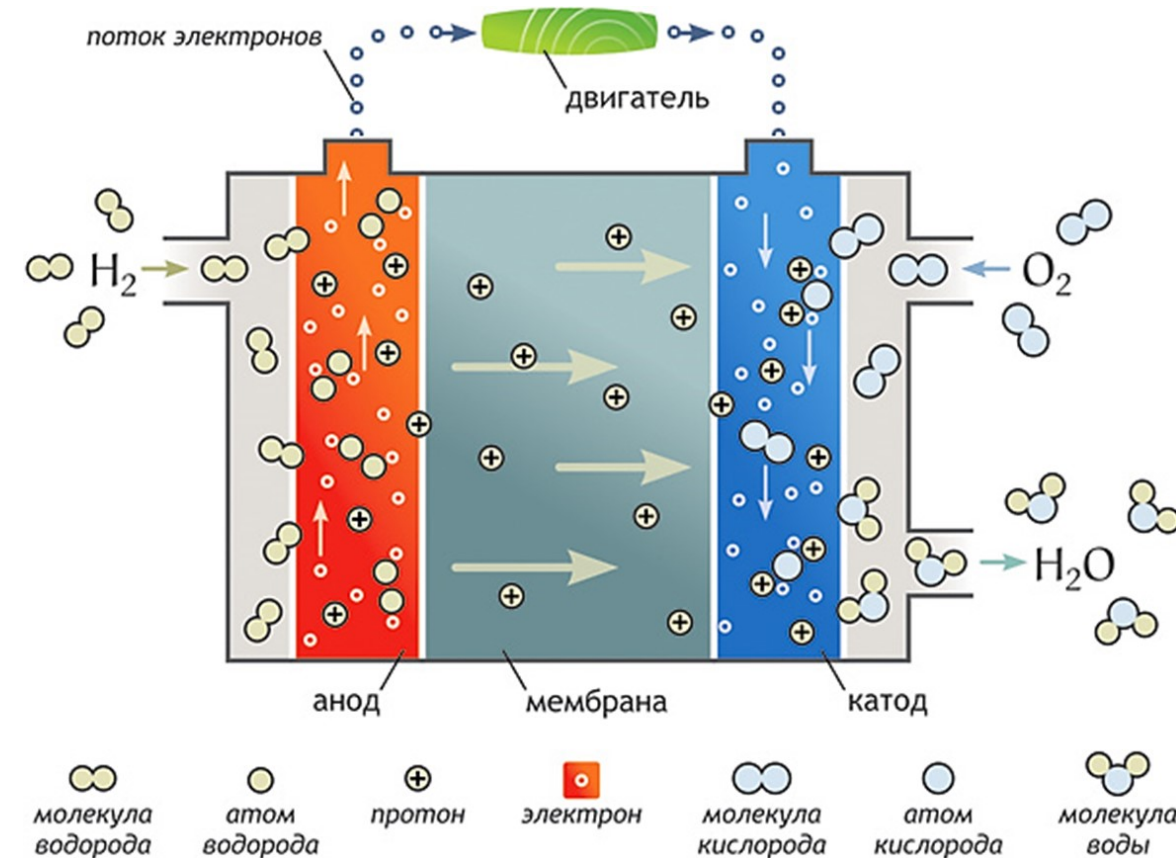
- 1 – ЭБУ топливных элементов, 2 – Радиатор, 3 – Вентилятор радиатора, 4 – Тяговый электродвигатель, 5 – Трансмиссия, 6 – Силовая электроника, 7 – Блок топливных элементов, 8 – Водородный бак, 9 – Высоковольтная батарея, 10 – Компрессор, 11 – Осушитель, 12 – Регулятор давления, 13 – Глушитель, 14 – Датчик температуры-давления, 15 – Вентилятор рециркуляции, 16 – Запорный клапан бака, 17 – Клапан дозирования водорода, 18 – Предохранительный клапан.



Топливный элемент – это электрохимическое устройство, в котором энергия окисления топлива преобразуется в электрическую.

Типичная модель **водородного** топливного элемента работает следующим образом:

1. Водород поступает к аноду топливного элемента, где посредством электрохимического процесса в присутствии платинового катализатора расщепляется на электроны и положительные ионы (протоны)
2. Электроны идут в обход протонной мембраны, генерируя электрический ток
3. Протоны диффундируют сквозь мембрану
4. Затем электроны и протоны объединяются с кислородом воздуха на стороне катода, образуя воду и выделяя тепло



Электромобили на топливных элементах имеют то преимущество, что обеспечивают привычное удобство обычных транспортных средств, например, короткое время дозаправки и большой запас хода при существующей инфраструктуре H_2 .

Как и в ДВС, накопление и преобразование энергии разделены, что позволяет увеличить дальность действия за счет расширения бака. В частности, приводы на топливных элементах имеют преимущество, когда речь идет о транспортных средствах, которые требуют высокой доступности, полезной нагрузки и запаса хода. Примеры включают грузовые автомобили, городские и междугородные автобусы, а также коммерчески используемые транспортные средства, такие как такси и служебные автомобили. Топливные элементы не производят никаких парниковых газов или загрязнителей воздуха локально во время работы.

По нескольким причинам имеет смысл расширить трансмиссию, включив в нее тяговый аккумулятор:

- энергия, полученная за счет рекуперативного торможения, может временно сохраняться,
- динамический отклик трансмиссии может быть дополнительно увеличен,
- эффективность трансмиссии можно дополнительно повысить за счет смещения точки нагрузки системы топливных элементов.

Электромобиль на топливных элементах



Видеофрагмент (<https://youtu.be/-tmuiHm5sbc>)

Заключение

Согласно ГОСТ Р 59102 – 2020 «Электромобили и автомобильные транспортные средства с комбинированными энергоустановками. Термины и определения» автомобили с тяговым электроприводом можно разделить на электромобили (аккумуляторные или с топливными элементами) и автомобили с комбинированными энергоустановками.

Автотранспортное средство с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) – транспортное средство, оснащенное энергетической установкой обеспечивающей механическое перемещение АТС, состоящей из двух и более различных преобразователей энергии и содержащей не менее двух различных накопителей любого вида энергии, необходимой для работы преобразователей.

Автомобиль с КЭУ использует два накопителя энергии и два преобразователя энергии. Имеется первичный накопитель энергии (топливный бак) и вторичный накопитель энергии (аккумуляторная батарея). Энергия может передаваться от первичного накопителя энергии к вторичному, но не наоборот. Передача энергии от первичного накопителя к вторичному осуществляется с помощью преобразователей энергии. Имеется первичный преобразователь энергии (двигатель внутреннего сгорания) и вторичный преобразователь энергии (электрическая машина). Оба преобразователя энергии могут передавать тяговый крутящий момент к колесу.

КЭУ последовательного типа: автомобиль приводится в движение только за счет тягового электродвигателя, а ДВС используется только для вращения генератора, вырабатывающего электроэнергию. Питание тягового ЭД осуществляется от аккумуляторной батареи, генератора или обоих устройств одновременно. Тяговый ЭД также может действовать как генератор для зарядки аккумуляторной батареи посредством рекуперативного торможения. Поскольку ДВС не связан с потребляемой автомобилем мощностью, он может работать с оптимальным КПД и уровнем выбросов. Недостатком являются потери на преобразование энергии.

Заключение

КЭУ параллельного типа: ДВС и тяговый ЭД подключены к приводному валу и могут приводить в движение автомобиль индивидуально или одновременно. В этой компоновке достаточно одной ЭМ, действующей как двигатель или генератор, что снижает вес и стоимость по сравнению с КЭУ последовательного типа.

КЭУ с разделением мощности: ДВС и ЭД подключены к планетарной коробке передач, которая действует как устройство разделения мощности, распределяя движущую силу между ДВС, генератором и тяговым двигателем по мере необходимости. Несмотря на то, что этот тип является самой сложной из трех систем, он обеспечивает более высокую эффективность.

При КЭУ параллельного типа на привод автомобиля одновременно (параллельно) воздействуют ДВС и электрическая машина. Электрическая машина в КЭУ параллельного типа может быть расположена в разных точках трансмиссии, что имеет определенные преимущества и недостатки. Классификация, предложенная Daimler AG, стала общепринятой. Согласно ей, КЭУ параллельного типа могут иметь маркировку от P0 до P5.

Классическая компоновка батарейного электромобиля предполагает использование одного электродвигателя, приводящего в движение передние или задние колеса. Большинство электромобилей этого типа не имеют коробки передач, поскольку двигатель работает с подходящим крутящим моментом во всем диапазоне скоростей автомобиля. В полноприводном варианте каждая ось автомобиля приводится собственным электродвигателем. При трёхмоторной компоновке два ТЭД размещают на задней оси, один – на передней. В случае использования четырёх ТЭД на каждой оси располагается по два ТЭД.

Электромобили на топливных элементах обеспечивают привычное удобство обычных транспортных средств, например, короткое время дозаправки и большой запас хода при существующей инфраструктуре H₂. Как и в ДВС, накопление и преобразование энергии разделены, что позволяет увеличить дальность действия за счет расширения бака.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите тенденции, вызвавшие рост популярности автомобилей с тяговым электроприводом.
2. Каковы основные преимущества и недостатки электромобилей?
3. Каковы основные преимущества и недостатки автомобилей с комбинированными энергоустановками?
4. Какие факторы, на Ваш взгляд могут привести к увеличению сегмента, занимаемого автомобилями с тяговым электроприводом?
5. Приведите классификацию автомобилей с тяговым электроприводом.
6. Охарактеризуйте автомобили с комбинированными энергоустановками по выполняемым функциям.
7. Охарактеризуйте автомобили с комбинированными энергоустановками по размещению электродвигателей.
8. Охарактеризуйте гибриды с увеличенным запасом хода.
9. Устройство и принцип работы КЭУ параллельного типа.
10. Достоинства и недостатки КЭУ параллельного типа.
11. Устройство и принцип работы КЭУ с разделением мощности.
12. Достоинства и недостатки КЭУ с разделением мощности.
13. Устройство и принцип работы КЭУ последовательного типа.
14. Достоинства и недостатки КЭУ последовательного типа.
15. Устройство и принцип работы индивидуального привода колёс.
16. Достоинства и недостатки индивидуального привода колёс.
17. Охарактеризуйте отечественные разработки в области автомобилей с тяговым электроприводом.
18. Устройство и принцип работы электромобилей на топливных элементах.
19. Устройство и принцип работы батарейных электромобилей

1. **Автомобильная техника: введение в специальность:** учебник / Пер. с немецкого. – Астана: Фолиант, 2017. – 720 с.
2. **Автомобильный справочник.** Пер. с англ. ООО «СтарСПб» - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2012. – 1280 с.
3. **Палагута, К.А.** Сетевые и диагностические протоколы современного автомобиля [Электронный ресурс]: — Электрон. дан.— М.: МГИУ (Московский государственный индустриальный университет), 2009. — 170 с.
4. **Смирнов Ю.А., Муханов В.В.** Электронные и микропроцессорные системы управления автомобилей: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 624 с.
5. **Соснин Д.А.** Электрическое, электронное и автотронное оборудование легковых автомобилей (Автотроника-4): учебник для вузов /Д.А. Соснин. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2015. – 416 с.
6. **Техническая эксплуатация, диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания:** учебник (с электронными приложениями / А.В Александров, С.В. Алексахин, И.А. Долгов, В.А. Тармин, М.Г. Шатров . – М.: РИОР, 2020. – 448 с.
7. **Рыбаков В.К.,** Исмоилов М.И. Шины передачи данных в электронных системах современных автомобилей. Под ред. проф. А. Б. Николаева: учебное пособие. М.: МАДИ(ГТУ), 2008. – 50 с.