

А. А. Капустин, В. А. Раков

ГИБРИДНЫЕ АВТОМОБИЛИ

Допущено УМО вузов РФ по образованию
в области транспортных машин
и транспортно-технологических комплексов
в качестве учебного пособия

Вологда
2016

УДК 629.331.5(075)

ББК 39.33

К 20

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского государственного
архитектурно-строительного университета *Ю.Г. Котиков*;
директор автотехцентра «Гибрид-Сервис»
(г. Санкт-Петербург) *В.Н. Попов*

Капустин, А.А.

К 20 Гибридные автомобили: учебное пособие / А.А. Капустин, В.А. Раков ;
М-во образ. и науки РФ, Вологод. гос. ун-т. – Вологда : ВоГУ, 2016. – 96 с.
ISBN 978–5–87851–653–2

Цель учебного пособия – подготовить студентов автомобильных специальностей к обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей с комбинированными силовыми установками, которые всё более интересны российским и зарубежным автомобилистам.

Приведена история развития конструкции гибридных автомобилей. Рассмотрены особенности компоновки и конструкции агрегатов и узлов автомобилей с комбинированными энергетическими силовыми установками. Обобщены особенности эксплуатации гибридных автомобилей, применяемые технологии диагностики, обслуживания и ремонта, рекомендуемые эксплуатационные материалы, вопросы охраны труда и техники безопасности. Сделана оценка надёжности гибридных автомобилей.

В учебном пособии систематизированы материалы компаний-производителей, а также отечественных и зарубежных специалистов, работающих в области гибридных автомобилей, опубликованные в открытой печати.

Допущено УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «**Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов** (профиль подготовки «**Автомобили и автомобильное хозяйство**»». Решение Президиума Совета УМО вузов РФ Минобрнауки России по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов №101-У/15-рг 109-18 от 01 сентября 2015 г.

УДК 629.331.5(075)

ББК 39.33

ISBN 978–5–87851–653–2

© ФГБОУ ВО «Вологодский
государственный университет», 2016
© Капустин А.А., Раков В.А., 2016

ПРЕДИСЛОВИЕ

Термин «гибридный автомобиль» («Vehicles Hybrid») означает, что для движения автомобиль использует более одного источника энергии. В литературе встречаются и другие термины: автомобиль с комбинированной энергетической установкой (КЭУ) или с комбинированной силовой установкой (КСУ). Встречаются также словосочетания: гибридный привод, комбинированный двигатель, гибридная силовая установка (ГСУ), электромеханическая система, гибридная система электроснабжения и др. В Техническом регламенте «О безопасности колёсных транспортных средств» (Приложение № 10) [1] дано определение понятия «Силовая гибридная установка», которая состоит из двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и электродвигателя (в иностранной литературе чаще используют термин «мотор-генератор», который и будут применять авторы). Автомобили с такими установками и стали называть «гибридные автомобили», по аналогии с «паровыми автомобилями», «электромобилями», «бензиновыми автомобилями» и т.п.

По дорогам мира ездит около миллиарда автомобилей, из которых 99 % приводятся в движение двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Но для полезной работы ДВС используют только треть энергии сжигаемого топлива. Остальное теряется в тепле и трении механизмов и в сопротивлении движению автомобиля. Аналитики предсказывают, что ближайшее будущее за гибридными автомобилями с различными силовыми установками, в которых ДВС работает на режимах наиболее высокого КПД. Однако, доведение гибридных автомобилей до широкого потребительского рынка требует продолжения исследований и испытаний.

При эксплуатации гибридного автомобиля его необходимо обслуживать и ремонтировать. Большинство автомобилистов об управлении гибридным автомобилем, сложнейшим современным механизмом, имеют поверхностное представление. Настоящее учебное пособие преследует цель обобщения опыта производителей и предприятий по обслуживанию гибридных автомобилей.

Во введении сделан обзор сложившегося рынка гибридных автомобилей, подробно рассмотрены общее устройство и технические характеристики гибридных автомобилей, особенности и работа ДВС совместно с инвертором и высоковольтной аккумуляторной батареей, показано специальное исполнение трансмиссии и тормозной системы. Особое внимание уделено бортовой системе диагностики состояния агрегатов гибридной силовой установки. Указываются меры по охране труда при обслуживании и ремонте. В работе над рукописью авторы использовали открытые печатные материалы производителей, дилеров и СТО, а также результаты собственных конструкторских работ и исследований по эксплуатации гибридных автомобилей. Преимущества гибридных автомобилей, указываемые производителями, вызывают споры, часто не объективные. Это снижает их популярность и мешает привлечь массового потребителя.

Авторы благодарят за высказанные замечания профессора Ю.Г. Котикова и директора автотехцентра по обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей «Гибрид-Сервис» в г. Санкт-Петербург В.Н. Попова.

Авторы просят читателей сообщить свое мнение об учебном пособии и ответить на вопрос: чем Вам интересны гибридные автомобили, а также какую информацию Вы хотели бы увидеть в будущем?

Отзывы и замечания можно присылать по адресу: индекс 160000 Вологодская область, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15, кафедра «Автомобили и автомобильное хозяйство», e-mail: vyacheslav.rakov@mail.ru или по тел. 8-921-125-68-11.

ВВЕДЕНИЕ

Гибридные автомобили различаются по типу применяемой в конструкции силовой установки. Чаще всего используют комбинацию из первичного источника энергии ДВС и вторичного – аккумуляторной батареи. Такой гибридный автомобиль называют «электрическим» (hybrid electric vehicle). Существуют другие, менее популярные, типы гибридных автомобилей: «пневматический» (pneumatic hybrid vehicle), «маховичный» (flywheel hybrid vehicle), «гидравлический» (hydraulic hybrid vehicle) [2].

В декабре 1997 года с конвейера автомобильной компании Toyota сошёл первый серийный гибридный автомобиль с силовой установкой, в которой основной поток энергии, вырабатываемой бензиновым ДВС, получали два генератора, подключённые к электродвигателям ведущих колёс автомобиля. Излишки электроэнергии направлялись распределительным устройством в высоковольтную аккумуляторную батарею, вторичный накопитель энергии. Такая конструкция позволила ДВС снизить расход топлива, но в то время экономия топлива стояла далеко не на первом месте среди преимуществ автомобиля. Поэтому прибыль от продаж гибридных автомобилей не покрывала расходы на их производство, и компания работала в убыток. Это был смелый шаг, рассчитанный на близкий успех. С тех пор к работам подключились крупные производители автомобилей Honda, Ford, Volkswagen, Audi, Lexus, Volvo, Hyundai, Chevrolet, Chrysler, Renault, Citroen и др.

Официальные продажи гибридных автомобилей в России начались в 2005 году с модели премиум класса Lexus. С начала продаж по конец 2015 года через дилерские центры продано более 15 тыс. таких автомобилей. Самый популярный в мире гибридный автомобиль Toyota Prius продается в нашей стране с 2009 года и за последующие 6 лет их продано около 1 тыс. шт.

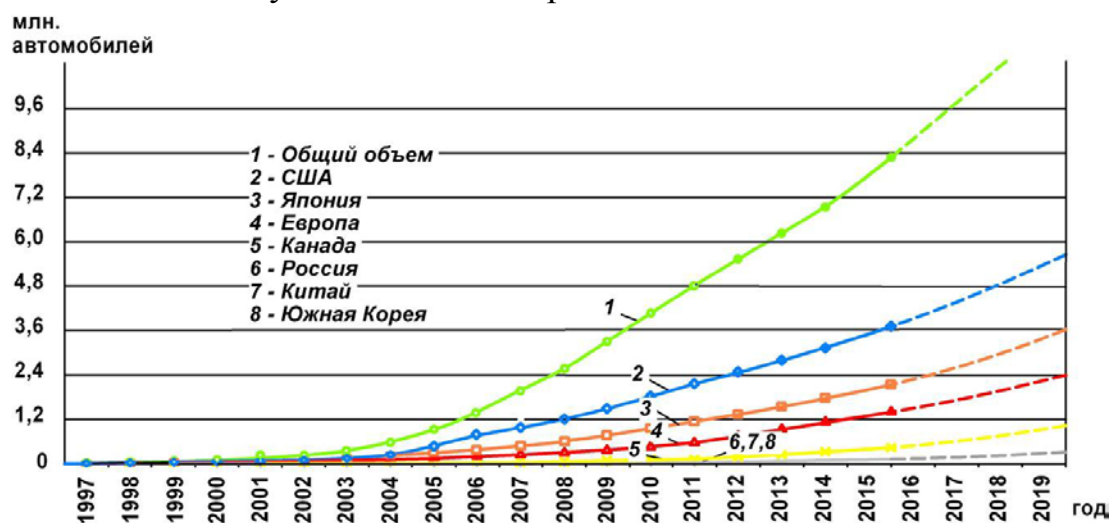


Рис. 1. Статистика продаж гибридных автомобилей по странам и всему миру с прогнозом развития до 2020 года

Согласно собранным данным, к 2017 году число проданных гибридных автомобилей во всем мире достигнет 10 млн. шт. (рис. 1). При этом динамика продаж имеет устойчивую тенденцию к росту [3]. Численность мирового автопарка гибридных автомобилей в количественном выражении увеличивается каждые 5 лет примерно на 3 млн. единиц. С учетом существующих тенденций к 2020 году автопарк гибридных автомобилей может достичь 14 млн. шт., а ежегодные продажи гибридов – 10% от общего числа продаваемых в мире автомобилей.

На рисунке 2 показана диаграмма распределения мирового автопарка гибридных автомобилей по маркам и моделям [3].

Анализ показывает, что большая часть автопарка гибридных автомобилей (более 80%) имеет ГСУ смешанного типа. Наиболее распространенным гибридным автомобилем в мире на сегодня является модель Prius компании Toyota, занимающая более 50% автопарка. Это самый доступный гибридный автомобиль в России, его стоимость в ценах 2015 года составляет 1,6 млн. руб. А самым доступным серийным гибридным автомобилем в мире является Honda Fit (его стоимость в Японии составляет 18,6 тыс. долл.).

Основным преимуществом гибридных автомобилей, способствующим их распространению, по мнению покупателей, является низкий расход топлива в городском ездовом цикле. Средний расход топлива у гибридных легковых автомобилей, представленный в прил. 1-2, составляет 6,5 л/100 км в городском цикле движения и 4,8 л/100 км – по шоссе. Для гибридных автомобилей с полным приводом – 10,6 и 7,6 л/100 км соответственно.

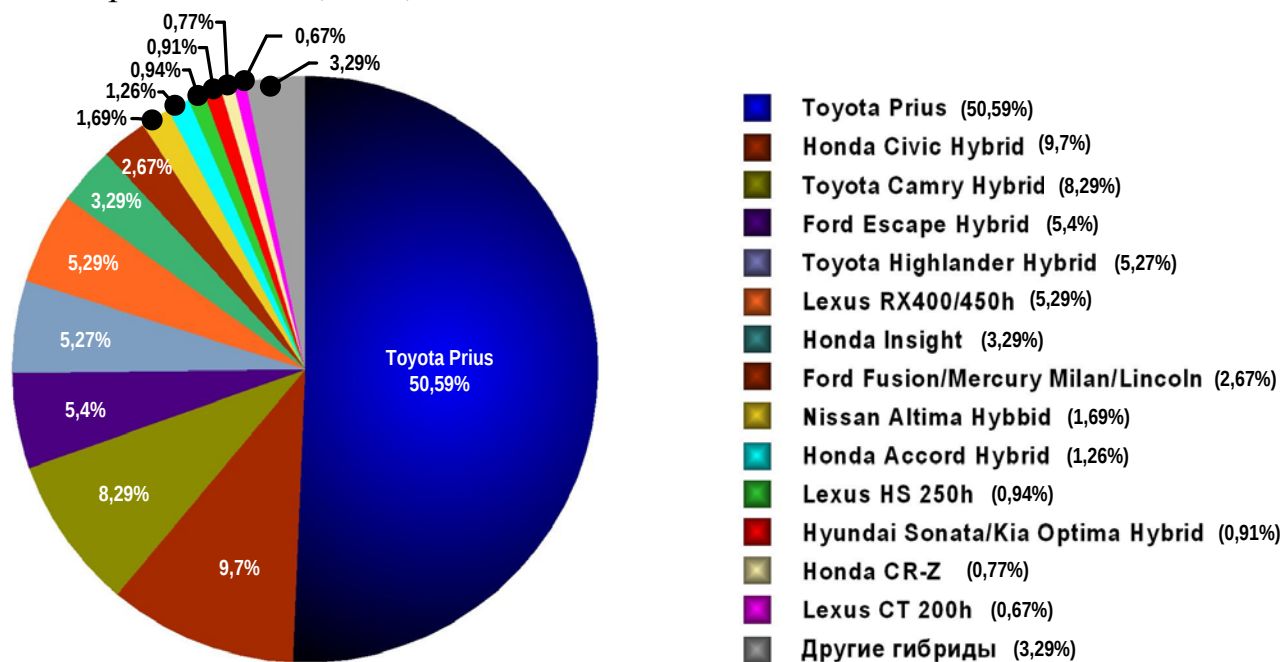


Рис. 2. Распределение проданных гибридных автомобилей по маркам и моделям

Помимо низкого расхода топлива гибридная силовая установка позволяет получить и другие преимущества. Благодаря электродвигателю, развивающему максимальный крутящий момент при трогании, у гибридного автомобиля улучшается динамика разгона. Вместо ступенчатого переключения, гидротрансформатора или вариатора трансмиссия гибридного автомобиля имеет планетарный зубчатый редуктор, соединяющий между собой MG1, MG2, бензиновый ДВС и ведущую ось, не требующий переключения передач, что удобно для движения в городе. Применение рекуперативного торможения снизило на 80% нагрузку на тормозные механизмы и позволило уменьшить массу неподрессоренных элементов кузова, сделав езду более комфортной. Гибридные автомобили имеют широкий набор опций в стандартных комплектациях, таких как: навигационная система, климатическая установка, передние и задние подушки безопасности, автоматическое включение фар и стеклоочистителей, электроусилитель руля, противобуксовочная система, система курсовой устойчивости и др.

Высокая эксплуатационная надежность поддерживается закономерностями изменения технического состояния гибридного автомобиля. Вероятность проявления любой неисправности трансмиссии у гибридных автомобилей при пробеге 100 тыс. км составляет 15%. Для сравнения: у автомобиля с бензиновым двигателем эта величина приближается к 100 %. Срок службы дорогостоящих узлов гибридной трансмиссии составляет 8 – 10 лет, а отказы высоковольтной аккумуляторной батареи, как правило, возникают из-за неправильной эксплуатации автомобиля, например: езда без бензина. Отказы по причине старения встречаются достаточно редко [4]. Распространению гибридных автомобилей препятствует стоимость комплектующих: высоковольтной аккумуляторной батареи, инвертора и мотор-генераторов, делающих автомобиль дороже на 40%, по сравнению с бензиновым автомобилем, а также нехватка СТО. Это снижает интерес покупателей и замедляет расширение рынка.

К настоящему времени общее число моделей официально продаваемых в России гибридных автомобилей увеличилось до 15. Среди них: **Lexus** RX 450h, GS 450h, LS 600h L, CT 200h; **Mercedes-Benz** S400 Hybrid; **BMW** Active Hybrid 7, ActiveHybrid X6; **Toyota** Prius; **Porsche** Cayenne S Hybrid, Panamera S Hybrid; **Cadillac** Escalade Hybrid, **Audi** Q5 Hybrid, Audi A6 Hybrid; **Volkswagen** Touareg Hybrid; **Mitsubishi** Outlander Hybrid.

Собственного серийного производства гибридных автомобилей в России пока не существует, однако, согласно Стратегии развития автопрома, предусмотрено стимулирование производства и спроса на гибридные автомобили и электромобили, для чего планируется поддержка развития смежных отраслей металлургического, электрохимического и химического производства, а также повышение степени локализации используемых комплектующих.

Крупнейшие отечественные автопроизводители: ВАЗ, УАЗ, ГАЗ, КамАЗ, ЛиАЗ уже имеют собственные разработки и проводят испытания моделей с гибридными силовыми установками, электромобилей и электробусов.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЯХ

В существующих гибридных автомобилях передача энергии от первичного двигателя на ведущий вал колёс автомобиля реализуется по нескольким схемам: последовательная, параллельная или смешанная. Некоторые компании делят гибридные автомобили на «мягкие» (mild hybrids), где вспомогательный источник энергии выступает только в роли ассистента, «полные» (full hybrids), способные некоторое время двигаться только на вспомогательном источнике энергии и «подзаряжаемые» (plug-in hybrids). Технические характеристики эксплуатируемых в России гибридных автомобилей представлены в приложениях 1-2.

На рисунке 3 показана схема с последовательным расположением элементов ГСУ (mild hybrids), применённая на автомобилях марки Chevrolet Volt, Mitsubishi Outlander.

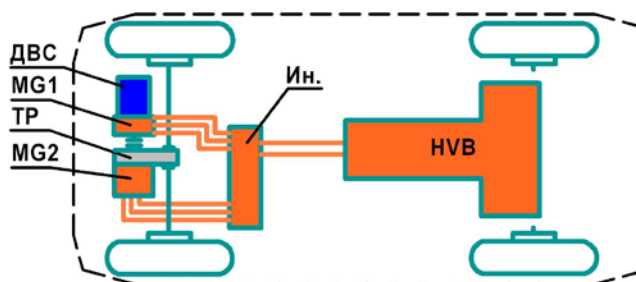


Рис. 3. Схема гибридной силовой установки последовательного типа

Это, по сути, электромобиль, но со встроенным бензиновым ДВС, который при разряде высоковольтной батареи (HVB) или движении с высокой скоростью способен вращать приводной вал трансмиссии (ТР). Мотор-генератор MG1 связан с ДВС и преобразует его механическую энергию в электрическую, мотор-генератор MG2 предназначен для создания крутящего момента на ведущих колесах и рекуперации энергии торможения.

Запас хода на одной электрической тяге до 80 км, с включённым ДВС – до 550 км. ДВС во время работы нагружен сопротивлением трансмиссии или мотор-генератора (MG1), работающим в режиме генератора. При достаточном заряде аккумуляторов ДВС отключается. Основным критерием экономичности является расход электроэнергии и топлива.

Параллельная схема ГСУ (mild hybrid) (рис. 4) применяется в автомобилях Honda Insight, Honda Civic, Mercedes-Benz S-400 Hybrid, BMW 7-Series Limousine Active Hybrid и др.

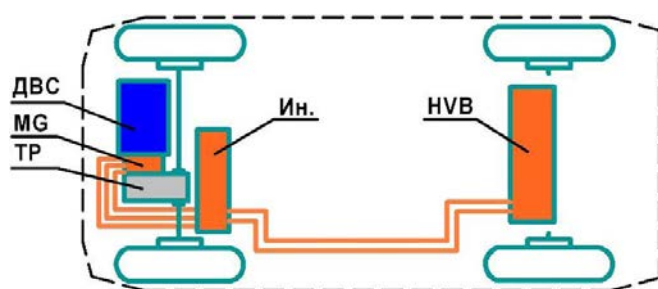
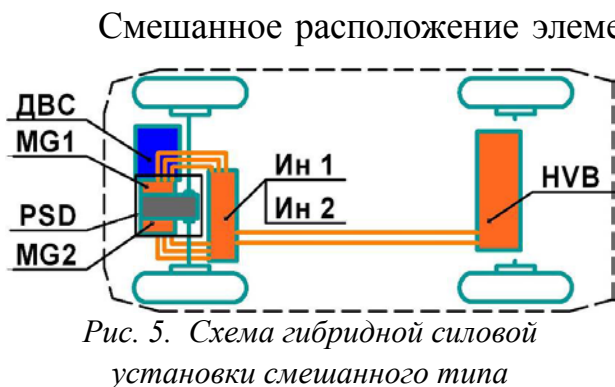


Рис. 4. Схема гибридной силовой установки параллельного типа

ДВС, как и в традиционном автомобиле, соединён с валом механической трансмиссии (ТР), а мотор-генератор (MG) установлен между ними и играет роль маховика. Электрический привод состоит из MG, инвертора (Ин) и высоковольтной батареи (HVB).

По шоссе автомобиль движется с помощью ДВС, который одновременно через электрический мотор-генератор МГ заряжает НВВ. При разгоне и других условиях, когда требуется максимальная мощность, ДВС и МГ работают параллельно, их мощность суммируется. В режиме торможения МГ возвращает энергию в накопитель. Эта схема позволяет использовать меньшую мощность ДВС и снизить расход бензина.

Во время движения автомобиля ДВС работает всегда, а глушится только при остановках, т.е. механический поток энергии присутствует всегда. В режиме электромобиля данная схема работать не может.



Смешанное расположение элементов ГСУ (full hybrid) (рис. 5) применяется на автомобилях Toyota, Lexus, Ford, Mazda. Механическая часть схемы состоит из устройства распределения мощности (PSD), которое объединяет мотор-генератор (МГ1), мотор-генератор (МГ2), инверторы Ин 1 и Ин 2 управления ими и тяговую высоковольтную батарею (НВВ). Схема

может работать как последовательная, при малых скоростях движения, и как параллельная, при резких ускорениях, устройство распределения мощности отвечает за работу и изменение схемы соединения основных элементов (рис. 5).

На рисунке 6 показана компоновка основных компонентов гибридной силовой установки смешанного типа, используемой на автомобилях Toyota. В табл. 1. приведены ее основные технические характеристики [5].

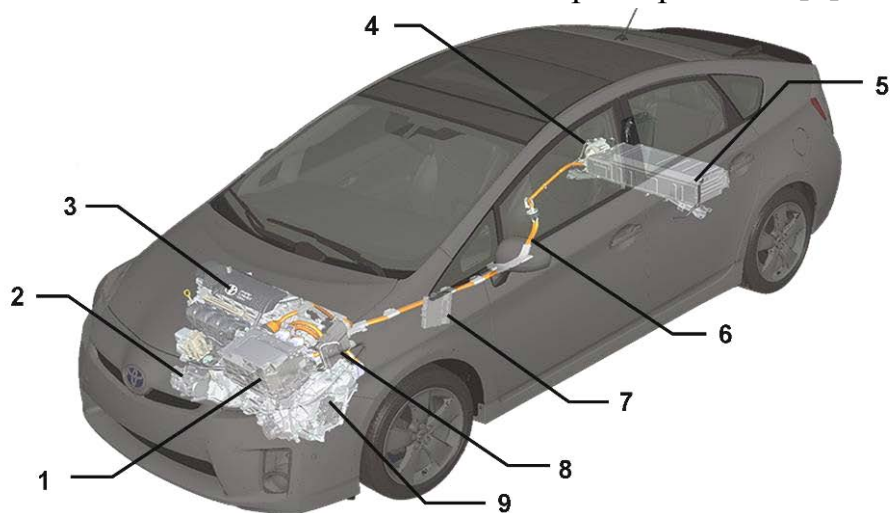


Рис. 6. Компоновка основных узлов гибридного автомобиля: 1 – инвертор с конвертером в сборе, повышающий преобразователь, инвертор ЭБУ мотор-генераторами (МГ ECU), преобразователь постоянного тока для зарядки вспомогательной АКБ; 2 – компрессор кондиционера с электродвигателем; 3 – ДВС; 4 – вспомогательная АКБ; 5 – НВВ (DC 201,6 В); 6 – силовой кабель; 7 – ЭБУ управления мощностью; 8 – ЭБУ двигателя (HV CPU); 9 – гибридная трансмиссия с МГ1, МГ2

Таблица 1

Основные технические характеристики ГСУ

Элемент ГСУ			Смешанного типа full hybrids		
Двигатель	Тип		2ZR-FXE	1NZ-FXE	
	Количество и расположение цилиндров		4-рядное расположение		
	Рабочий объем, см3		1798	1497	1495
	Макс. мощность		73 кВт (98 л.с.) при 5200 мин-1	57 кВт (76 л.с.) при 5000 мин-1	43 кВт (58 л.с.) при 4000 мин-1
	Макс. крутящий момент		142 Н м при 4000 мин-1	111 Н м при 4200 мин-1	102 Н м при 4000 мин-1
MG (мотор-генераторы)	MG1	Макс. напряжение	650 В переменного тока	500 В переменного тока	273,6 В переменного тока
	MG2	Макс. мощность	60 кВт (80 л.с.)	50 кВт (67 л.с.)	33 кВт (45 л.с.)
		Макс. крутящий момент	207 Н м	400 Н м	350 Н м
			546* Н м		
		Макс. напряжение	650 В переменного тока	500 В переменного тока	274 В переменного тока
Никель-металлогидридная высоковольтная аккумуляторная батарея		Ном. напряжение	201,6 В постоянного тока		273,6 В
		Количество секций	168 (28 модулей по 6 секций)		228 (38 модулей по 6 секций)
Максимальная мощность системы			100 кВт (134 л.с.)	81 кВт (109 л.с.)	73 кВт (99 л.с.)

* Планетарный редуктор увеличивает крутящий момент в 2,64 раза и уменьшает частоту вращения

Контрольные вопросы по разделу

1. Назовите основные схемы гибридных силовых установок.
2. Что называется гибридной силовой установкой последовательной схемы?
3. Что называется гибридной силовой установкой параллельной схемы?
4. Какая гибридная схема чаще всего применяется, обоснуйте почему?

2. ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – единственный источник механической и электрической энергии гибридного автомобиля, его конструкция практически не отличается от двигателя бензинового автомобиля, за исключением меньшего рабочего объема. В последнее время также стали появляться гибридные автомобили с дизельными двигателями, однако к частым запускам и остановкам они приспособлены хуже. Максимальная мощность и крутящий момент двигателя подбираются для наибольших нагрузок, таких как интенсивный разгон, движение на подъем с полной нагрузкой, движение с максимальной скоростью. В данных условиях автомобиль работает редко и непродолжительное время.

Работа двигателя на частичных нагрузках приводит к увеличенному расходу топлива и повышению выбросов вредных веществ в отработавших газах. Высокую экономичность ДВС может обеспечить только в узком диапазоне частоты вращения коленчатого вала. В составе гибридной силовой установки он работает почти всегда при оптимальной средней нагрузке, а в случае выхода за пределы номинального режима включается мотор-генератор. Нагрузочные характеристики ДВС и мотор-генератора сильно отличаются. Так ДВС имеет максимальный крутящий момент при средней частоте вращения, а мотор-генератор может обеспечить его уже в начале вращения ротора.

Совместная работа ДВС и мотор-генератора позволяет обеспечить высокие динамические свойства гибриднему автомобилю при использовании ДВС меньшей мощности. Характеристика крутящего момента при совместной работе ДВС и мотор-генератора показана на рисунке 7.

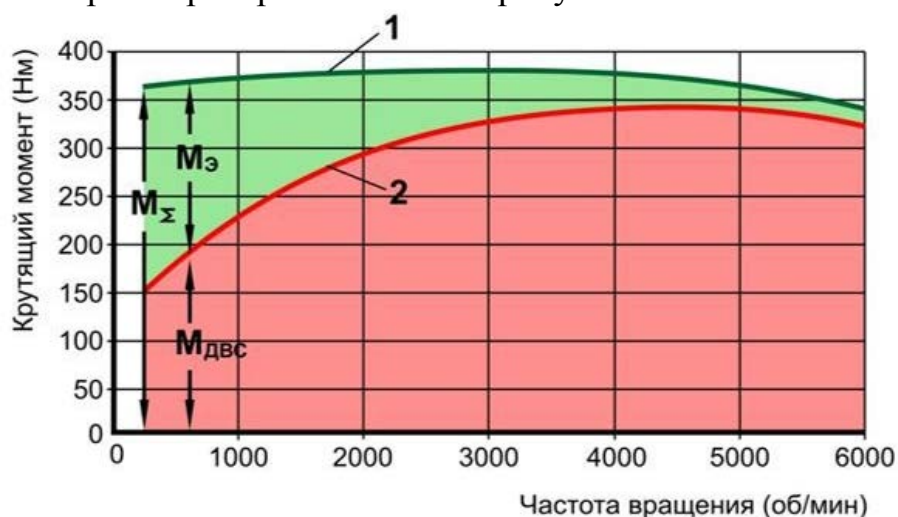


Рис. 7. Крутящий момент ГСУ: 1 - суммарный от ДВС и электродвигателя; 2 - от ДВС

На автомобилях Toyota Prius с ГСУ смешанного типа применяются бензиновые двигатели, работающие по **циклу Аткинсона-Миллера** с системой регулировки фаз газораспределения. Это цикл с высокой степенью расширения, т.е. такт расширения больше такта сжатия (рис. 8). Данный термодинами-

ческий цикл, предложенный английским инженером Джеймсом Аткинсоном, позволяет осуществлять независимо друг от друга такты сжатия и расширения в двигателе. Позднее данная концепция была реализована американцем Ральфом Миллером. В разработанной системе, названной циклом Аткинсона-Миллера, моменты открытия и закрытия впускных клапанов регулируются, как в системе Variable Valve Timing with intelligence [6-7].

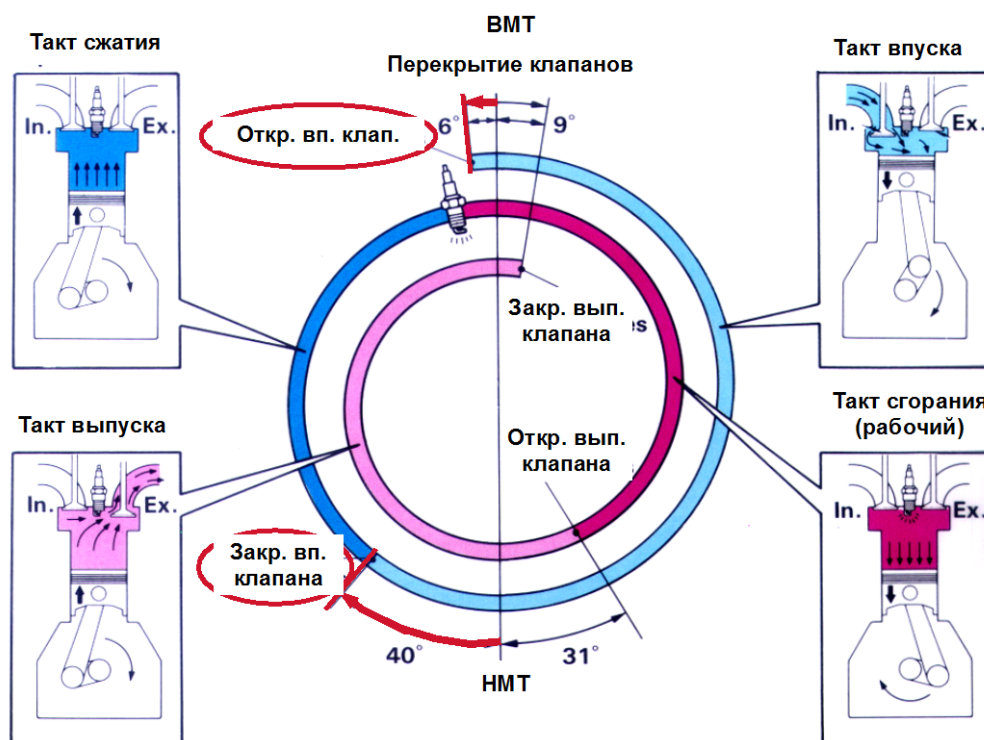


Рис. 8. Диаграмма фаз газораспределения двигателя

Поскольку данная система не обеспечивала высокой мощности ДВС, ранее она не применялась. Эффективное ее использование в составе ГСУ стало возможным благодаря мотор-генераторам, которые сглаживают пиковые нагрузки и позволяют ДВС работать в оптимальном нагрузочном режиме с высоким термическим к.п.д.

На обычных двигателях впускные и выпускные клапаны открываются и закрываются при фиксированных углах поворота распределительного вала, чем достигается компромисс между плавной работой при малой нагрузке холостого хода и работой с максимальной мощностью при максимальной частоте вращения.

В двигателе гибридной силовой установки задержка впуска – это поступление топливовоздушной смеси в цилиндр немного позже по отношению к началу хода поршня к НМТ. При низкой частоте вращения двигателя поршень опускается с малой скоростью и топливовоздушная смесь поступает без заметного отставания. Поэтому перепад давлений в цилиндре и впускном канале, когда поршень находится в НМТ, очень мал. Если впускной клапан открывается вблизи ВМТ, то в цилиндр поступит больше топливовоздушной смеси (рис. 9).

При высокой частоте вращения двигателя поршень опускается быстро, и топливовоздушная смесь также поступает с большой скоростью, создается значительное сопротивление при впуске топливовоздушной смеси в цилиндр. Поэтому смесь поступает из впускного канала в цилиндр со значительной задержкой, не успевая за движением поршня. Когда «задержка впуска» становится большой, даже при изменении поршнем направления движения в НМТ и начале его подъема давление в цилиндре в течение некоторого времени остается ниже давления во впускном канале. Таким образом, при высокой частоте вращения в цилиндр поступает большее количество топливовоздушной смеси, когда впускной клапан открывается раньше, чем в ВМТ, и закрывается позже, чем в НМТ.

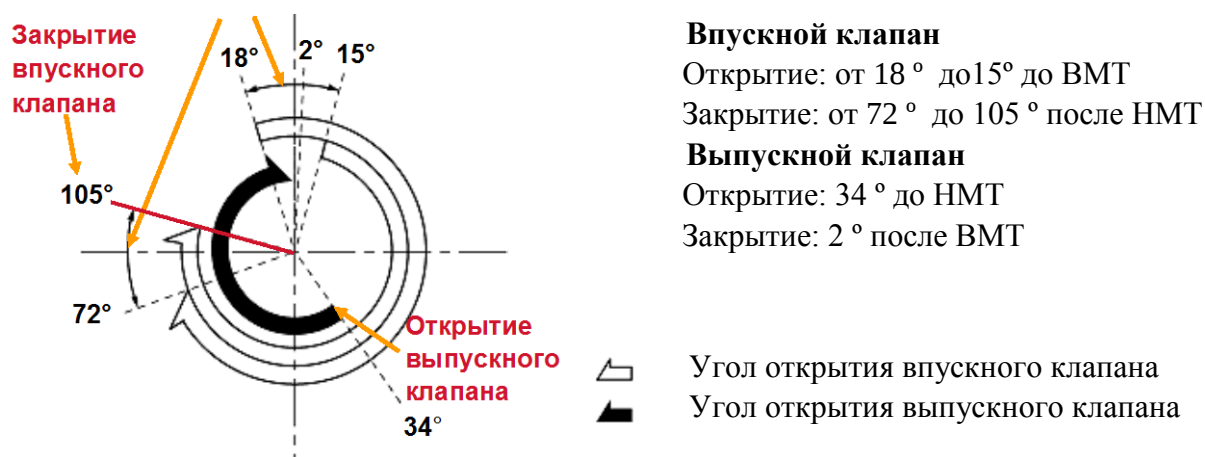


Рис. 9. Фазы газораспределения двигателя, работающего по циклу Аткинсона-Миллера

Регулирование момента закрытия впускных клапанов позволяет уменьшить потери на такте сжатия, т.к. дроссельная заслонка открыта больше, чем обычно. Выпуск отработавших газов происходит с запаздыванием и энергия, полученная при сгорании, эффективнее используется для увеличения крутящего момента. На модели Toyota Prius у ДВС увеличена степень сжатия до 13,0, по сравнению с 10,5 обычного бензинового двигателя. При этом он сертифицирован для выполнения экологических норм Евро-5 и может соответствовать более строгим экологическим нормам.

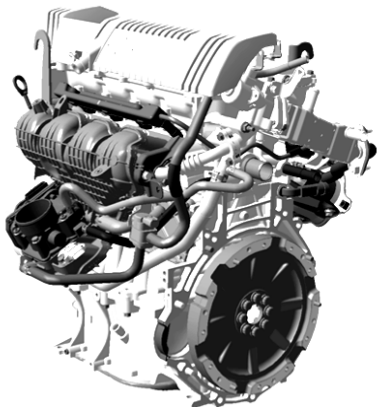


Рис. 10. Двигатель 2ZR-FXE, работающий по циклу Аткинсона-Миллера: рядный 4-цилиндровый, раб. объём 1,8 л, 16-клапанный типа DOHC с системами VVT-i, ETCS-i, DIS и охлаждаемой системой рециркуляции отработавших газов (EGR)

Двигатель 2ZR-FXE (рис. 10-11) представляет собой рядный четырехцилиндровый 1,8-литровый 16-клапанный двигатель типа DOHC с системами VVT-i, ETCS-i, DIS и охлаждаемой системой рециркуляции отработавших газов (EGR). Основные технические характеристики двигателя 2ZR-FXE и предыдущего его поколения представлены в таблице 2.

Таблица 2

Технические характеристики двигателей 2ZR-FXE, 1NZ-FXE

Модель		ZVW30	NHW20
Двигатель		2ZR-FXE	1NZ-FXE
Число и расположение цилиндров		4-рядное расположение	
Система газораспределения		16-клап., DOHC, цепной привод, с VVT-i	
Рабочий объем, см ³		1798	1497
Диам.цил. x ход пор., мм		80,5 x 88,3	75,0 x 84,7
Степень сжатия		13,0	
Макс. мощн., кВт (л.с.) при об/мин		73 (98) при 5200	57 (76) при 5000
Макс. крутящий момент, Н·м при об/мин		142 при 4000	111 при 4200 115 при 4000
Порядок работы цилиндров		1 – 3 – 4 – 2	
Марка масла		API SL, SM или ILSAC	API SJ, SL, EC или ILSAC
Заправочная емкость масла, л	сухая	4,7	4,1
	с масл. фил.	4,2	3,7
	без масл. фильтра	3,9	3,4

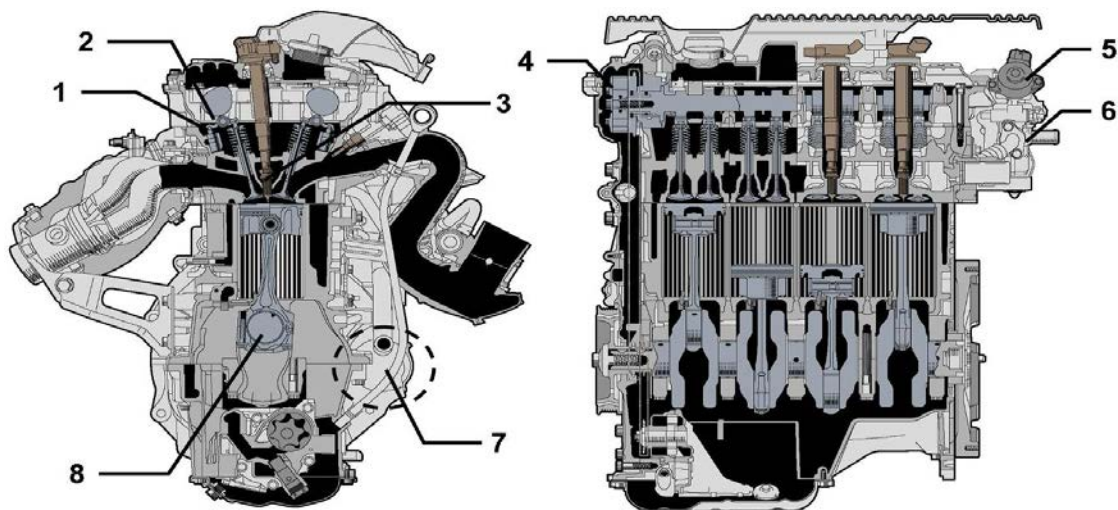


Рис. 11. Конструкция двигателя 2ZR-FXE:

- 1 - гидравлический компенсатор клапанного зазора; 2 - коромысло с роликовым подшипником; 3 - свеча зажигания увеличенной длины с иридиевым электродом;
 4 - система VVT-i для впускных клапанов; 5 - охладитель системы EGR;
 6 - электромагнитный клапан системы EGR; 7 - электрический жидкостный насос;
 8 - смещенный коленчатый вал

Конструкция двигателя гибридного автомобиля во многом схожа с конструкцией двигателя других автомобилей. Основные отличительные особенности двигателя представлены в таблице 3.

Основные особенности двигателя

Система	Особенность
Общее описание	• Цикл Аткинсона-Миллера с продолженным расширением • Головка цилиндров из алюминиевого сплава • Коленчатый вал смещённый • Гильзы цилиндров с утонченными стенками • Камера сгорания клиновидная с завихрителем воздуха • Юбка поршня покрыта полимерной плёнкой • Поршневые кольца с низким давлением на стенку цилиндра
Механизм ГРМ	• Система регулирования фаз ГРМ (VVT-I, Variable Valve Timing-intelligent) • Гидравлические компенсаторы клапанных зазоров • Коромысла на роликовых подшипниках • Привод ГРМ цепной с натяжителем цепи
Система смазки	Масляный фильтр со сменным фильтрующим элементом
Система охлаждения	Жидкостный насос электрический
Системы впуска и выпуска	• Впускной коллектор пластмассовый • Дроссельная заслонка с электроприводом • Клапан системы EGR с приводом от эл. двигателя постоянного тока • Жидкостное охлаждение – система EGR • Выходной коллектор из нержавеющей стали • Два трехкомпонентных каталитических нейтрализатора - TWCs • Управление системой выпуска - 2-ступенчатое • Система рекуперации теплоты отработавших газов
Система питания	• Система питания без возвратной магистрали топлива • Инжекторы с 12 распыливающими отверстиями • Быстроразъемные соединения топливопроводов
Систем зажигания	• Система зажигания DIS (Direct Ignition System) • Свечи зажигания с длиной резб. части - 19 мм, электроды иридиевые
Приводной ремень насоса системы охлаждения	• Больше не используется
Система снижения токсичности ОГ	• Система рециркуляции отработавших газов EGR (Exhaust Gas Recirculation) с абсорбером паров бензина
Система управления двигателем	• Система электрического привода дроссельной заслонки ETCS-i (Electric Throttle Control System-intelligent) • Датчики системы VVT магнитно-резистивного типа MRE (Magnetic Resistance Element) • Датчик детонации плоского типа

Головка блока цилиндров имеет конструкцию с отдельным картером распределительных валов. Форма камеры сгорания клиновидная. Головка и поршни изготовлены из алюминиевого сплава (рис. 12-13) для снижения массы и повышения компактности.

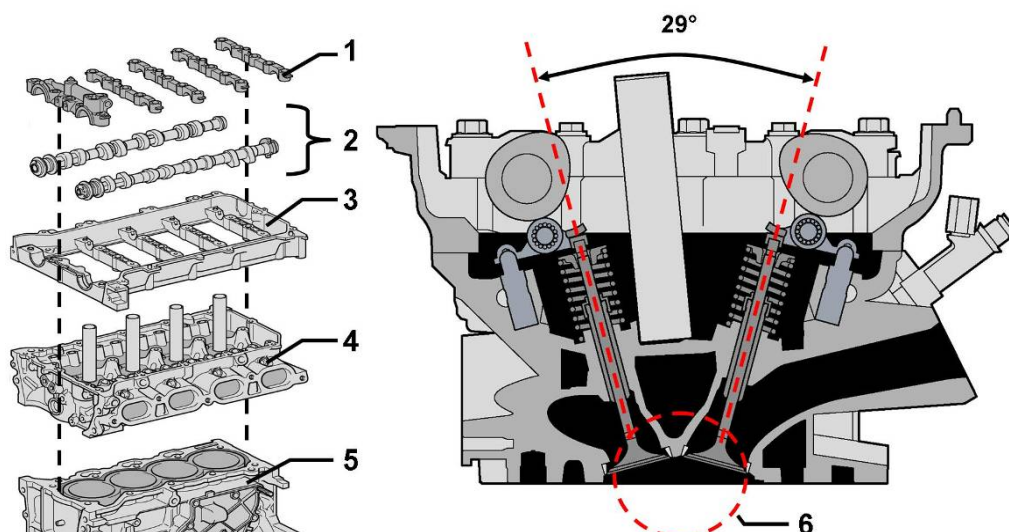


Рис. 12. Основные элементы головки блока цилиндров: 1 - крышка подшипников; 2 - распределительные валы; 3 - картер распределительных валов; 4 - головка цилиндров; 5 - блок цилиндров; 6 - клиновидная камера сгорания

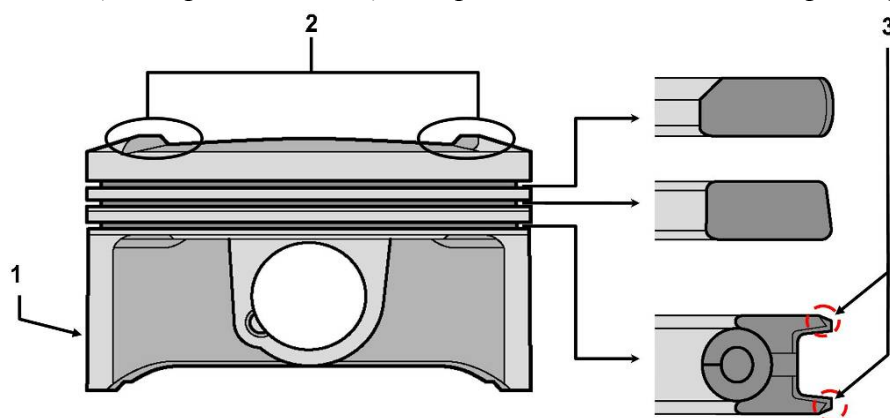
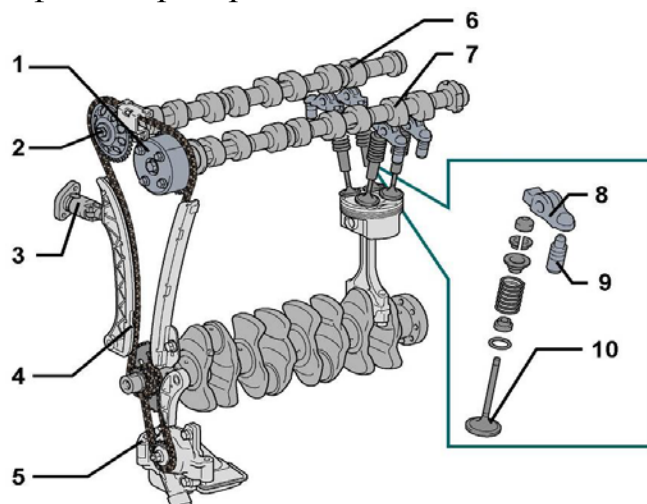


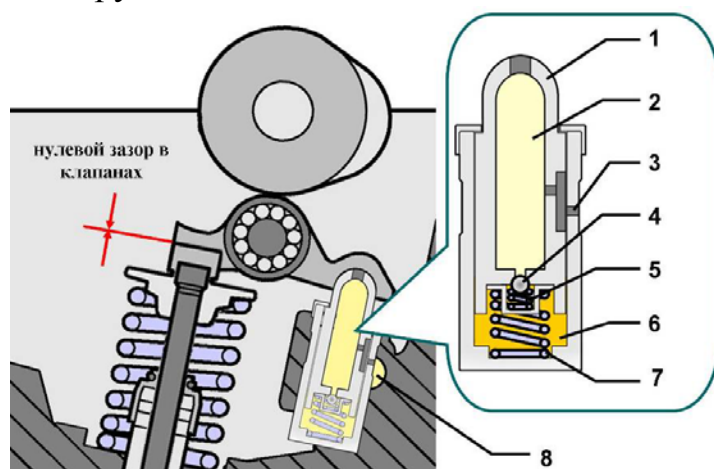
Рис. 13. Особенности конструкции поршней двигателя: 1 - покрытие из эпоксидной смолы; 2 - днище поршня в форме подрезанного конуса; 3 - покрытие PVD

Газораспределительный клапанный механизм (рис. 14) состоит из коромысел на роликовых подшипниках, гидравлических компенсаторов клапанных зазоров и системы регулирования фаз газораспределения.

Рис. 14. Конструкция газораспределительного механизма: 1 - механизм регулирования фаз ГРМ; 2 - звездочка привода распред. вала; 3 - натяжитель цепи со стопорным механизмом; 4 - цепь привода ГРМ (шаг 8 мм); 5 - цепь привода ГРМ (шаг 7 мм); 6 - распред. вал выпускных клапанов; 7 - распред. вал впускных клапанов; 8 - коромысла; 9 - гидравлические компенсаторы клапанных зазоров; 10 - клапан



Гидравлический компенсатор (рис. 15) постоянно поддерживает отсутствие зазора между коромыслом и клапаном за счет давления масла и усилия пружины.



*Рис. 15. Конструкция гидравлического компенсатора:
1 - плунжер; 2 - камера низкого давления; 3 - масляное отверстие; 4 - шариковый клапан;
5 - пружина шарикового клапана; 6 - камера высокого давления; 7 - пружина плунжера; 8 - магистраль подачи масла*

При обслуживании гидравлического компенсатора для слива масла необходимо надавить на шариковый клапан специальным инструментом, как показано на рисунке 16, либо использовать для этого тонкий стержень. Для заполнения маслом необходимо погрузить гидравлический компенсатор клапанного зазора в чистое моторное масло, затем сжать и отпустить плунжер с помощью сервисного приспособления – 6 раз.

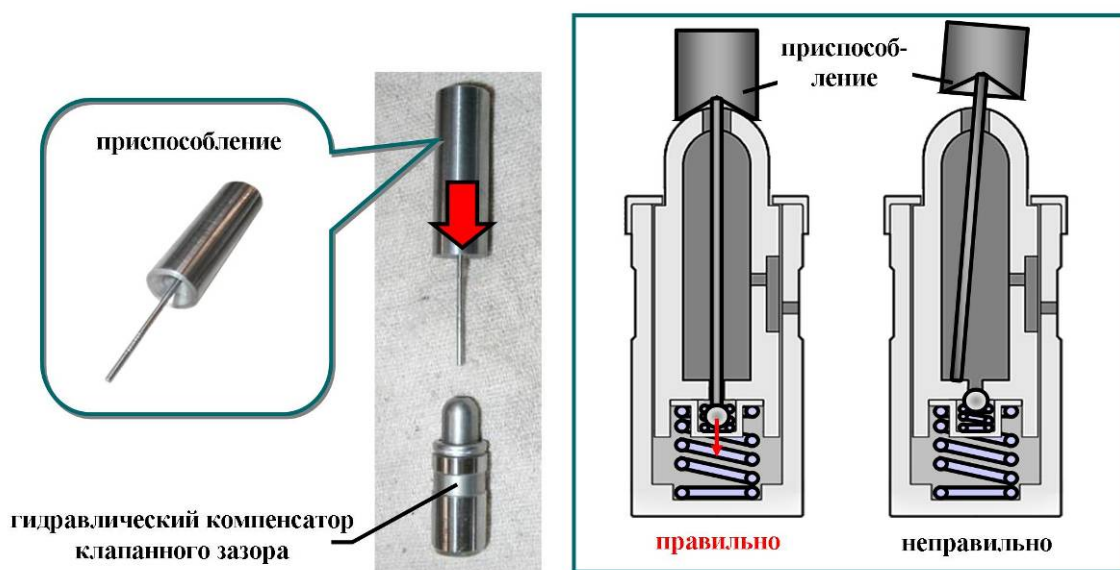


Рис. 16. Замена масла в гидравлическом компенсаторе с помощью специализированного инструмента

Работу гидравлического компенсатора проверяют, сжимая пальцами (рис. 17). Если он заблокирован, то – исправен, а если компенсатор сжимается после трех попыток, то требуется его замена.

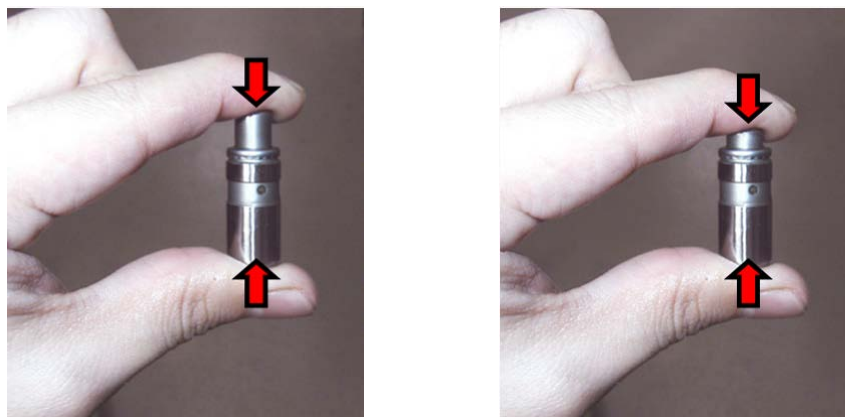
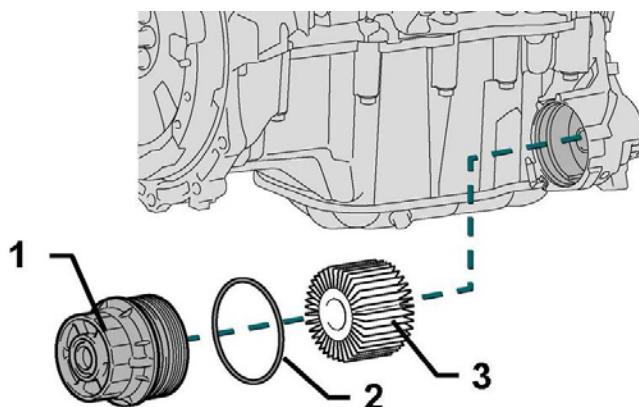


Рис. 17. Проверка гидравлического компенсатора

Смазочная система двигателя по конструкции аналогична используемому в других ДВС. Для снижения стоимости технического обслуживания и контроля состояния фильтрующего элемента перед установкой, применяется съемный фильтрующий элемент без корпуса (рис.18).

Рис. 18. Конструкция съемного фильтрующего элемента:
1 - крышка фильтра;
2 - уплотнительное кольцо;
3 - фильтрующий элемент



Марка моторного масла и срок его замены указываются в инструкции к автомобилю и зависят от условий эксплуатации. При нормальных условиях, периодичность в среднем составляет 15000 км или 12 месяцев. Интервал замены масла целесообразно уменьшить вдвое при тяжелых условиях эксплуатации с частыми пусками двигателя и температуре ниже 0° С, регулярных поездках на расстояние до 10 км, частых разгонах и торможениях, езде по пыльным дорогам, длительным поездкам с малой скоростью, езде с непрогретым двигателем. Например, производитель Toyota рекомендует использовать оригинальные синтетические моторные масла фирмы: Genuine Motor Oil API SL SAE 5W-40, Genuine Motor Oil API SL SAE 0W-30 и Genuine Motor Oil API SM/SL SAE 0W-20. Для теплого и умеренно-холодного климата центральной части и юга Российской Федерации наиболее подходящим будет масло класса вязкости 5W-30, для холодного климата и частых длительных поездок за городом – 0W-30, для холодного климата и преимущественно городских условий эксплуатации больше подойдет масло 0W-20. Класс качества должен быть не ниже API SL.

При замене моторного масла для сброса счётчика (пример, модель ZVW30) необходимо: установить на панели спидометра пробег "Trip-A"; выключить двигатель; нажать и удерживать кнопку "km/h - MPH" и, не отпуская ее, включить двигатель; после появления надписи COMPLETE отпустить кнопку "km/h - MPH".

В системе охлаждения двигателя (рис. 19-20), для уменьшения потерь тепла и ускорения прогрева, вместо привода водяного насоса ремнём, применён электрический привод (рис. 21). Компьютер ЕСМ регулирует расход охлаждающей жидкости в системе охлаждения в соответствии с условиями работы двигателя. Температура открытия клапана термостата: 80° - 84°С.

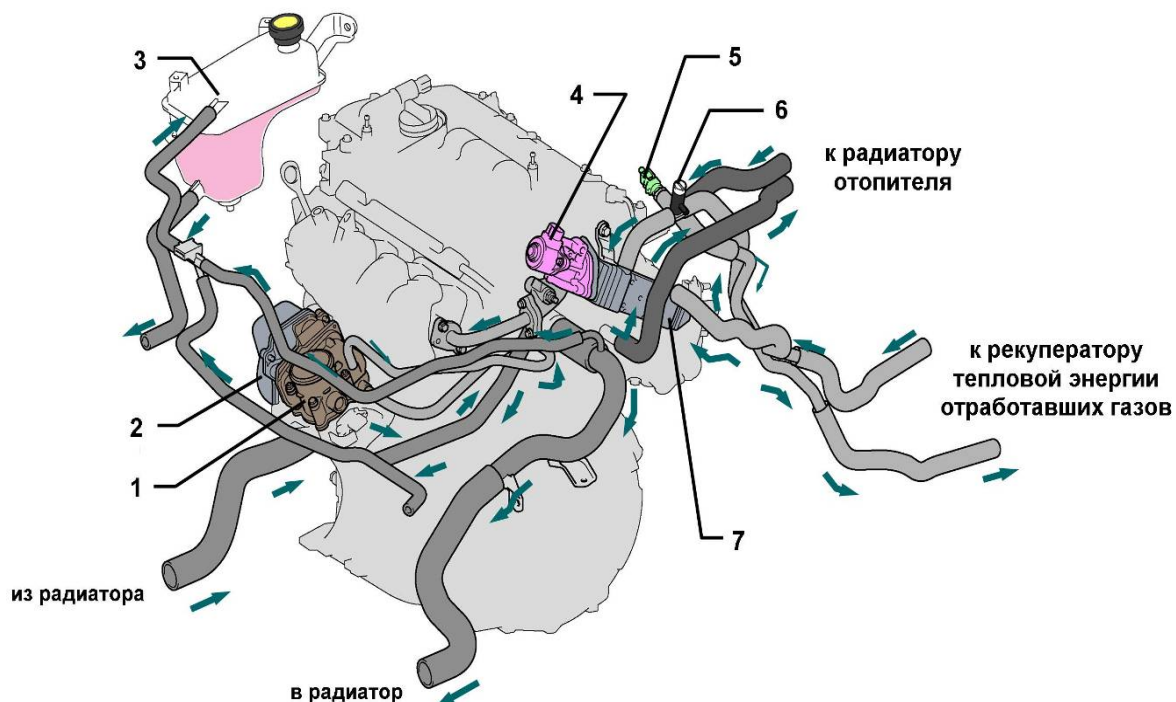


Рис. 19. Система охлаждения двигателя: 1 - блок дроссельной заслонки; 2 - электрический насос; 3 - расширительный бачок; 4 - клапан EGR; 5 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 6 - клапан для выпуска воздуха; 7 - охладитель EGR

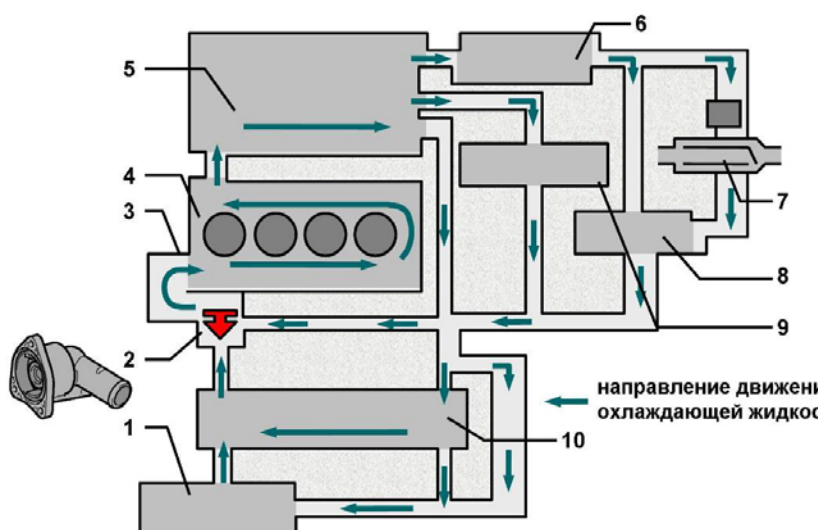


Рис. 20. Схема системы охлаждения: 1 - расширительный бачок; 2 - термостат; 3 - электрический насос; 4 - блок цилиндров; 5 - головка цилиндров; 6 - отопитель; 7 - система рециркуляции тепловой энергии отработавших газов; 8 - охладитель EGR; 9 - блок дроссельной заслонки; 10 - радиатор

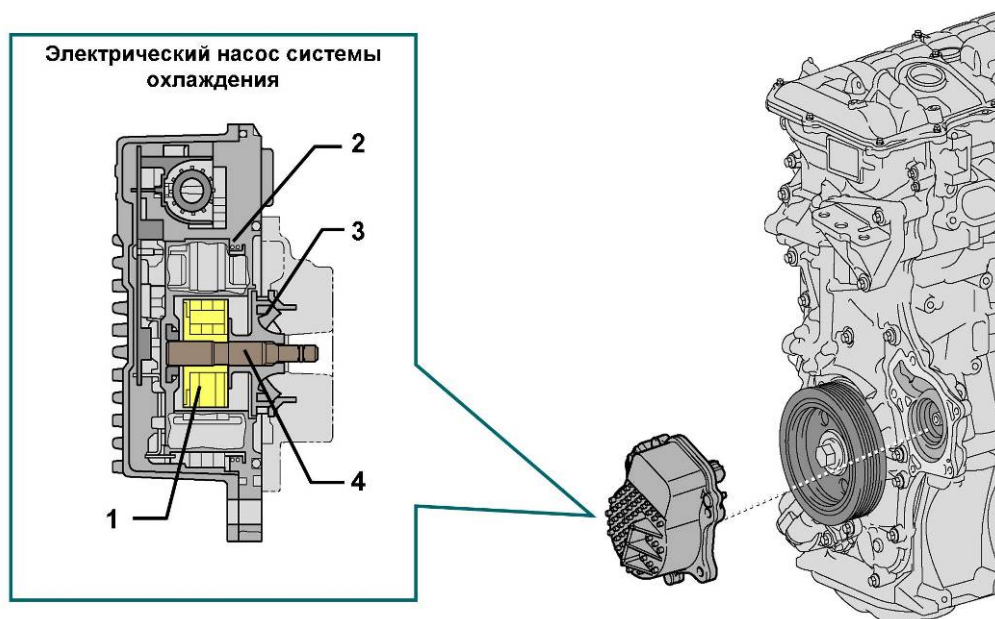


Рис. 21. Конструкция электрического насоса системы охлаждения:
1 - электродвигатель; 2 - статор; 3 - ротор; 4 - вал

Чтобы заменить охлаждающую жидкость в двигателе, необходимо снять крышку расширительного бачка, отвернуть сливной кран блока цилиндров, отвернуть кран радиатора и слить охлаждающую жидкость (рис. 22). Для выпуска воздуха из системы охлаждения двигателя необходимо подсоединить шланг к клапану выпуска воздуха и открыть его, затем завернуть сливные краны.

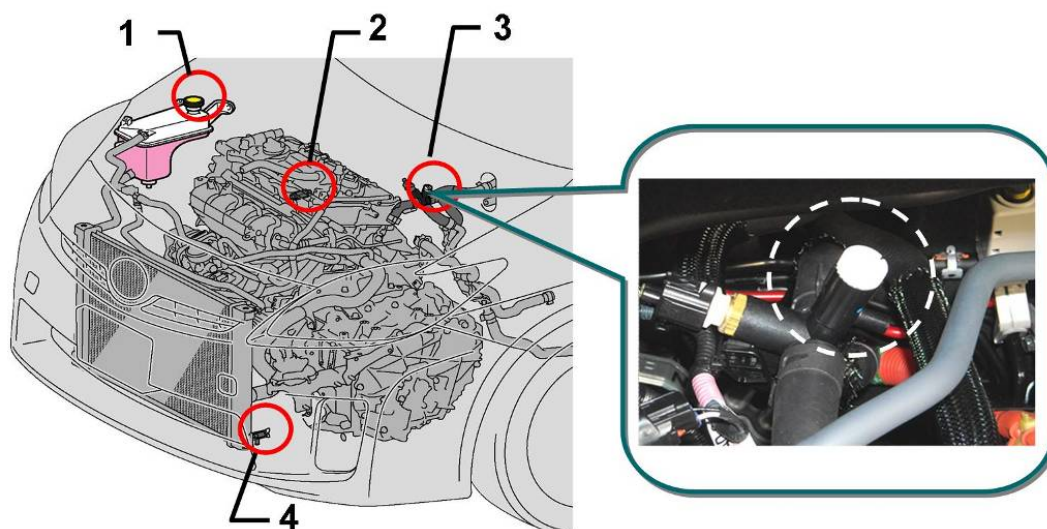


Рис. 22. Слив охлаждающей жидкости: 1 - расширительный бачок;
2 - клапан выпуска воздуха на блоке цилиндров; 3 - клапан выпуска воздуха
из радиатора отопителя; 4 - сливной кран радиатора

Охлаждающую жидкость марки SLIC необходимо залить до метки «В» расширительного бачка. Количество жидкости для автомобилей с системой рекуперации теплоты отработавших газов – 7,3 литра, а без системы рекуперации теплоты отработавших газов – 6,5 литра. После этого следует за-

крыть клапан выпуска воздуха, завернуть крышку расширительного бачка, переключить двигатель в режим инспекции и прогреть его до открытия термостата. Прогревать двигатель необходимо в течение 7 минут, повторяя следующий цикл: при 3000 об/мин – 5 секунд, затем на минимальных оборотах – 45 секунд. После остывания двигателя уровень охлаждающей жидкости (рис. 23) должен находиться между метками «FULL» (ПОЛНЫЙ) и «LOW» (НИЗКИЙ).

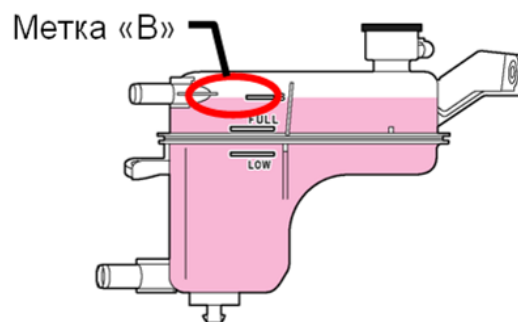


Рис. 23. Расположение меток на расширительном бачке

Впускной коллектор ДВС (рис. 24) имеет некоторые особенности. Он изготовлен из пластмассы для снижения веса. Для равномерного распределения отработавших газов по цилиндрам во впускной коллектор встроена камера системы EGR.

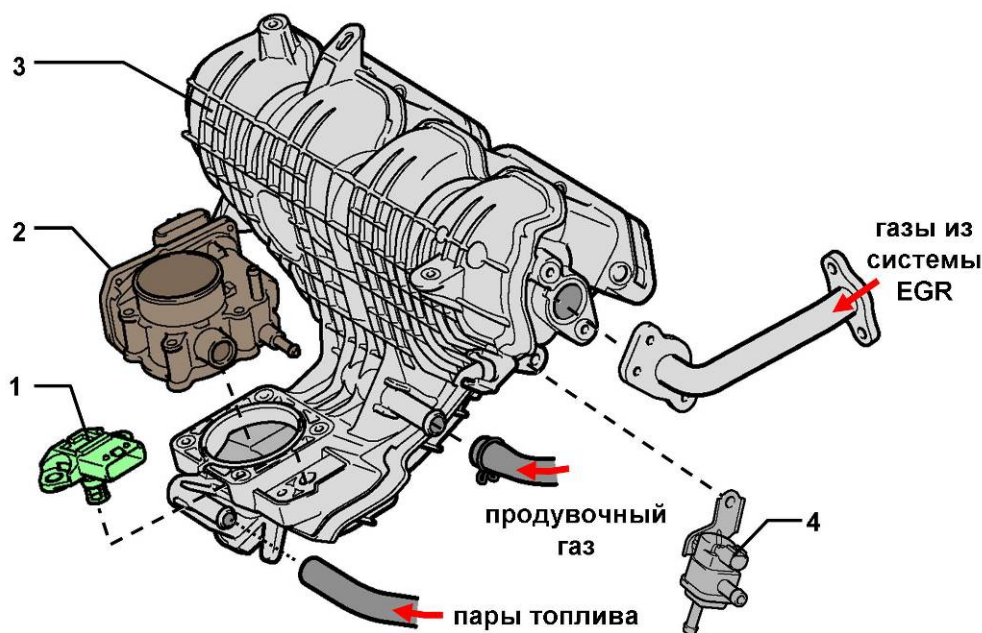


Рис. 24. Впускной коллектор: 1 - датчик разряжения; 2 - блок дроссельной заслонки; 3 - впускной коллектор; 4 – вакуумный клапан

Система рекуперации теплоты отработавших газов (рис. 25-26) подогревает охлаждающую жидкость в двигателе и обеспечивает высокую топливную экономичность за счет быстрого прогрева.

Одна из проблем гибридной силовой установки автомобиля заключается в том, что ДВС не всегда работает во время движения. Это хорошо для экономии топлива, но количества теплоты при этом может не хватать для поддержания рабочей температуры двигателя и отопления салона, что приводит к не-

гательным последствиям. После запуска двигатель должен быстро выйти на оптимальный температурный режим, и система рециркуляции тепла отработавших газов позволяет этого добиться.

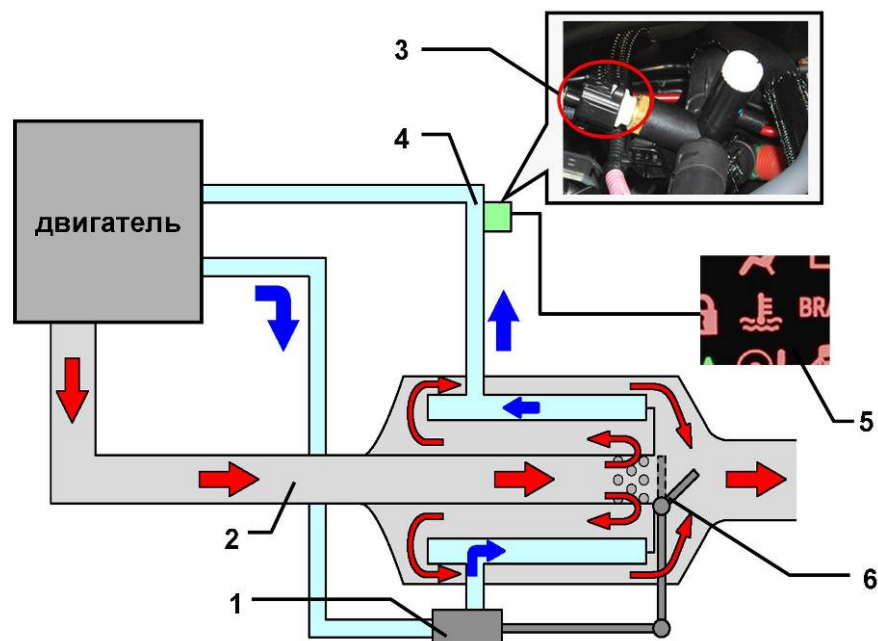


Рис. 25. Схема системы рециркуляции тепла отработавших газов:
1 - регулятор расхода отработавших газов; 2 - отработавшие газы;
3 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 4 - охлаждающая жидкость;
5 - индикатор перегрева на панели приборов; 6 - заслонка

Система рециркуляции перенаправляет отработавшие газы в выпускном трубопроводе путем открытия или закрытия клапана, встроенного в центральную выпускную трубу, с использованием регулятора расхода газов. Температура открытия клапана термостата регулятора: от 71° до 77 °С.

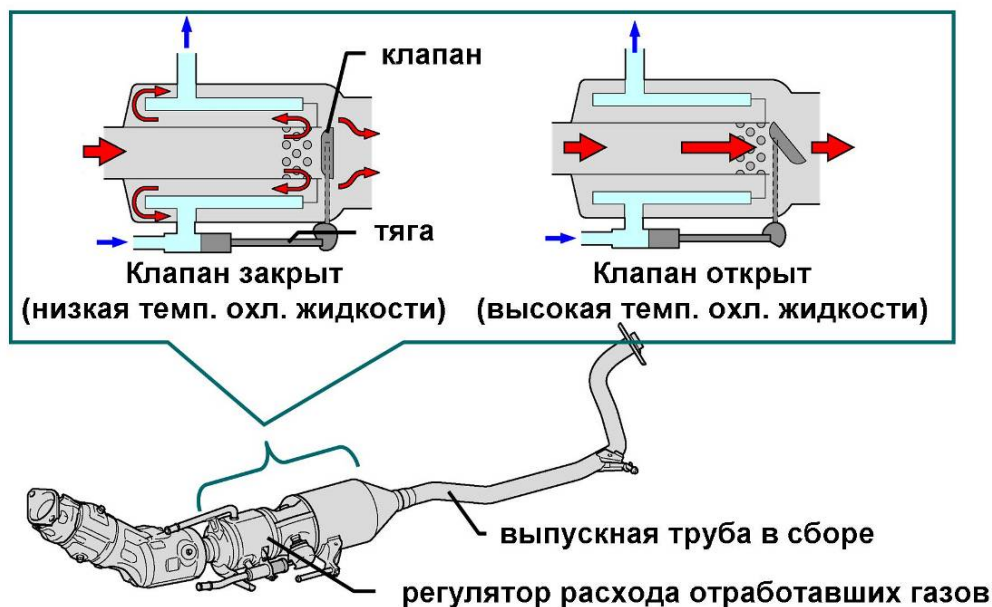


Рис. 26. Работа регулятора расхода отработавших газов

Система рекуперации тепла отработавших газов может иметь неисправности. Для их определения используют датчик температуры охлаждающей жидкости (рис. 27).

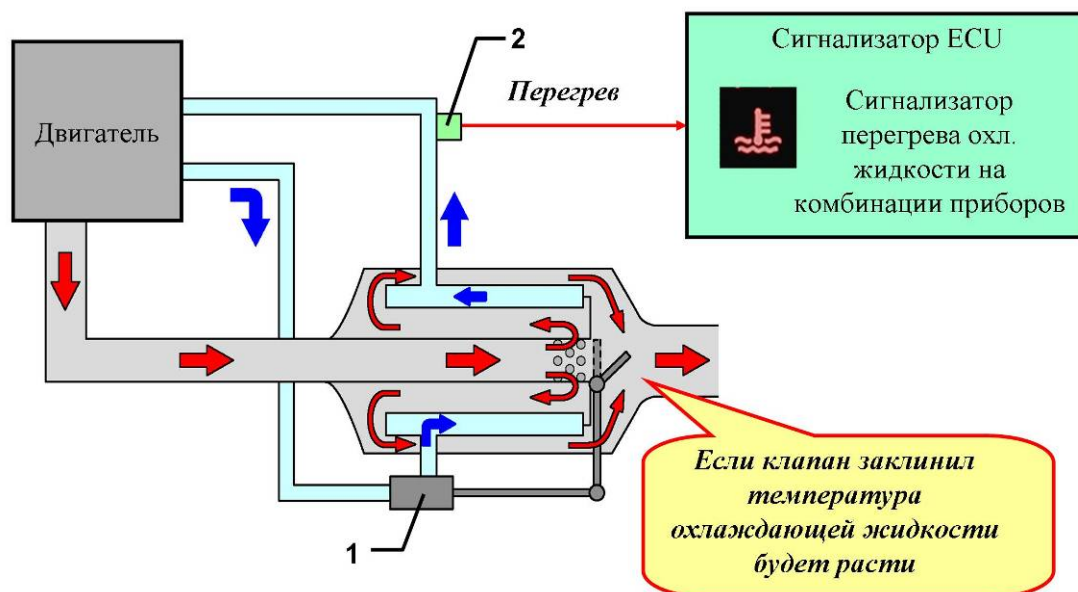


Рис. 27. Определение неисправности системы рекуперации тепла отработавших газов:
1 - регулятор расхода отработавших газов;
2 - датчик температуры охлаждающей жидкости

При ремонте системы рекуперации тепла может быть разобран регулятор расхода отработавших газов (рис. 28), вышедшие из строя детали заменяют.

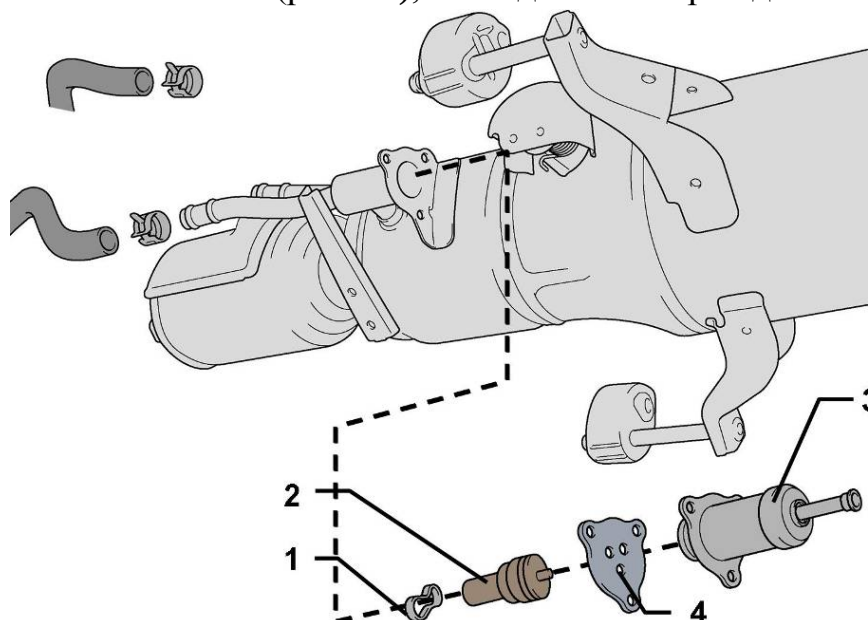


Рис. 28. Конструкция регулятора расхода газа: 1 - фиксатор регулятора расхода отработавших газов; 2 - регулятор расхода отработавших газов;
3 - корпус регулятора; 4 - прокладка

На автомобиле, в системе выпуска отработавших газов, в главном глушителе (рис. 29) установлен двухпозиционный клапан регулирования выпуск-

ной системы для обеспечения более тихой работы двигателя на малых частотах вращения и снижения противодавления на высоких частотах вращения.

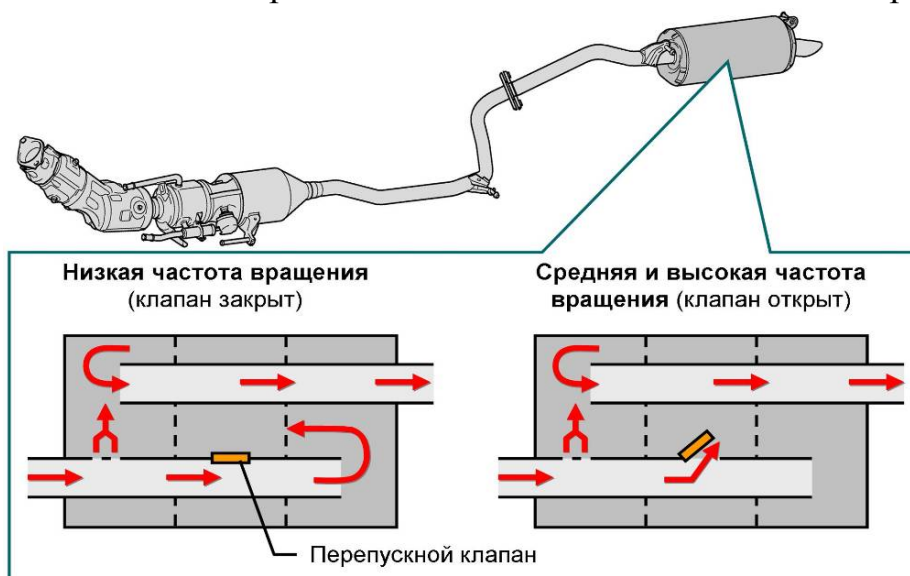


Рис. 29. Конструкция главного глушителя

Топливная система, основные элементы которой показаны на рисунке 30, не имеет возвратной магистрали, это снижает выбросы паров топлива в атмосферу.

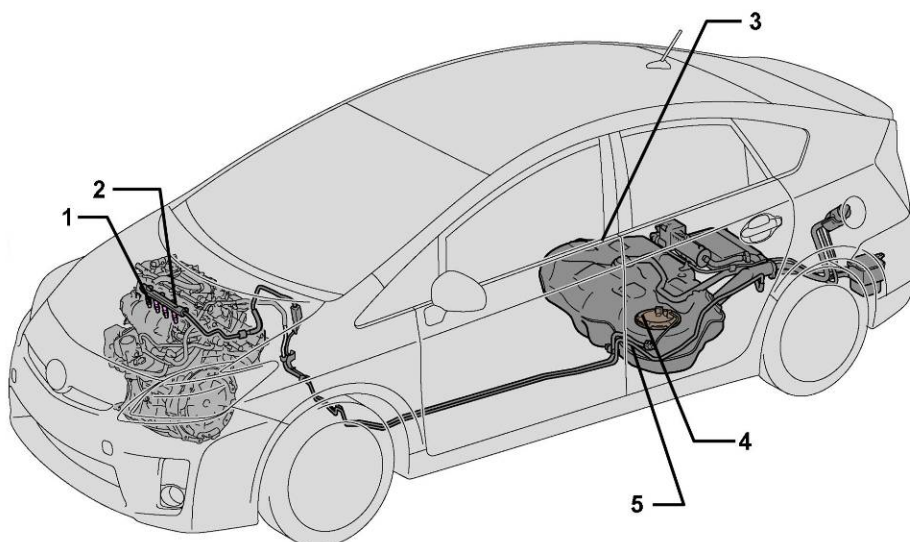


Рис. 30. Основные элементы топливной системы: 1 - топливный инжектор с 12 отверстиями; 2 - топливная рампа; 3 - топливный бак из многослойного пластика; 4 - топливный насос в сборе; 5 - быстроразъемное соединение трубок

Система EGR рекуперации отработавших газов (рис. 31) одновременно корректирует состав рабочей смеси в камерах сгорания. Работа на бедных смесях уменьшает расход топлива на установившихся режимах, но увеличивает содержание оксидов азота NO_x . Поэтому топливовоздушную смесь разбавляют отработавшими газами.

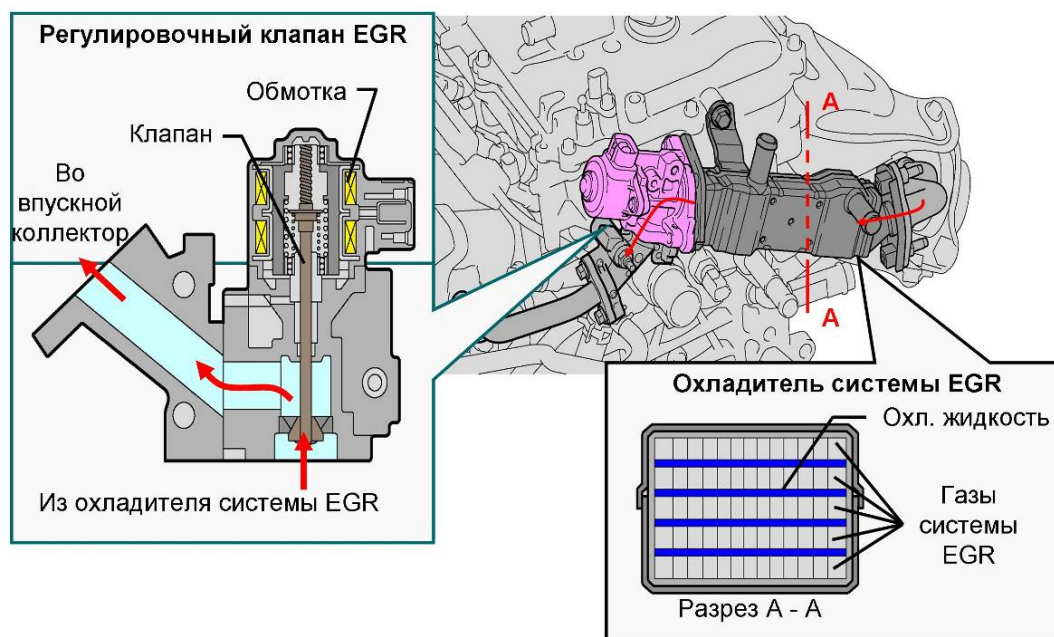


Рис. 31. Конструкция системы EGR

Уменьшение содержания кислорода в топливовоздушной смеси снижает температуру отработавших газов и содержание в них оксидов азота. Шаговый электродвигатель клапана регулирования расхода системы EGR используется для точного регулирования расхода газов системы EGR на входе. Охладитель системы EGR охлаждает отработавшие газы и повышает её эффективность. **Вакуумный датчик впускного коллектора** (рис. 32) установлен на кремниевой микросхеме и служит для измерения абсолютного давления. Информация с датчика служит для корректировки блоком управления двигателя состава смеси в цилиндрах, а также для управления системой EGR.

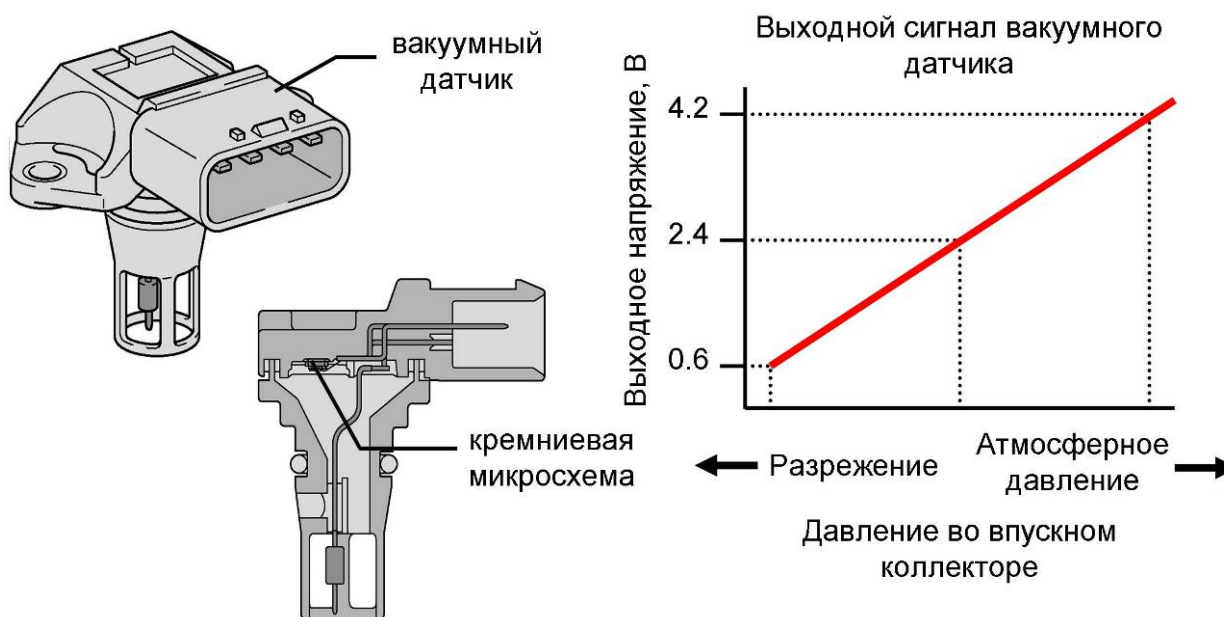


Рис. 32. Вакуумный датчик впускного коллектора

При оценке работы системы EGR (рис. 33) следует пользоваться информацией со сканера. Шаговый двигатель диагностируют по параметрам: сопротивление обмоток и выход иглы клапана. Существует несколько условий, при которых система EGR не будет работать: температура охлаждающей жидкости ниже 70 °С, в блоке управления двигателем записан код неисправности – низкое напряжение бортовой сети.

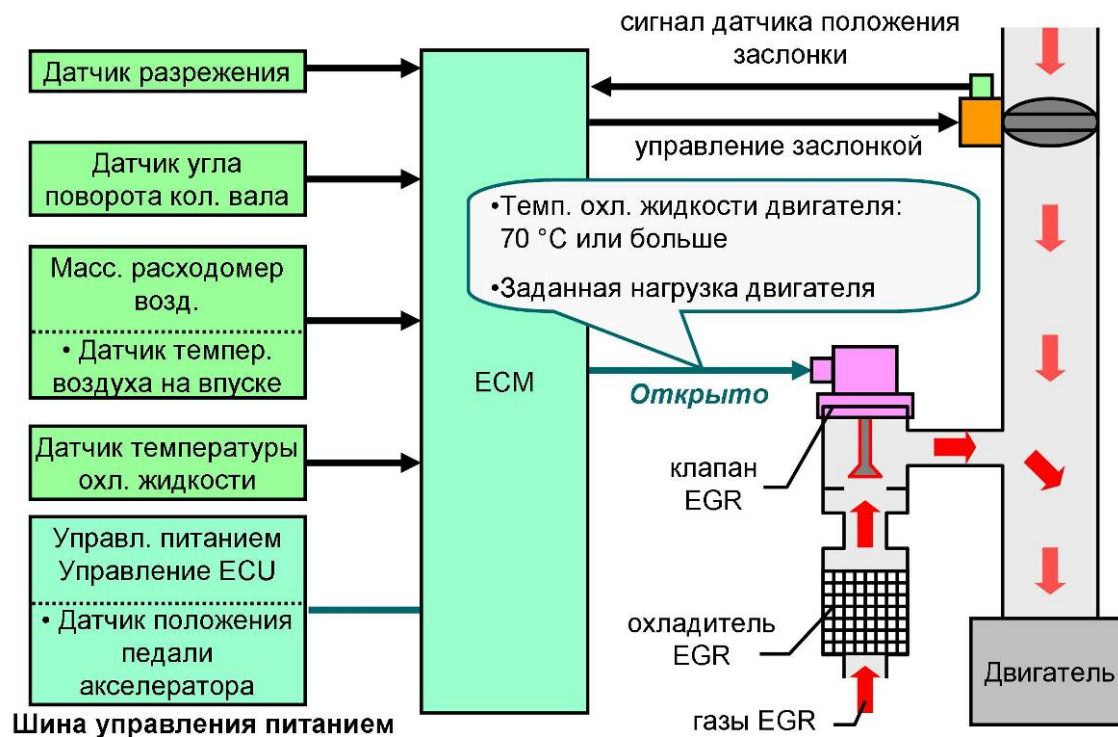


Рис. 33. Схема работы системы EGR

Свечи зажигания, применяемые на двигателе, подобраны заводом и в случае их замены необходимо обратить внимание на характеристики используемых аналогов и зазоры между электродами. На рисунке 34 показаны отличительные особенности обычных свечей зажигания для бензиновых ДВС и свечей зажигания DENSO SC20HR для двигателя 2ZR-FXE уменьшенного размера с иридиевым электродом.

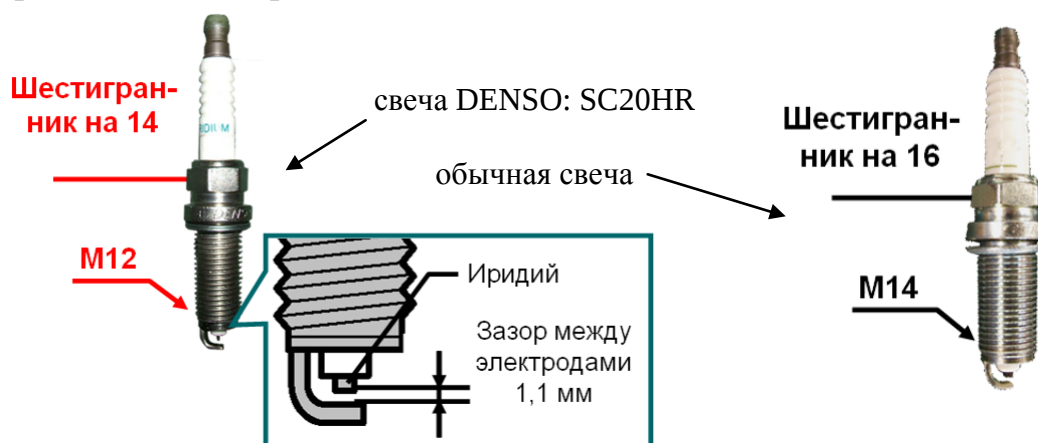


Рис. 34. Отличительные особенности свечей зажигания

Система управления двигателем имеет датчики и актюаторы (рис. 35), позволяющие контролировать: подачу масла к распределительному валу, управление дроссельной заслонкой, температуру охлаждающей жидкости, угол опережения зажигания, время впрыска топлива и др. Описание типов датчиков, принципов их работы и место расположения указаны в таблице 4.

ЭБУ получает сигналы от датчиков и рассчитывает параметры работы электрического насоса системы охлаждения для установки необходимого расхода охлаждающей жидкости по её температуре, частоте вращения коленчатого вала ДВС и скорости движения автомобиля. Скорость вращения электродвигателя насоса регулируется с помощью широтно-импульсной модуляции.

Таблица 4

Описание применяемых устройств

Элемент	Описание
Датчик массового расхода воздуха	С терморезистором нитевого типа
Датчик положения коленчатого вала	Индуктивного типа
Датчик положения распред. вала	Датчик на эффекте Холла
Датчик положения дросс. заслонки	Бесконтактного типа
Датчик детонации	С встроенным пьезоэлектрическим элементом
Подогреваемый кислородный датчик	Однодиапазонный на основе диоксида циркония
Датчик кислорода в ОГ	Широкополосный, на основе диоксида титана
Датчик температуры охл. жидкости	Терморезистор
Топливный инжектор	Электромагнитные форсунки с 12 распыляющими отверстиями
Расположение ЭБУ	В моторном отделении

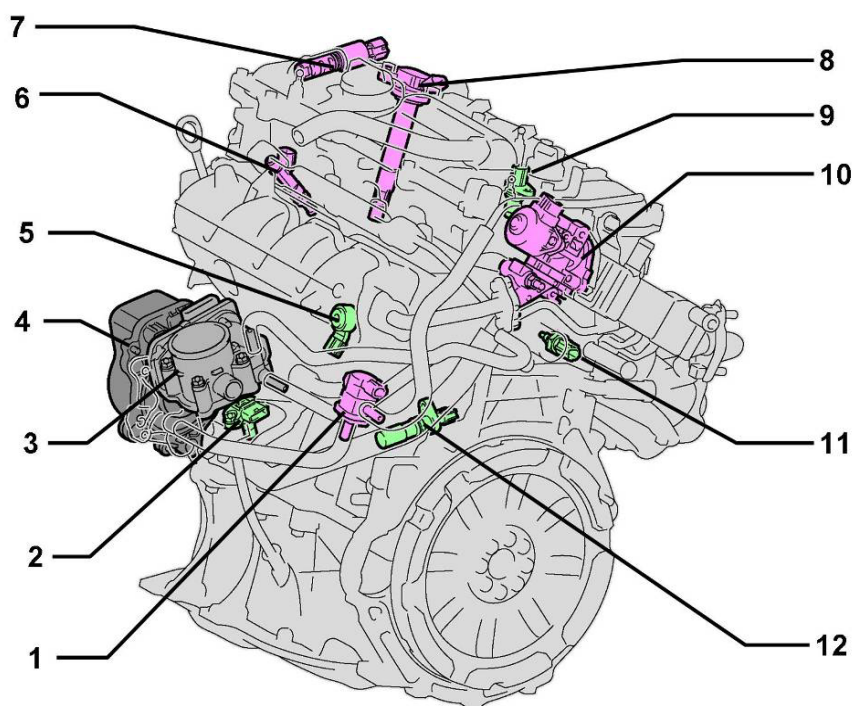


Рис. 35. Расположение основных элементов системы управления двигателем:
 1 - вакуумный клапан;
 2 - датчик разрежения во впускном коллекторе;
 3 - блок дроссельной заслонки;
 4 - электрический насос;
 5 - датчик детонации;
 6 - форсунка; 7 – клапан регулирования подачи масла в распределительный вал;
 8 - катушка зажигания;
 9 - датчик положения распределительного вала;
 10 - клапан системы EGR;
 11 - датчик температуры охлаждающей жидкости;
 12 - датчик положения коленчатого вала

Управление насосом системы охлаждения. В обычном автомобиле насос системы охлаждения приводится в действие ременной или цепной передачей от коленчатого вала двигателя. В гибридном автомобиле для уменьшения потерь и еще большей экономии топлива используется электрический привод насоса системы охлаждения. В приводе используется синхронный трехфазный электродвигатель переменного тока, управляемый отдельным контроллером от сигнала компьютера гибридной установки. На рисунке 36 приведена схема управления электрическим насосом.

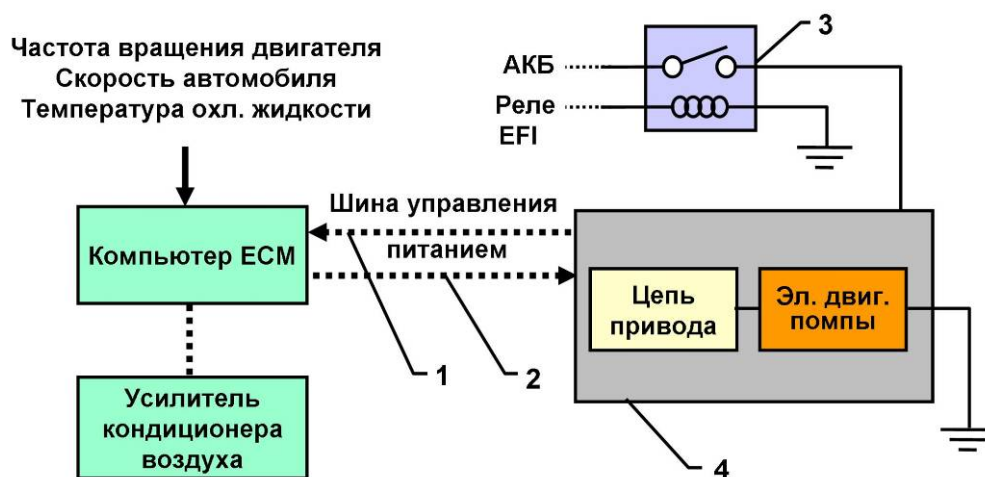


Рис. 36. Принцип управления электрическим насосом системы охлаждения:
1 - сигнал скорости вращения вала насоса; 2 - сигнал управления насосом;
3 - реле насоса; 4 - электрический насос

Контрольные вопросы по разделу

1. В чем отличие двигателя с циклом Аткинсона-Миллера?
2. Как проверить гидравлический компенсатор?
3. Периодичность замены масла в двигателе (пример).
4. Какое масло используется в системе смазки двигателя (пример)?
5. Основные элементы системы охлаждения двигателя?
6. Как удалить воздух из системы охлаждения двигателя (пример)?
7. Как работает система рекуперации тепловой энергии ОГ?
8. Для чего используется система рекуперации (EGR)ОГ?
9. Как диагностируют шаговый двигатель клапана EGR?
10. Какие свечи зажигания используются на двигателе (пример)?
11. Назовите датчики системы управления двигателем.

3. МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ

На большинстве гибридных автомобилей в качестве мотор-генераторов используются синхронные трехфазные электродвигатели-генераторы переменного тока с возбуждением от ротора на постоянных магнитах. КПД таких типов электрических машин достигает 92%, что значительно выше других электрических машин. К их недостаткам следует отнести склонность к постепенному размагничиванию ротора, особенно при высокой температуре, что требует хорошего охлаждения. Гибридная силовая установка имеет 2 мотор-генератора (MG1 и MG2). Вал MG1 соединен с коленчатым валом ДВС через демпферный диск и устройством распределения мощности. Вал MG2 также находится в устройстве распределения мощности, он соединен с ведущей осью автомобиля через планетарную передачу и набор зубчатых колес. MG1 используется в режиме генератора для зарядки высоковольтной батареи (HVB) и в режиме электродвигателя для запуска ДВС. MG2 используется как основная «тяговая» сила в начале движения при ускорении. Он может приводить в движение автомобиль автономно, а может работать вместе с ДВС. В режиме генератора он пополняет заряд HVB. В таблице 5 представлены основные характеристики MG1 и MG2 гибридных автомобилей Toyota Prius.

Таблица 5

Основные технические характеристики мотор-генераторов

Модель			ZVW30	NHW20
	MG1	Тип	синхронный с возбуждением от постоянных магнитов	
		Макс. напряжение	АС 650 В (перем. ток)	АС 500 В (перем. ток)
	MG2	Тип	синхронный с возбуждением от постоянных магнитов	
		Макс. мощность	60 кВт (80 л.с.)	50 кВт (67 л.с.)
		Макс. момент	207 Н·м	400 Н·м
			546 Н·м	
		Макс. напряжение	АС 650 В (перем. ток)	АС 500 В (перем. ток)
Система охлаждения		МГ1	жидкостное охлаждение	
		МГ2		

Отличительные особенности мотор-генераторов различных моделей, используемых в ГСУ, показаны на рисунке 37. У новых моделей мотор-генераторов общий вес уменьшен на 33 % за счет применения сосредоточенных обмоток, а максимальная мощность MG2 в режиме электродвигателя увеличена с 50 до 60 кВт за счет увеличения скорости вращения ротора. Планетарный редуктор MG2 увеличивает его крутящий момент в 2,64 раза [8-9].

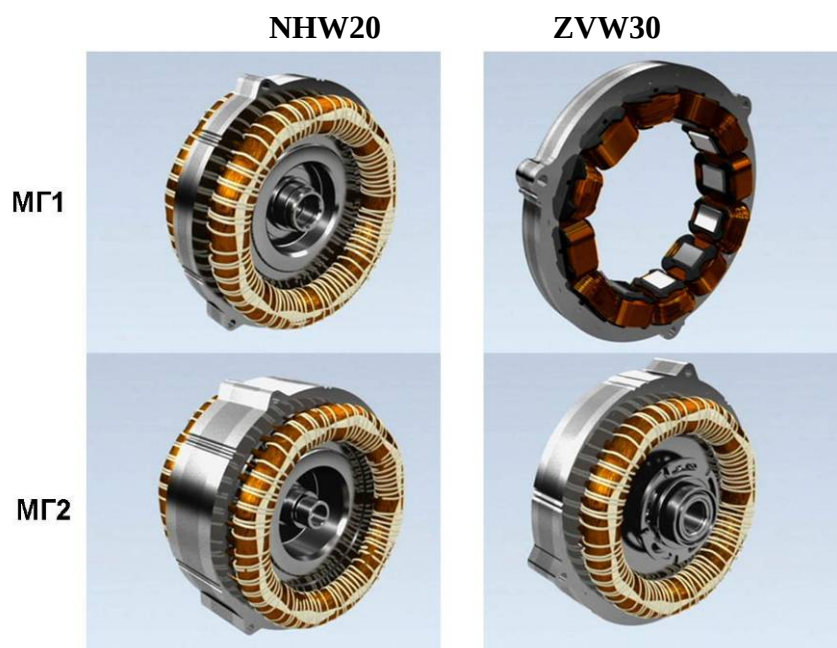


Рис. 37. Отличие мотор-генераторов различных моделей

Охлаждение мотор-генераторов осуществляется специальным маслом, которое постоянно омывает обмотку. Проходя через специальный масляный контур, масло постоянно циркулирует и охлаждает мотор- генератор, одновременно смазывая и охлаждая детали трансмиссии.

Контрольные вопросы по разделу

1. Какие мотор-генераторы используются в ГСУ?
2. Как охлаждают мотор-генераторы?
3. Назначение МГ1.
4. Назначение МГ2.
5. Основные характеристики МГ1 и МГ2.

4. ИНВЕРТОРЫ

Инверторы предназначены для преобразования постоянного тока в переменный трехфазный для управления скоростью и крутящим моментом мотор-генераторов. Регулируемые параметры тока в трехфазной обмотке – это: частота, скважность и напряжение. Скважность – это параметр, отражающий степень заполнения импульсов напряжения при широтно-импульсной модуляции напряжения. Управление скважностью позволяет плавно изменять крутящий момент мотор-генератора.

Расположение инверторов в автомобиле показано на рисунке 38, а характеристики их основных компонентов и размеры для разных моделей ГСУ приведены в таблице 6.



Рис. 38. Расположение инверторов на автомобиле

Таблица 6

Характеристики инверторов различных моделей

Модель		ZVW30	NHW20
Компоненты		Инвертор, повышающий преобразователь, ЭБУ мотор-генераторов и DC/DC-конвертер	Инвертор, повышающий преобразователь, DC/DC-конвертер и А/С-инвертор
Система охлаждения	Компоновка	SLLC (отдельно от системы охлаждения двигателя)	
	Принцип действия	Прямого охлаждения	Непрямого охлаждения
Размеры (для справки)	Вес, кг	13,5	-
	Объем, л	13	26

На рисунке 39 показаны выводы высоковольтных кабелей инвертора и их назначение.

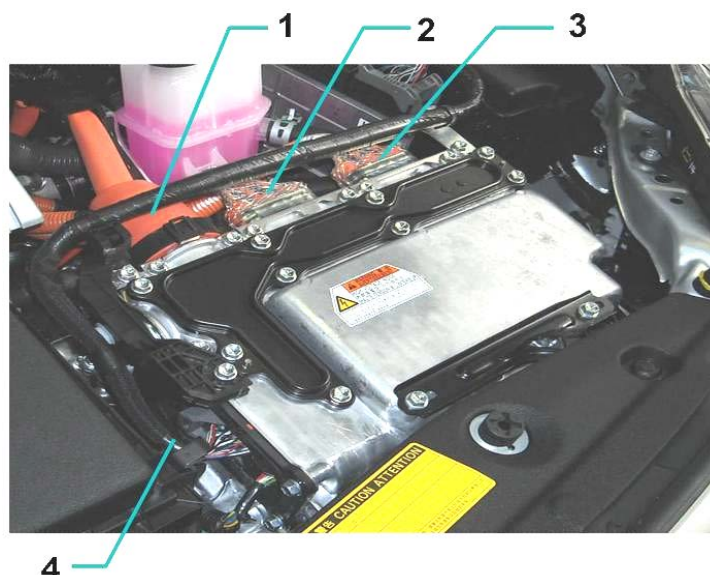


Рис. 39. Выводы высоковольтных кабелей инвертора:
 1 - высоковольтный кабель HVВ; 2 - высоковольтный кабель MG1;
 3 - высоковольтный кабель MG2; 4 - высоковольтный кабель
 электродвигателя компрессора кондиционера

Блок инвертора имеет многослойную структуру, показанную на рисунке 40. Она позволила снизить вес и сделать его компактным. Основными компонентами являются: конденсатор, интеллектуальные силовые модули, реактор, ЭБУ мотор-генераторов и DC/DC-конвертер.

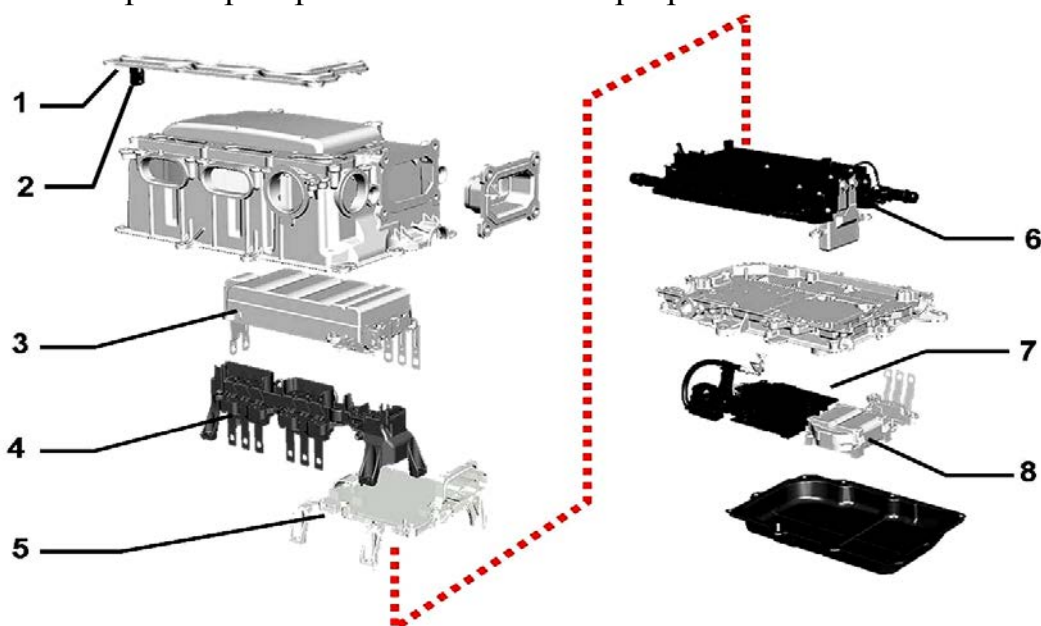


Рис. 40. Структура блока инверторов: 1 - крышка инвертора;
 2 - блокировочный выключатель; 3 - конденсатор; 4 - датчик тока инвертора;
 5 - ЭБУ мотор-генераторов; 6 - интеллектуальные силовые ключи;
 7 - DC/DC-конвертер; 8 - реактор

Функциональная связь инвертора с блоком высоковольтной батареи, трансмиссией, компрессором кондиционера и вспомогательной аккумулятор-

ной батареей приведена в структурной схеме на рисунке 41. Электрическое взаимодействие ГСУ с инвертором и конвертером показано на рисунке 42.

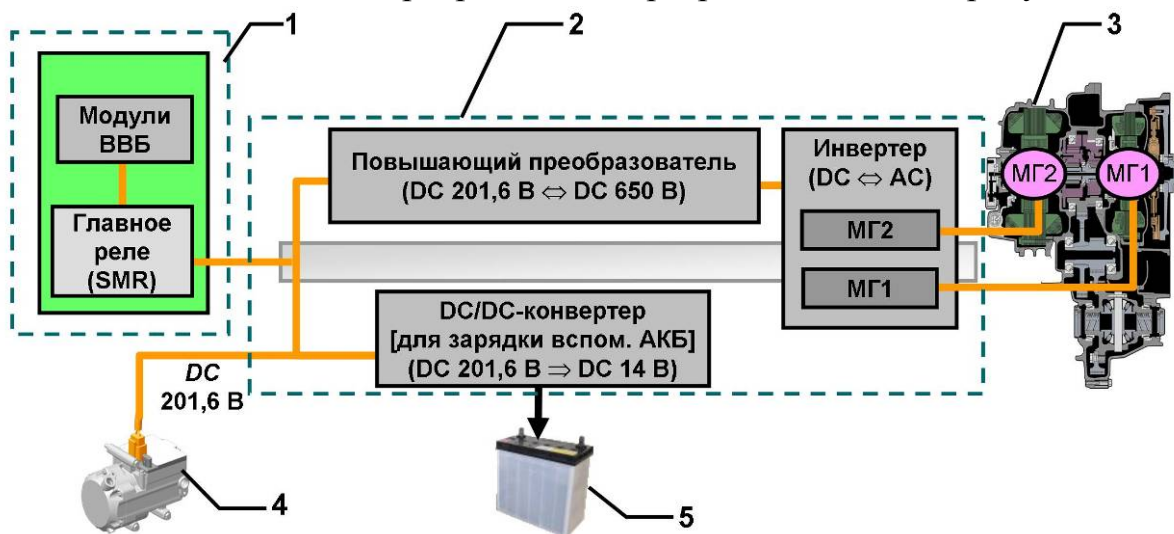


Рис. 41. Структурная схема блока инвертора: 1 - блок высоковольтной батареи (DC 201,6 В); 2 - инвертор с конвертером в сборе; 3 - трансмиссия; 4 - компрессор кондиционера с электроприводом; 5 - вспомогательная АКБ

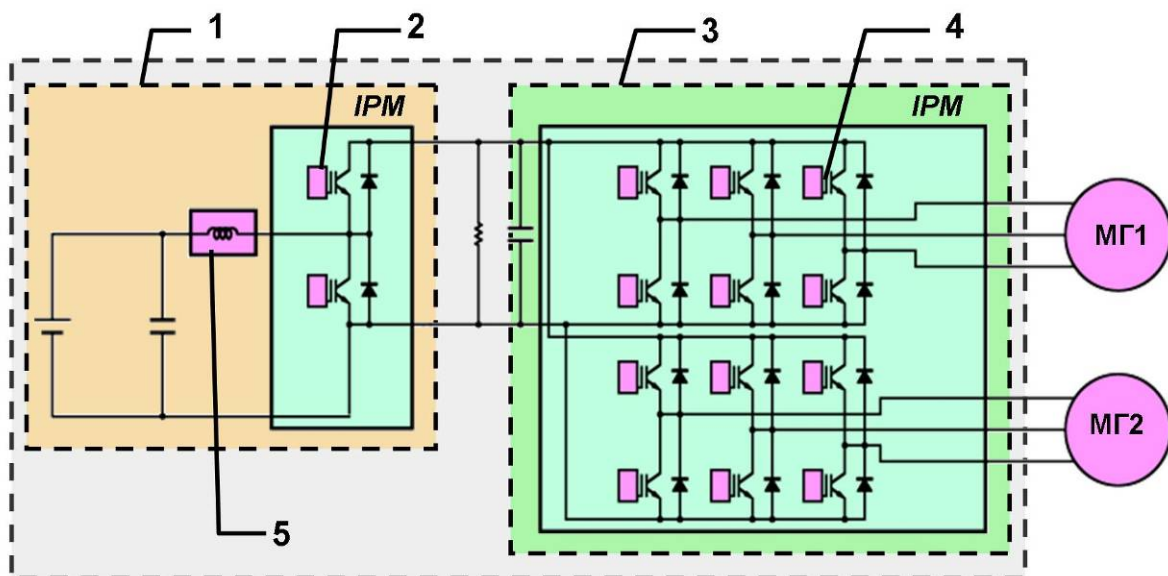


Рис. 42. Инвертор с конвертером в сборе: 1 - повышающий преобразователь (DC); 2,4 - силовые электронные ключи (IGBT); 3 - инвертор; 5 - реактор

Датчик атмосферного давления установлен на плате ЭБУ мотор-генераторов. Датчик измеряет атмосферное давление и передаёт сигнал на вход ЭБУ мотор-генераторов, что позволяет ввести коррекцию для учёта условий эксплуатации автомобиля (рис. 43).

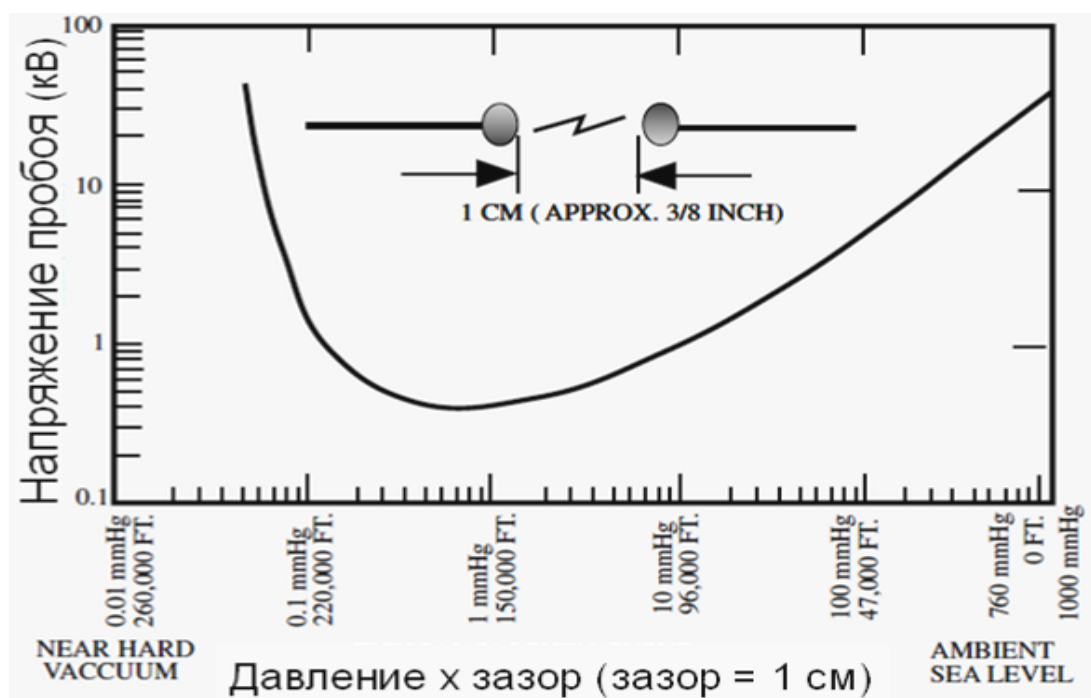


Рис. 43. Напряжение пробоя в зависимости от давления и величины зазора

При возникновении неисправности датчика в памяти ЭБУ могут быть записаны коды неисправности (табл. 7).

Таблица 7

**Коды неисправностей (DTC), относящиеся
к датчику атмосферного давления**

Номер кода	Неисправный компонент	Условия для регистрации кода
P0069-273	Коррекция датчика атмосферного давления по сигналу датчика абсолютного давления во впускном коллекторе	Разница между сигналом датчика атмосферного давления, установленного внутри инвертора, и сигналом датчика атмосферного давления, установленного во впускном коллекторе (для управления рециркуляцией отработавших газов) превышает установленный уровень. Этот код неисправности записывается в том случае, когда автомобиль в течение 3 часов продолжает работать в режиме электромобиля (режим EV).
P2228-268	Линия "А" датчика атмосферного давления – сигнал низкого уровня	Короткое замыкание на «массу» в цепи датчика атмосферного давления.
P2229-269	Линия "А" датчика атмосферного давления – сигнал высокого уровня	Обрыв цепи или короткое замыкание на «плюс» питания в цепи датчика атмосферного давления.

Система охлаждения инвертора выполнена отдельно от системы охлаждения двигателя. Конструкция и основные элементы системы охлаждения показаны на рисунке 44.

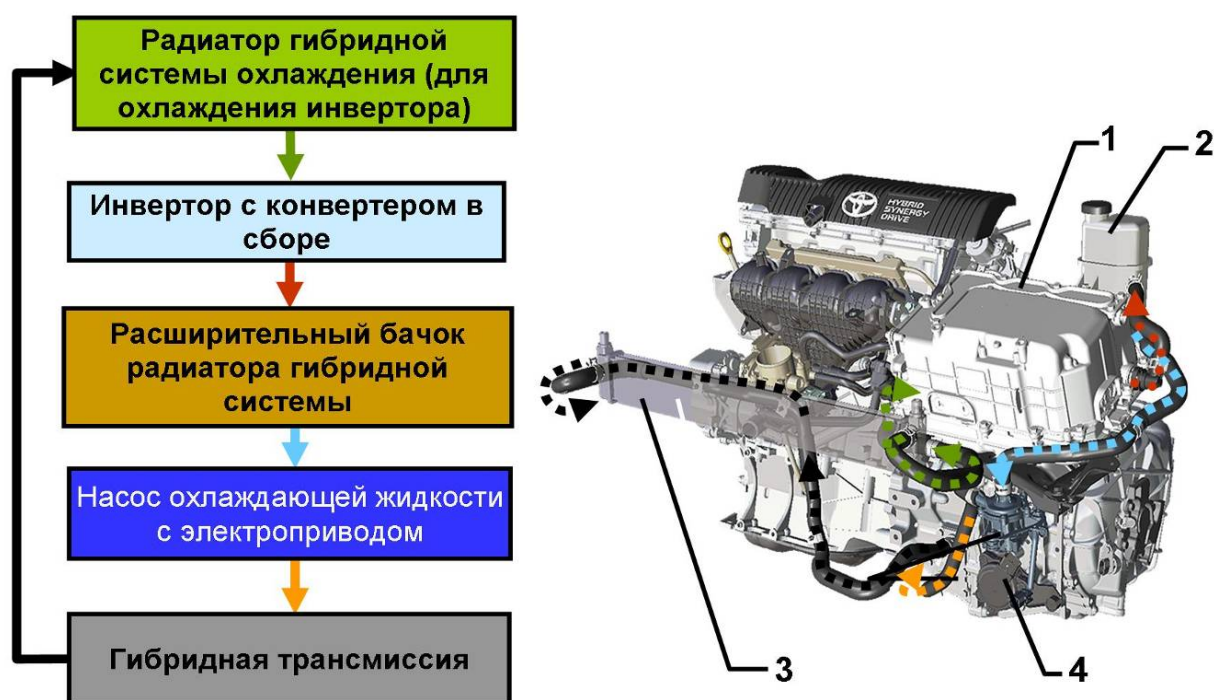


Рис. 44. Схема системы охлаждения инвертора: 1 - инвертор с конвертером в сборе; 2 - расширительный бачок гибридной системы; 3 - радиатор гибридной системы; 4 - электрический насос

Технологический процесс обслуживания системы охлаждения инвертора при замене охлаждающей жидкости в ГСУ приведён в таблице 8 и рисунке 45.

Таблица 8

Обслуживание системы охлаждения инвертора

Тип охлаждающей жидкости			Оригинальная охлаждающая жидкость Super Long Life Coolant (SLLC) или её аналог
Ёмкость системы			3,4 литра
Интервал техническо- го обслужи- вания	Осмотр		Каждое ТО
	Замена	при первой замене	240 000 км
		при последующих заменах	240 000 км

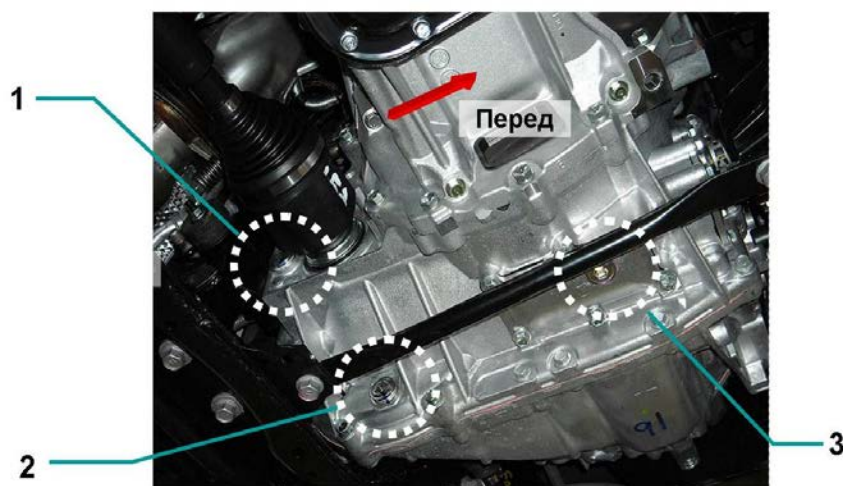


Рис. 45. Расположение сливных и заливных пробок в гибридной трансмиссии: 1 - пробка для заполнения гибридной трансмиссии рабочей жидкостью (шестигранник на 10 мм); 2 - пробка для слива рабочей жидкости из гибридной трансмиссии (шестигранник на 10 мм); 3 - пробка для слива охлаждающей жидкости из гибридной системы (шестигранник на 10 мм)

Для заполнения системы охлаждения инвертора охлаждающей жидкостью необходимо выполнить следующие операции:

1. Заполнить расширительный бачок инвертора охлаждающей жидкостью до отметки FULL (рис. 46).
 2. Включить насос охлаждающей жидкости с помощью меню Active Test (контроль исполнительных механизмов).
 3. Дать насосу поработать в течение 10 мин. При этом добавлять охлаждающую жидкость для поддержания уровня в расширительном бачке возле отметки FULL. Выключить насос и подождать 1 мин.
 4. Повторить операции пункта «3» до окончания удаления паровых пробок.
- Удаление паровых пробок считается завершённым, когда шум от работы насоса существенно уменьшится, или в расширительном бачке перестанут появляться воздушные пузырьки.



Расширительный бачок гибридной системы

Рис. 46. Замена охлаждающей жидкости

Не следует использовать слитую охлаждающую жидкость повторно, так как в ней могут содержаться посторонние частицы. Основные неисправности инверторов проявляются при наличии паровых пробок и регистрируются кодами, приведёнными в таблице 9.

Таблица 9

Коды неисправностей, связанные с системой охлаждения инверторов

Код DTC	Код INF	Компонент, с которым связан код неисправности
P0A01	725	Характеристика / рабочий диапазон датчика охлаждающей жидкости гибридной системы охлаждения
	726	
P0A78	284	Характеристика инвертора тягового электродвигателя “А”
P0A7A	322	Характеристика инвертора генератора
P0A93	346	Характеристика системы охлаждения инвертора
P0A94	553	Характеристика DC / DC конвертера
P0AEE	276	Характеристика / рабочий диапазон датчика температуры инвертора “А”
	277	
P3221	314	Характеристика / рабочий диапазон датчика температуры инвертора генератора
	315	
P3226	562	Датчик температуры повышающего преобразователя постоянного тока
	563	

Мероприятия по охране труда. В инверторах используется высокое напряжение, опасное для жизни человека, поэтому перед началом работы с ними необходимо выполнить меры безопасности, указанные ниже:

1. Выключить зажигание (положение OFF) и убрать ключ зажигания за пределы салона.
2. Отсоединить кабель от «отрицательной» клеммы вспомогательной аккумуляторной батареи (рис. 47).



Рис. 47. Местоположение аккумуляторной батареи:

- 1 – расположение вспомогательной АКБ в багажном отсеке;
2 – отверстие для сброса выделившегося водорода; 3 – датчик температуры АКБ

3. Проверить состояние диэлектрических перчаток. Перед использованием диэлектрических перчаток убедитесь в отсутствии на них трещин, надрывов и других повреждений. Порядок проверки диэлектрических перчаток показан на рисунке 48:

- 1 - повернуть перчатку набок
- 2 - подвернуть край 2 или 3 раза
- 3 - сложить пополам для герметизации внутреннего объема
- 4 - убедиться в отсутствии утечек воздуха

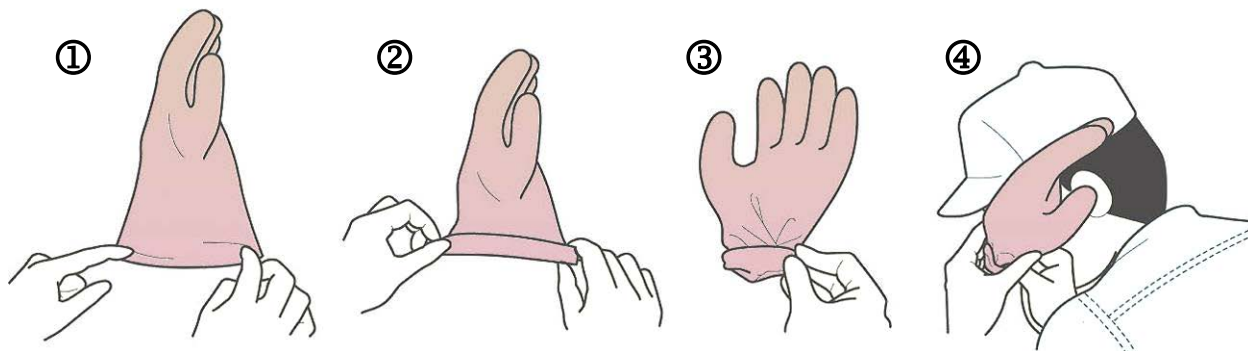


Рис. 48. Порядок проверки диэлектрических перчаток

4. Снять сервисную вилку по операциям на рисунке 49 и положить ее в карман одежды.

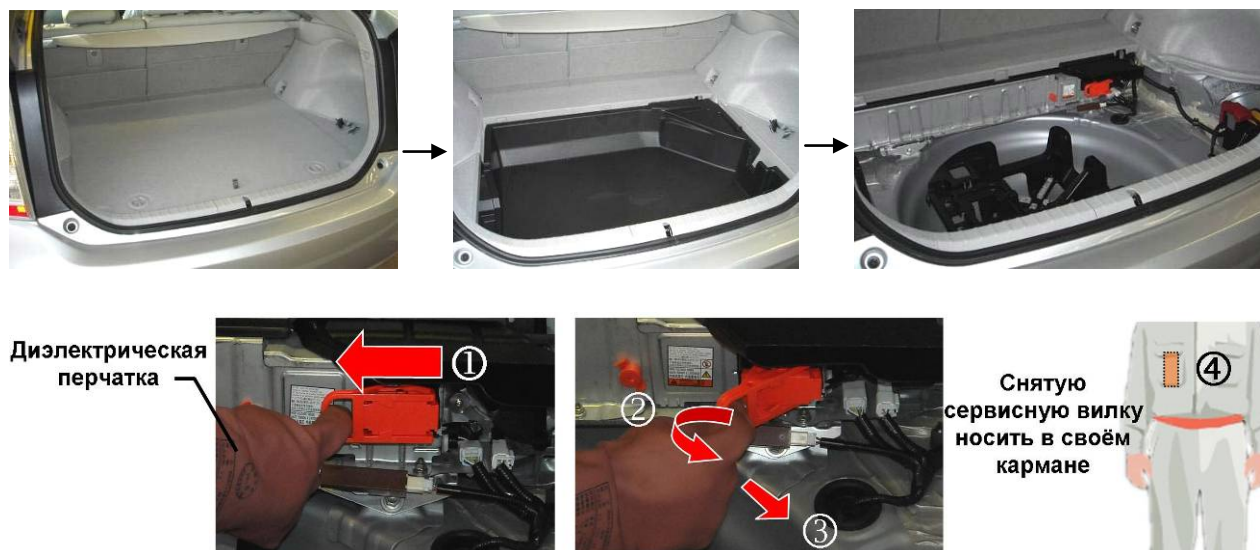


Рис. 49. Порядок снятия сервисной вилки

5. После снятия сервисной вилки (рис. 49) подождать 10 минут – это интервал времени, необходимый для разрядки высоковольтного конденсатора (рис. 50).

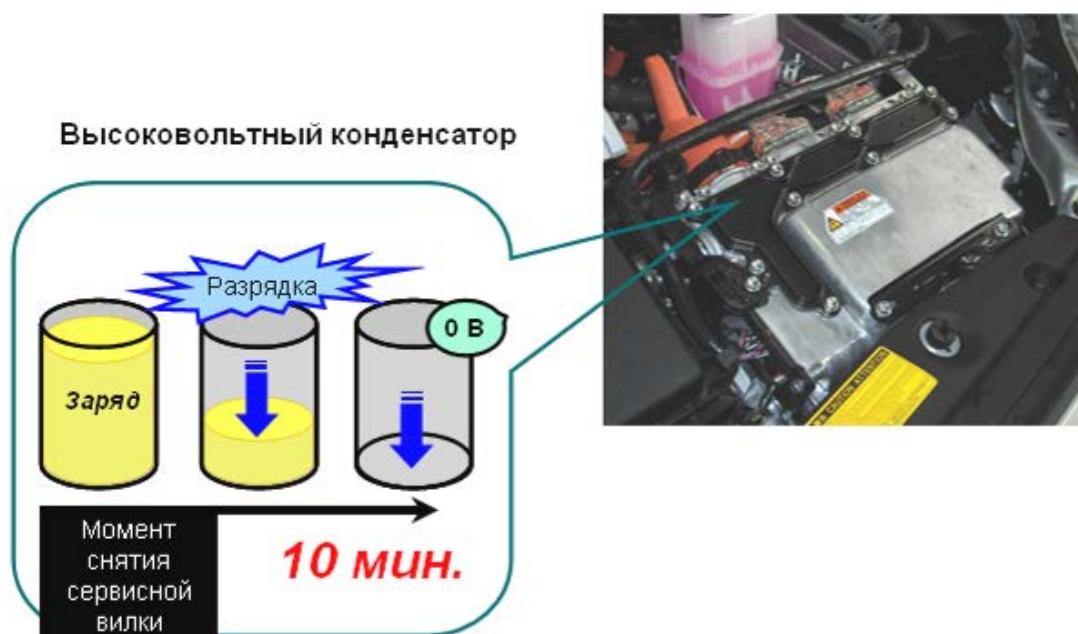


Рис. 50. Разряд высоковольтных конденсаторов инверторов

6. Проверить, как показано на рисунке 51, что напряжение на клеммах высоковольтного конденсатора составляет 0 В (измерительный диапазон тестера 750 В или более).

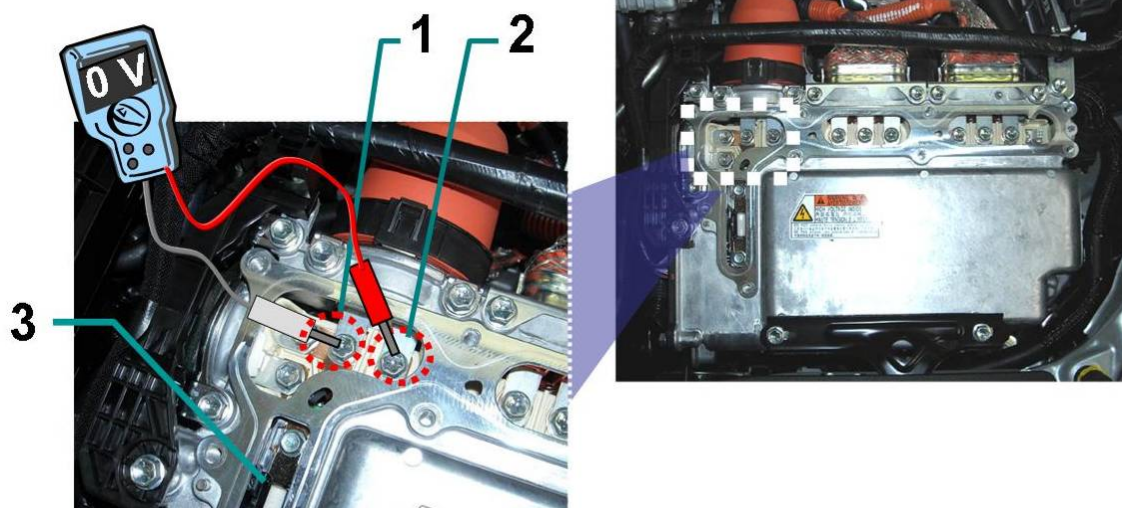


Рис. 51. Проверка напряжения на клеммах конденсатора: 1 - отрицательная клемма;
2 - положительная клемма; предохранитель высоковольтной цепи;
3 - предохранитель высоковольтной цепи

7. Изолировать отсоединённые наконечники высоковольтных проводов виниловой изолянткой, как показано на рисунке 52.

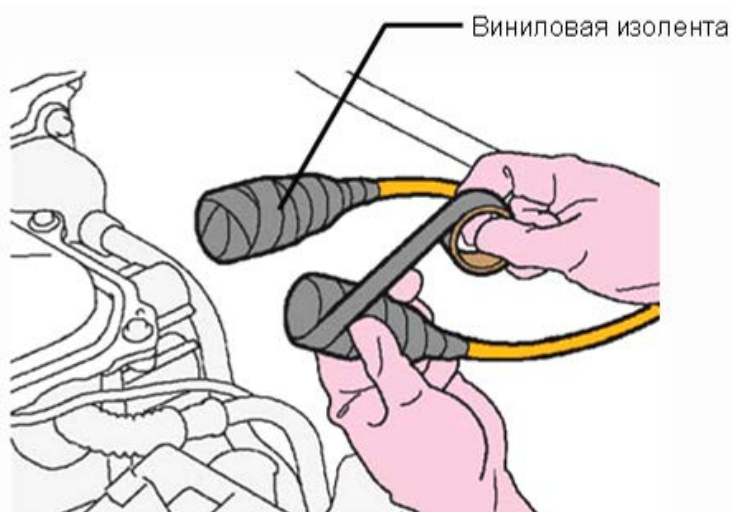


Рис. 52. Изолирование
высоковольтных проводов

Меры предосторожности во время снятия крышки инвертора (рис. 53):

1. После снятия сервисной вилки необходимо подождать 10 минут или больше для разрядки высоковольтного конденсатора.
2. Отвернуть 9 болтов и снять защитную крышку присоединительных клемм инвертора.



Крышка
присоединительных
клемм инвертора

Рис. 53. Снятие крышки инвертора

При снятии крышки необходимо избегать ее поворотов, так как на ней установлен разъем блокировочного устройства. Чтобы после снятия крышки избежать попадания посторонних предметов или жидкости, необходимо закрыть отверстия лентой, не оставляющей после себя следов. Убедиться, что напряжение на клеммах высоковольтного конденсатора равно 0 В (измерительный диапазон тестера 750 В или более).

Контрольные вопросы по разделу

1. Каково назначение инверторов в гибридной силовой установке?
2. Каково назначение конвертера в гибридной силовой установке?
3. Как охлаждается инвертор?
4. Каковы основные неисправности инвертора?
5. Назовите мероприятия по охране труда при работе с инверторами.

5. ВЫСОКОВОЛЬТНАЯ АККУМУЛЯТОРНАЯ БАТАРЕЯ

Высоковольтная аккумуляторная батарея (HVB) расположена в багажном отделении за задними сиденьями (рис. 54). Она является источником постоянного тока высокого напряжения и при обращении с ней необходимо соблюдать особую осторожность.

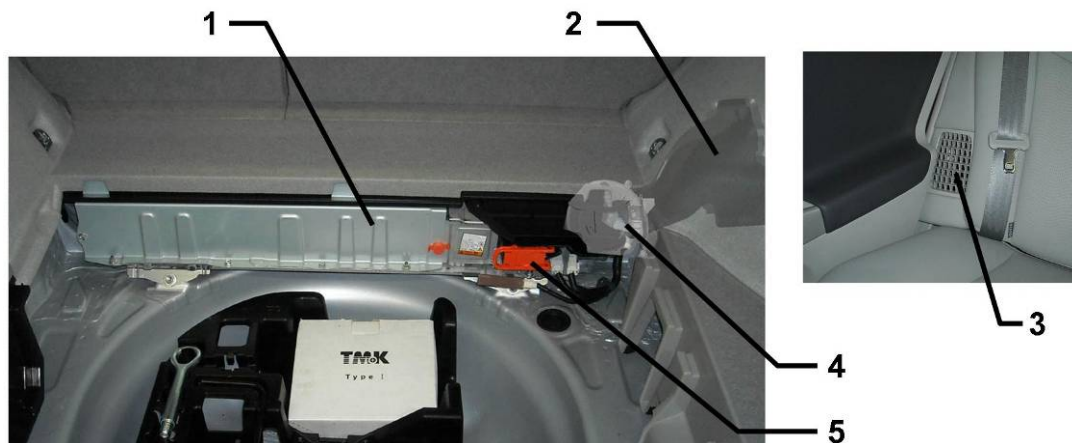


Рис. 54. Расположение высоковольтной батареи: 1 - высоковольтная батарея; 2 - впускной воздуховод; 3 - заборник воздуха; 4 - вентилятор охлаждения высоковольтной батареи; 5 - сервисная вилка

Высоковольтная аккумуляторная батарея состоит из следующих основных компонентов, которые показаны на рисунке 55.

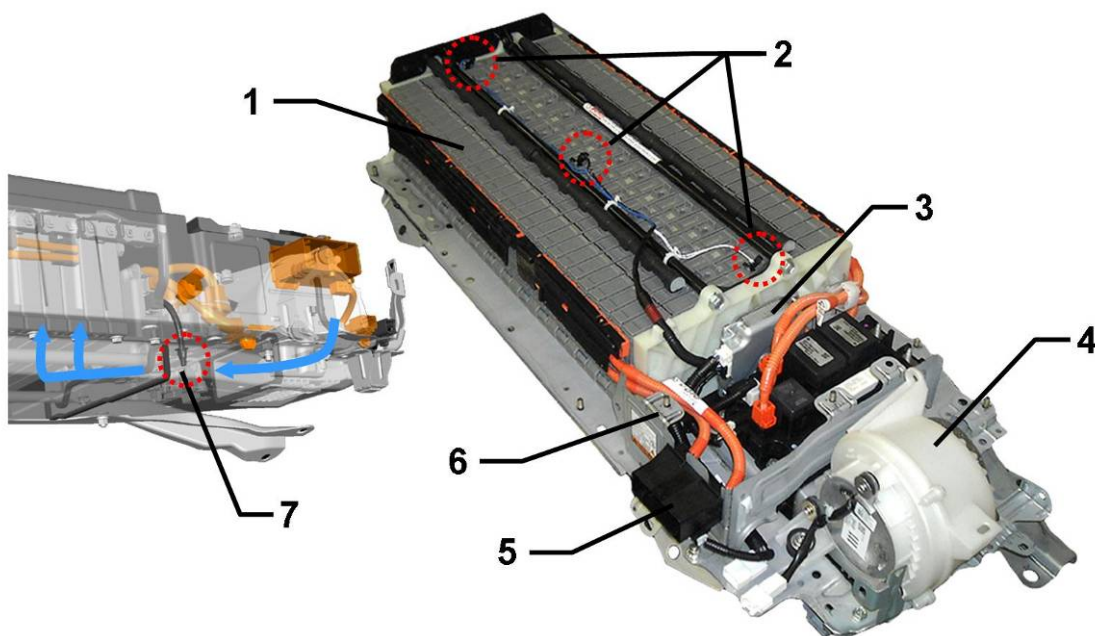


Рис. 55. Основные элементы высоковольтной батареи (HVB):
1 - модули высоковольтной батареи; 2 - датчики температуры модулей батареи;
3 - блок управления батареями; 4 - вентилятор охлаждения батареи;
5 - разъем сервисной вилки; 6 - блок реле батареи

Таблица 10

Технические характеристики высоковольтной аккумуляторной батареи

Высоковольтная аккумуляторная батарея	Тип	Герметичная никель-металлогидридная аккумуляторная батарея (Ni-MH)
	Количество ячеек	168 ячеек (6 ячеек X 28 модулей)
	Номинальное напряжение	201,6 В (1,2 В X 168 ячеек)
Сервисная вилка	Основной предохранитель	125 А
	Блокировочный выключатель	Установлен
Вентилятор охлаждения	Тип электродвигателя	Бесщёточный
	Тип вентилятора	«Сирокко»
Датчик температуры высоковольтной батареи		Охлаждающего воздуха x 1, модулей x 3
Блок реле высоковольтной аккумуляторной батареи		Главные реле (SMRB / SMRP / SMRG), датчик тока высоковольтной батареи, гасящий резистор

В таблице 10 приведены технические характеристики высоковольтных никель-металлогидридных аккумуляторов, конструкция которых показана на рисунке 56. Они обладают высокой плотностью энергии на единицу объёма аккумулятора, что экономит место в автомобиле и уменьшает его вес. В Ni-MH призматических аккумуляторах положительные и отрицательные электроды размещены поочередно, а между ними размещается сепаратор. Блок электродов вставлен в металлический или пластмассовый корпус и закрыт герметичной крышкой. На крышке устанавливается датчик давления (позиция 6).

В Ni-MH аккумуляторах используется щелочной электролит, состоящий из КОН (едкий калий) с добавкой гидроксида лития LiOH. В качестве сепаратора в Ni-MH аккумуляторах применяются нетканые полипропилен и полиамид толщиной 0,12-0,25 мм, обработанные смачивателем. Положительный электрод представляет собой оксидно-

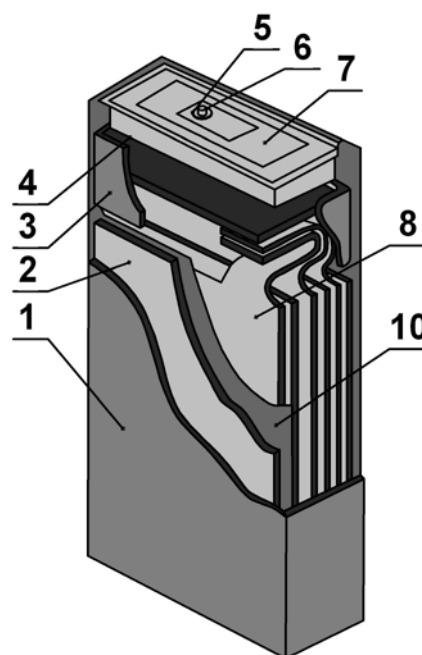


Рис. 56. Конструкция Ni-MH аккумулятора: 1-корпус; 2 - отрицательный электрод; 3 - изолятор; 4 - изоляционная прокладка; 5 - колпачок клапана; 6 - датчик давления; 7 - крышка; 8 - положительный электрод; 9 - сепаратор

никелевый пористый слой на пенополимерной основе. Отрицательный электрод состоит из порошка или пасты активной массы, обладающей водород-абсорбирующими свойствами, нанесенной на токопроводящую сетку.

Характеристиками никель-металлогидридного аккумулятора, как источника электрического тока, являются: напряжение, электрическая емкость, внутреннее сопротивление, ток саморазряда и срок службы. Значение напряжения разомкнутой цепи $U_{р.ц.}$ заряженного Ni-MH - аккумулятора находится в интервале 1,50-1,35 В. Номинальное разрядное напряжение U_p при нормированном токе разряда $I_p = 0,1-0,2C_{ном}$ ($C_{ном}$ - номинальная емкость аккумулятора) при 25°C составляет 1,2-1,25 В. Напряжение уменьшается с ростом нагрузки, как показано на рисунке 57.

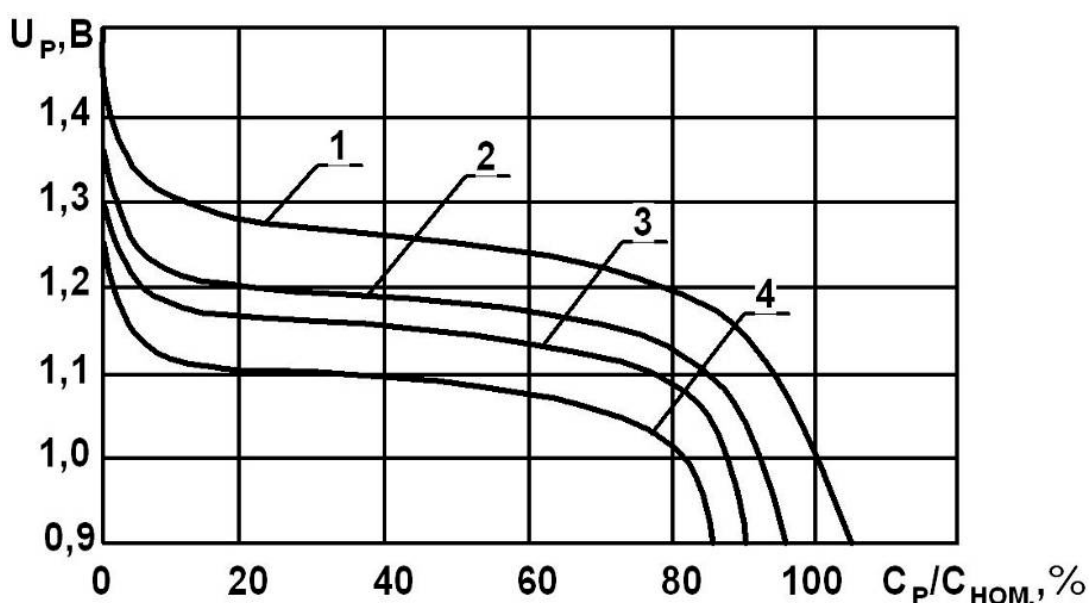


Рис. 57. Разрядные характеристики Ni-MH аккумулятора при температуре 20°C и разных нормированных токах нагрузки:
1 - 0,2 $C_{ном}$; 2 - 1,0 $C_{ном}$; 3 - 2,0 $C_{ном}$; 4 - 3,0 $C_{ном}$

Конечное напряжение разряда аккумулятора U_k составляет – 1 В. Конструкция Ni-MH аккумулятора обеспечивает замкнутый зарядно-разрядный цикл без выделения химических веществ в атмосферу. Ёмкость аккумулятора показывает количество энергии, которое способен отдать полностью заряженный аккумулятор при установившейся температуре 20° С в 20-часовом режиме разряда до конечного напряжения на клеммах 1,0 Вольт. С повышением нагрузки (уменьшение времени разряда) и при понижении температуры емкость Ni-MH аккумулятора уменьшается (рис. 58). Особенно заметно действие снижения температуры на емкость при больших скоростях разряда и при температурах ниже 0°C.

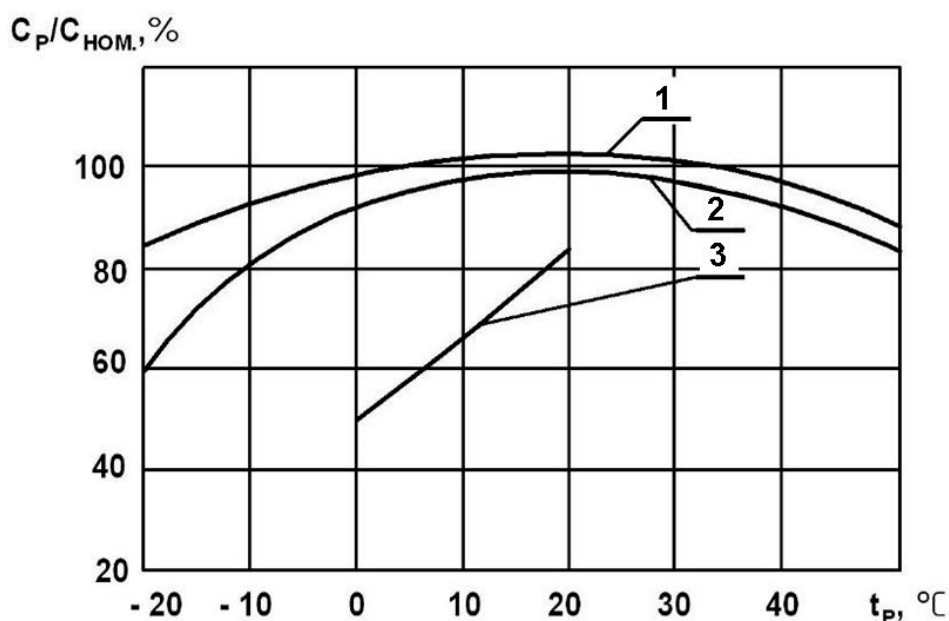


Рис. 58. Зависимость разрядной емкости Ni-MH аккумулятора от температуры при разных токах разряда: 1-0,2 $C_{\text{НОМ}}$; 2-1,0 $C_{\text{НОМ}}$; 3-3,0 $C_{\text{НОМ}}$

При хранении происходит саморазряд Ni-MH аккумулятора. Саморазряд – самопроизвольная потеря аккумулятором запасенной энергии с течением времени. Это явление вызвано окислительно-восстановительными процессами, протекающими самопроизвольно, и присуще всем типам аккумуляторов, независимо от их электрохимической системы. Для количественной оценки саморазряда используется величина потерянной аккумулятором за определенное время энергии, выраженная в процентах от значения, полученного сразу после заряда.

По прошествии месяца при температуре 20°C потеря емкости составляет 20-30%, а при дальнейшем хранении потери уменьшаются до 3-7% в месяц. Скорость саморазряда повышается при увеличении температуры (рис. 59).

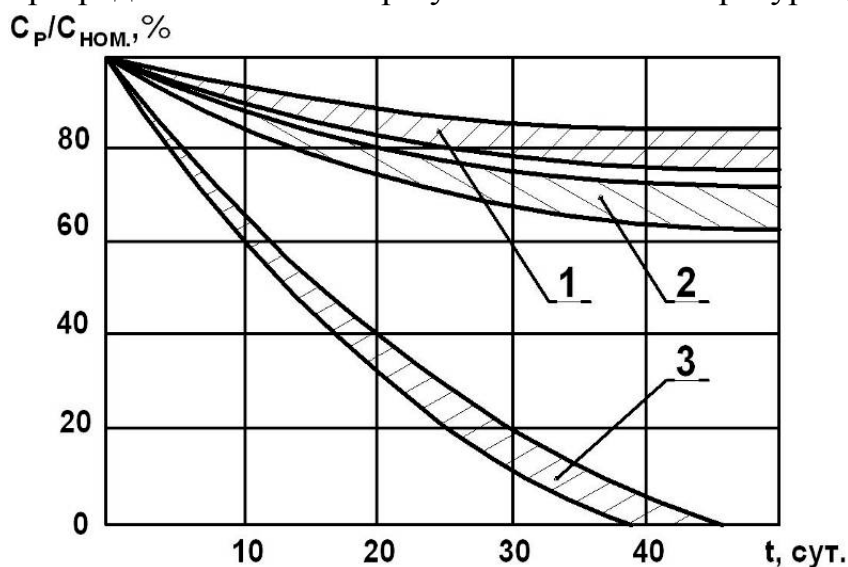


Рис. 59. Зависимость разрядной емкости Ni-MH аккумулятора от времени хранения при разных температурах: 1 - 0°C; 2 - 20°C; 3 - 40°C

В процессе заряда и разряда аккумуляторов всегда выделяется тепло, которое является побочным фактором химической реакции. Также это обусловлено тем, что в HVB гибридного автомобиля в режиме заряда-разряда токи могут достигать 50 ампер, что в 7 раз больше их часовой емкости. Как если бы заряжать «пальчиковые» аккумуляторы от фотоаппарата током 15 А. При таком токе заряда они быстро перегреются и, вероятно, срок их службы будет очень коротким. Чтобы не допускать такие перегрузки батарея должна иметь принудительное охлаждение. Система охлаждения Prius имеет заборник воздуха, вентилятор охлаждения HVB, реле включения вентилятора и контроллер (рис. 60). По показаниям датчиков температуры при достижении порогового нагрева, контроллер включает вентиляторы системы охлаждения.

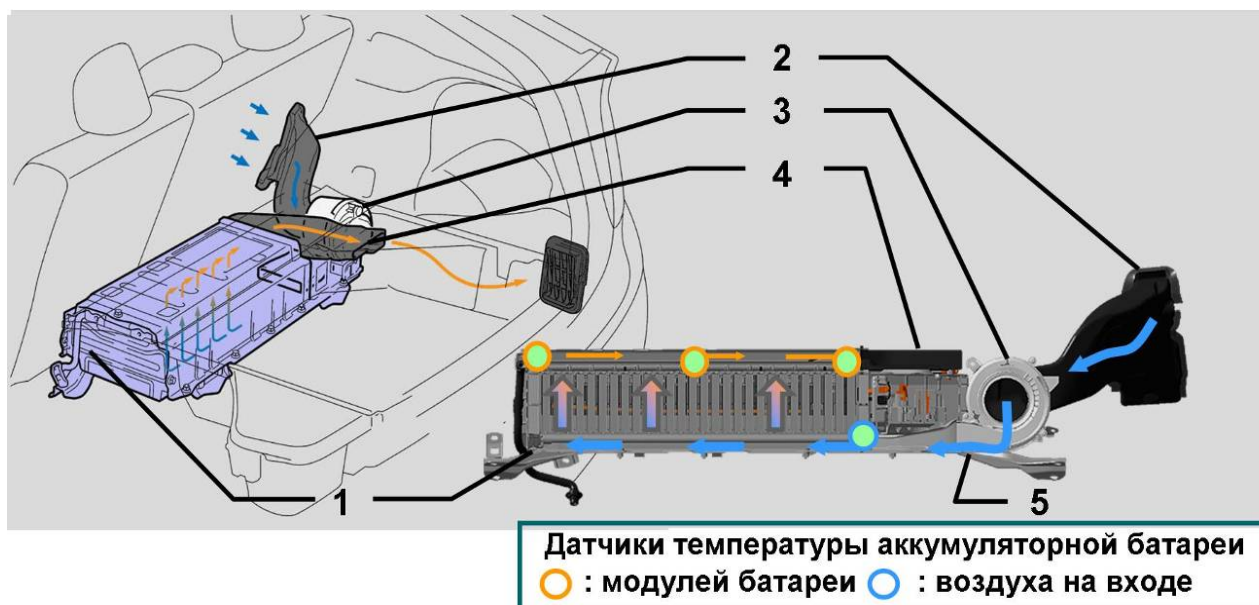


Рис. 60. Вентиляция HVB: 1 - HVB; 2 - заборник воздуха;
 3 - вентилятор охлаждения HVB; 4 - воздуховод для сброса воздуха;
 5 - поток охлаждающего воздуха

Три главных реле (SMR) обеспечивают подключение и отключение источника питания от высоковольтной цепи по сигналам ЭБУ, предназначенного для расчёта баланса мощности (блок HV CPU).

Как следует из рисунке 61 блок реле высоковольтной батареи имеет 3 главных реле. Реле SMRG и SMRB служат для размыкания положительного и отрицательного выводов батареи при выключении зажигания или при возникновении аварийной ситуации. Реле SMRP необходимо для плавного заряда буферных конденсаторов инверторов после включения зажигания.

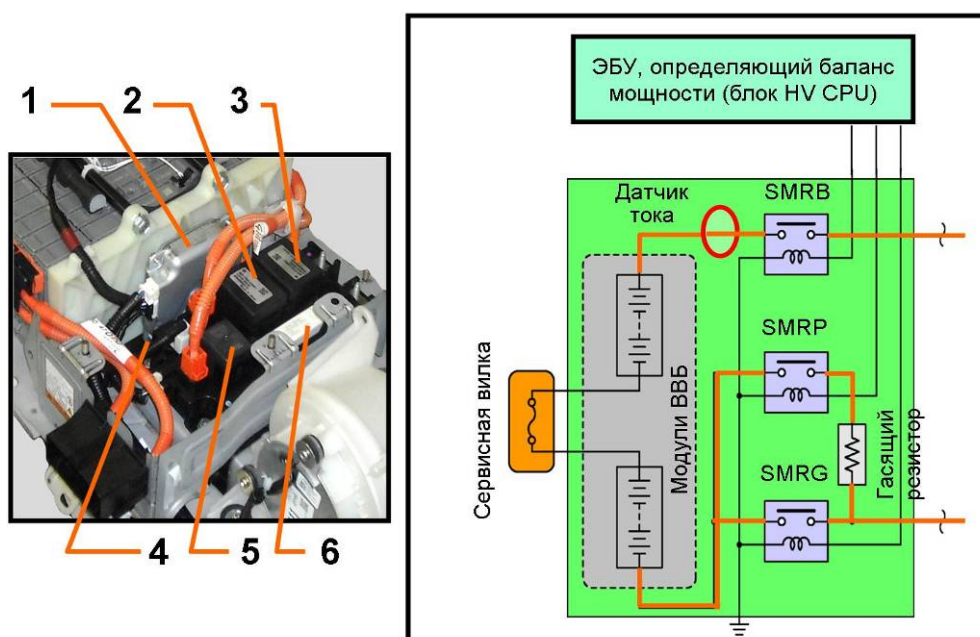


Рис. 61. Расположение главных реле HVB: 1 - блок управления батареей; 2 - реле SMRG; 3 - реле SMRB; 4 - датчик тока батареи; 5 - реле SMRP; 6 - гасящий резистор

В целях соблюдения безопасности не следует вынимать главные реле (SMR) из блока. Перед тем как касаться руками блока батареи, необходимо убедиться в отсутствии кода неисправности DTC P0AA6 (дефект изоляции цепи высоковольтной аккумуляторной батареи (табл. 11)). При наличии этого кода неисправности перед снятием батареи необходимо найти и устранить причину неисправности.

Таблица 11

Коды неисправности по дефекту изоляции батареи

DTC		Уточняющая информация	
Код	Название	Код INF	Информация (место возникновения неисправности)
P0AA6	Дефект изоляции цепи высоковольтной аккумуляторной батареи	526	Дефект изоляции на всех участках высоковольтной цепи
		611	Электропривод компрессора и А/С инвертор
		612	Высоковольтная аккумуляторная батарея, интеллектуальный блок, блок реле
		613	Гибридная трансмиссия, инвертор с конвертером в сборе
		614	Участок постоянного тока

Основные меры безопасности перед началом обслуживания батареи:

1. Выключить зажигание (положение OFF) и убрать ключ зажигания за пределы салона, где его может обнаружить система доступа и пуска двигателя.
2. Отсоединить кабель от «отрицательной» клеммы вспомогательной аккумуляторной батареи.
3. Проверить состояние диэлектрических перчаток.
4. Снять сервисную вилку.

5. Подождать 10 минут для разрядки высоковольтного конденсатора внутри блока инвертора.
6. Проверить напряжение на клеммах инвертора (0 В).
7. Изолировать отсоединённые наконечники высоковольтных проводов виниловой изолянтной.

Для безопасного снятия и установки HVВ имеет фиксатор корпуса. Этот фиксатор (рис. 62) может быть разблокирован только с помощью наконечника сервисной вилки.

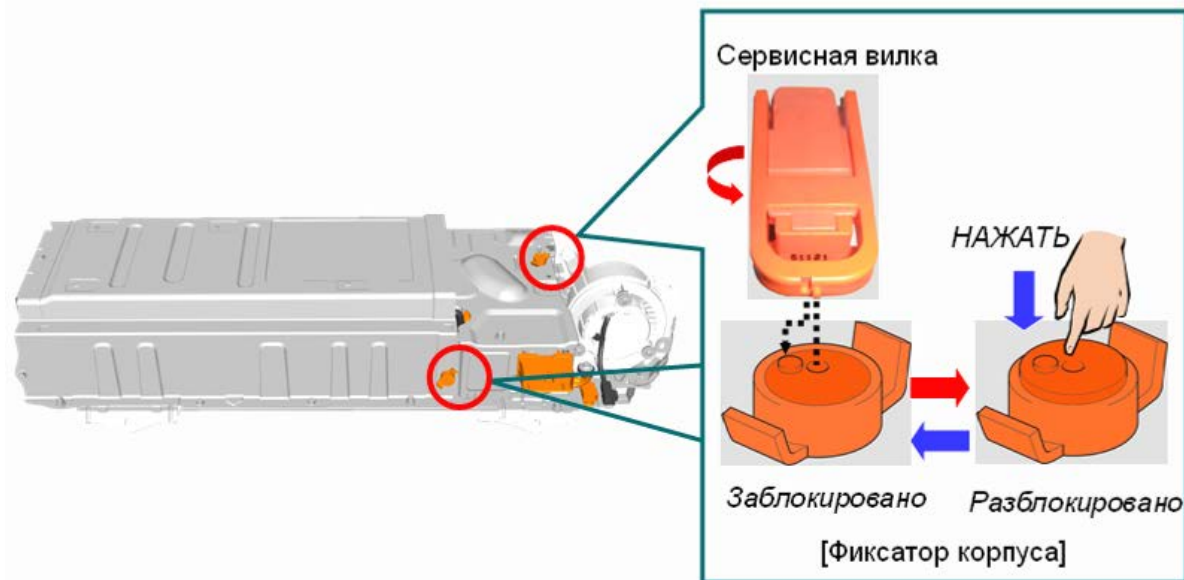


Рис. 62. Разблокировка фиксатора корпуса батареи

Для предотвращения электрического удара предусмотрено автоматическое и ручное отключение высоковольтных цепей от HVВ (рис. 63).

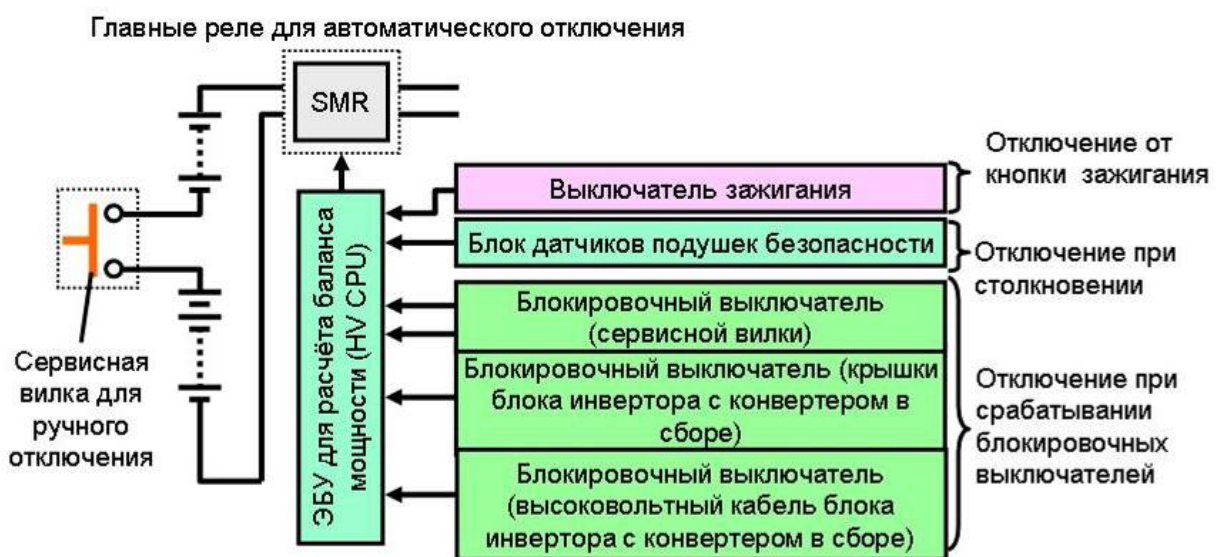
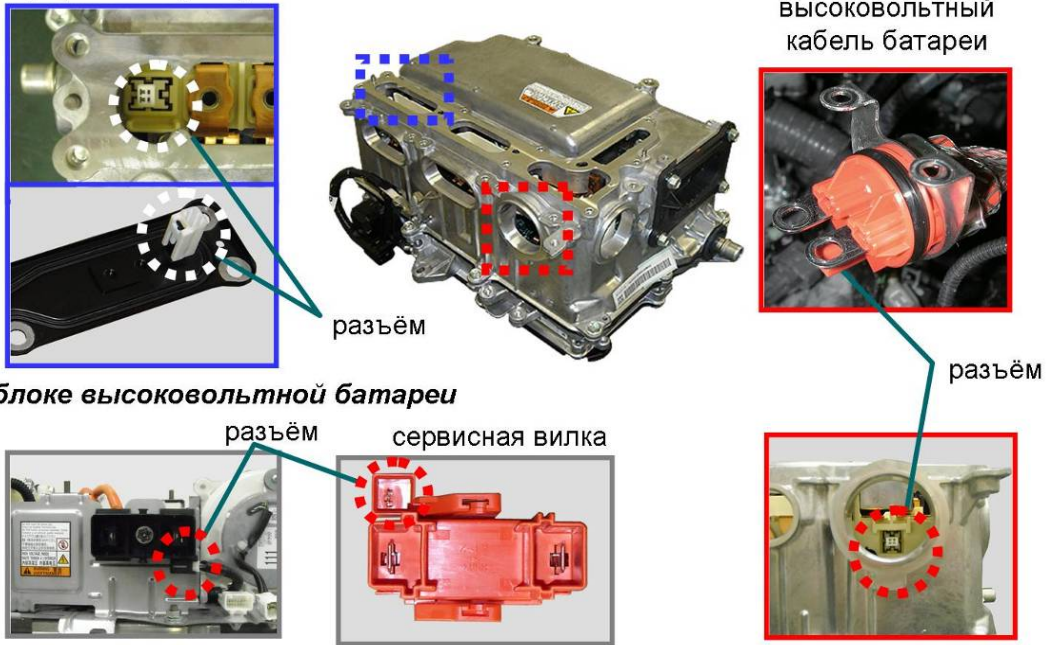


Рис. 63. Отключение высоковольтных цепей от источника питания

На рисунке 64 показаны места установки разъемов блокировочных выключателей.

– в корпусе инвертора



– в блоке высоковольтной батареи

Рис. 64. Места установки разъема блокировочного выключателя

Для обеспечения безопасной эксплуатации автомобиля предусмотрены несколько возможных способов отключения высоковольтной аккумуляторной батареи (табл. 12).

Таблица 12

Отключение высоковольтной аккумуляторной батареи от гибридной системы

Автоматическое отключение с помощью главных реле (SMR)	Отключение от кнопки зажигания	Главные реле (SMR) отключаются в момент, когда водитель выключает зажигание
	Отключение при столкновении	ЭБУ для расчёта баланса мощности (HV CPU) в момент столкновения автомобиля получает соответствующий сигнал от блока датчиков подушек безопасности и отключает главные реле (SMR).
	Отключение при срабатывании блокировочного устройства	Блокировочное устройство определяет, установлена ли на место сервисная вилка. Если механик приступит к обслуживанию высоковольтной цепи, забыв при этом снять сервисную вилку, то в момент снятия крышки блока инвертора и конвертера в сборе произойдёт автоматическое отключение главных реле посредством блокировочной схемы.
Ручное отключение с помощью сервисной вилки		- Сервисная вилка, включённая в среднюю точку HV батареи, позволяет отключать все высоковольтные цепи. - При проведении осмотров или обслуживания высоковольтных цепей снять сервисную вилку.

Наличие неисправностей ГСУ отображается предупреждающим сообщением на экран многофункционального дисплея, при этом невозможно включить режим «READY-ON», а в памяти ЭБУ для расчёта баланса мощности (HV CPU) сохраняется код неисправности DTC P3000-388,389 (дефект HV батареи).

Число разрядно-зарядных циклов и срок службы Ni-MH аккумулятора в значительной мере определяются условиями эксплуатации. Нарботка понижается с увеличением глубины и скорости разряда. Нарботка зависит от скорости заряда и способа контроля его окончания.

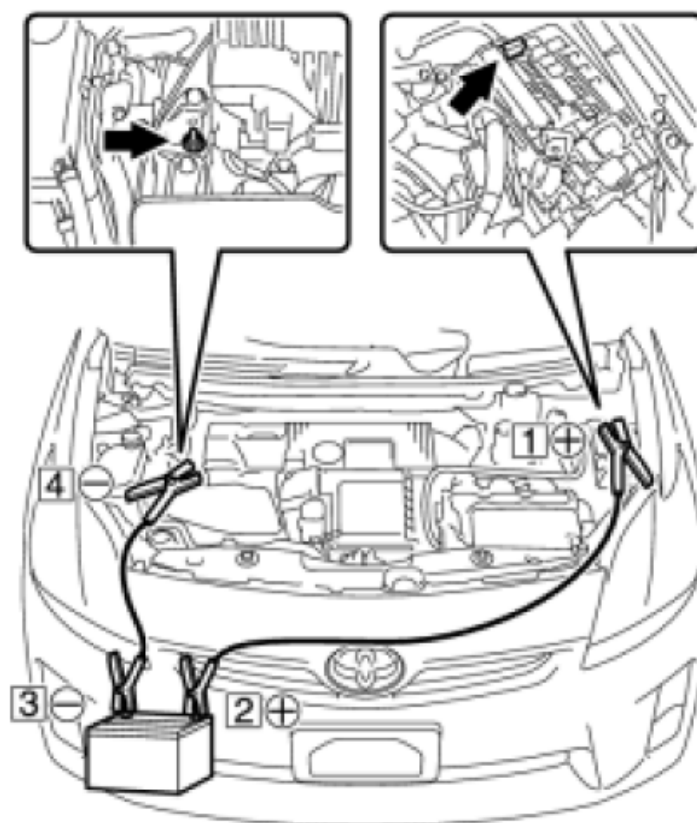
Основная задача вспомогательной аккумуляторной батареи состоит в питании главных реле высоковольтной цепи и низковольтных потребителей при включении зажигания, поэтому ее емкость составляет всего лишь 28 А·ч. В запуске ДВС гибридной системы вспомогательная батарея не участвует. При разряде вспомогательной АКБ наблюдаются следующие симптомы:

- на комбинации приборов горит лампа «Вспомогательная аккумуляторная батарея (зарядите аккумуляторную батарею)»;
- при включении зажигания (режим «ON») не работает панель приборов;
- невозможно включить режим «READY-ON»;
- тусклый свет фар и тихое звучание звукового сигнала.

В качестве вспомогательной используется свинцово-кислотная герметичная необслуживаемая аккумуляторная батарея. При заряде таких батарей следует ограничивать ток на уровне 10% от их емкости или менее, т.е. 3-5 А. Такие батареи рассчитаны на длительный срок службы, а при выходе из строя следует заменять ее на аналогичную по характеристикам.

При чрезмерном разряде вспомогательной АКБ напряжения не хватит для включения главных реле высоковольтной системы. В этом случае запуск может быть произведен с помощью подсоединяемой АКБ, как «прикуривание» любого другого автомобиля. Для этого под капотом имеются специальные выводы, как показано на рисунке 65.

При зарядно-разрядных циклах происходит расширение и сжатие на 15-25% водородоабсорбирующего сплава кристаллической решетки. Такие изменения ведут к образованию трещин в сплаве из-за увеличения внутреннего напряжения. Образование трещин вызывает увеличение площади поверхности, которая подвергается коррозии при взаимодействии с щелочным электролитом. По этим причинам разрядная емкость отрицательного электрода постепенно снижается.



*Рис. 65. Запуск двигателя Toyota Prius с помощью подсоединяемой АКБ:
1 - плюсовой контакт на автомобиле с разряженным АКБ; 2 - плюсовой контакт на подсоединяемой АКБ; 3 - минусовой контакт на подсоединяемой АКБ;
4 - минусовой контакт на автомобиле с разряженным АКБ*

В аккумуляторе с ограниченным количеством электролита это порождает проблемы, связанные с перераспределением электролита. Коррозия сплава приводит к химической пассивности поверхности из-за образования стойких к коррозии оксидов и гидрооксидов, которые повышают перенапряжение основной токообразующей реакции металлгидридного электрода. Образование продуктов коррозии происходит с потреблением кислорода и водорода из раствора электролита, что, в свою очередь, вызывает снижение количества электролита в аккумуляторе и повышение его внутреннего сопротивления.

Для обеспечения надежной работы Ni-MH аккумулятора в течение гарантированного срока службы следует выполнять рекомендации завода-изготовителя: соблюдать температурный режим заряда; избегать разрядки (ниже 1 В) и коротких замыканий; избегать сочетания бывших в употреблении и неиспользованных аккумуляторов; не паять и не нагревать контакты аккумуляторов.

Ni-MH аккумуляторы чувствительны к перезаряду. Перезаряд может привести к тепловому разгону. Заряд, как правило, производится током $I_z = 0,1C_{\text{ном}}$ на протяжении 15 часов. Компенсационный дозаряд производят током $I_z = 0,01-0,03C_{\text{ном}}$ на протяжении 30 часов и более.

На HVB автомобиля Toyota Prius возможны режимы быстрого заряда током 7С (50А). При таких зарядах процесс контролируется по изменению температуры ΔT , напряжения ΔU и другим параметрам. Зарядное напряжение U_3 при $I_3 = 0,3-1C$ лежит в интервале 1,4-1,5В. По причине выделения кислорода на положительном электроде и нагрева батареи, количество электроэнергии, переданной при заряде (Q_3), больше отданного во время разряда (Q_p). При этом КПД батареи ($p/Q_3 \times 100$) составляет 80-95%.

Контроль заряда и разряда необходим для исключения перезаряда Ni-MH аккумуляторных батарей. Применяются методы контроля заряда с помощью датчиков, устанавливаемых в HVB и устройстве заряда:

1. Метод прекращения заряда по абсолютной температуре $T_{\max}$. Температура батареи постоянно контролируется во время процесса заряда, а при достижении максимального значения быстрый заряд прерывается;

2. Метод прекращения заряда по скорости изменения температуры $\Delta T/\Delta t$. При применении этого метода скорость нарастания температуры HVB постоянно контролируется во время процесса заряда, а когда этот параметр становится выше определенно установленного значения, заряд прерывается;

3. Метод прекращения заряда по отрицательной дельте напряжения (ΔU). В конце заряда при осуществлении кислородного цикла начинает повышаться его температура, приводя к уменьшению напряжения;

4. Метод прекращения заряда по максимальному времени заряда t ;

5. Метод прекращения заряда по максимальному давлению $P_{\max}$. Уровень допустимого давления в аккумуляторе находится в интервале 0,05-0,08 МПа.

6. Метод прекращения заряда по максимальному напряжению $U_{\max}$. Применяется для отключения аккумуляторов, имеющих высокое внутреннее сопротивление, которое появляется в конце срока службы из-за недостатка электролита или при пониженной температуре.

При применении метода $T_{\max}$ HVB может быть слишком перезаряжена, если температура окружающей среды понижается, либо заряда недостаточно, если температура окружающей среды значительно повышается. Метод $\Delta T/\Delta t$ может применяться очень эффективно для прекращения заряда при низких температурах окружающей среды. Но если при более высоких температурах применять только этот метод, то аккумуляторы внутри аккумуляторных батарей будут подвергаться нагреванию до нежелательно высоких температур до того, как может быть достигнуто значение $\Delta T/\Delta t$ для отключения. Для определенного значения $\Delta T/\Delta t$ может быть получена большая входная емкость при более низкой температуре окружающей среды, чем при более высокой температуре. В начале заряда HVB (как и в конце заряда) происходит быстрое повышение температуры, что может привести к преждевременному отключению

заряда при применении метода $\Delta T/\Delta t$. Для исключения этого используются таймеры начальной задержки срабатывания датчика при методе $\Delta T/\Delta t$.

Метод ΔU необходим для прекращения заряда при низких температурах окружающей среды. Для обеспечения прекращения заряда в тех случаях, когда непредвиденные обстоятельства препятствуют нормальному прерыванию заряда, рекомендуется также использовать контроль по таймеру, регулирующему длительность операции заряда (метод t). Ni-MH аккумуляторы не следует заряжать при постоянном напряжении, так как может произойти «тепловой» выход из строя аккумуляторов. Это связано с тем, что в конце заряда происходит повышение тока, который пропорционален разности между напряжением электропитания и напряжением аккумулятора, а напряжение аккумулятора в конце заряда понижается из-за повышения температуры.

При низких температурах скорость заряда должна быть уменьшена. В противном случае выделяющийся в процессе химической реакции кислород не успеет рекомбинироваться, что приведет к росту давления в аккумуляторе.

К основным неисправностям HVB относятся: недопустимо низкое напряжение; перегрев при заряде; потеря ёмкости или значительное расхождение ёмкости отдельных аккумуляторов; высокое внутреннее давление при заряде; быстрый саморазряд.

Гарантийный срок эксплуатации HVB в условиях сервисного обслуживания составляет 160 тыс. км или 8 лет, в зависимости от того, что наступит раньше.

Причинами неисправности HVB являются: езда на автомобиле без бензина, езда с неисправным бензиновым двигателем, длительное хранение автомобиля без запуска двигателя и естественное ее старение. Встречаются также случаи повреждения HVB в результате неквалифицированного обслуживания и ремонта.

Общие проверки HVB заключаются в установлении причин неисправностей считыванием кодов неисправности из блока управления HVB, визуальном осмотре батареи, диагностике ДВС. Работоспособность HVB напрямую связана с исправностью цепи заряда, исходя из этого в первую очередь следует искать причину в заряжающей цепи: ДВС и его системы, генератор, инвертор, силовые провода.

Ремонт неисправной HVB заключается в проведении восстановительного цикла заряда, замене повреждённых аккумуляторов или всей батареи.

В процессе старения, а также после ремонта HVB может потребоваться восстановление (выравнивание) ёмкости в отдельных аккумуляторах. Этот процесс называют эквализацией (battery equalization). Запускается он со сканера и представляет собой длительный заряд батареи двигателем до максимального уровня. Суть эквализации заключается в том, что все элементы имеют

одинаковое максимально возможное напряжение заряда. Сильно заряженные элементы заряжаются до этого значения быстрее и, достигнув его, перестают увеличивать напряжение и начинают греться. А в это время на слабо заряженных элементах продолжается повышение напряжения до этого максимального уровня. Эквиализация заканчивается, когда все элементы зарядятся до максимума, при этом все они становятся одинаково заряженными.

При подключении диагностического сканера к автомобилю, (см. раздел «Высоковольтная батарея»), можно наблюдать характеристики HVБ, такие как: уровень заряда, температура батареи, напряжение каждой пары модулей, их внутреннее сопротивление. Самый показательный параметр, отражающий состояние HVБ, является «Delta SOC» (State of Charge), который показывает разброс зарядки максимально и минимально заряженных аккумуляторов. В исправной HVБ этот параметр должен быть менее 20%. Когда батарея изнашивается - параметр увеличивается.

Разброс сопротивлений по аккумуляторам не должен превышать 0,003 Ом. Если разброс достигает 0,006 Ом, это уже неисправность, требующая устранения.

Контрольные вопросы по разделу

1. Назовите тип HVБ, применяемой в гибридной силовой установке.
2. Количество отдельных аккумуляторов в HVБ.
3. Назовите вспомогательные компоненты, обеспечивающие работу HVБ.
4. Как изменяется емкость HVБ в зависимости от нагрузки?
5. Что вызывает саморазряд HVБ?
6. Как работает система охлаждения HVБ?
7. Назначение реле высоковольтной батареи.
8. Охрана труда при работе с HVБ.
9. Как правильно заряжать HVБ?
10. Для чего необходима эквиализация HVБ?
11. Назначение низковольтной АКБ в ГСУ.
12. Как произвести запуск ГСУ при разряде низковольтной АКБ?

6. ТРАНСМИССИЯ

Трансмиссия гибридного автомобиля имеет значительные отличия от трансмиссии классического автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Например, трансмиссия Toyota-Lexus не имеет коробки передач с набором зубчатых колес, синхронизаторов, вариаторных шкивов и т.д. Вместо этого установлен планетарный зубчатый редуктор, объединяющий между собой мотор-генераторы, бензиновый ДВС и ведущую ось. Отсутствует сцепление, а на его месте установлен демпфер крутильных колебаний. Эту трансмиссию компания Toyota назвала Power Split Device - устройство распределения мощности. Его основная концепция: минимальное число механических передач и поддержание постоянной оптимальной нагрузки ДВС.

Кинематическая схема трансмиссии (устройства распределения мощности ГСУ) приведена на рисунке 66. Технические характеристики гибридной трансмиссии P410 Prius приведены в таблице 13.

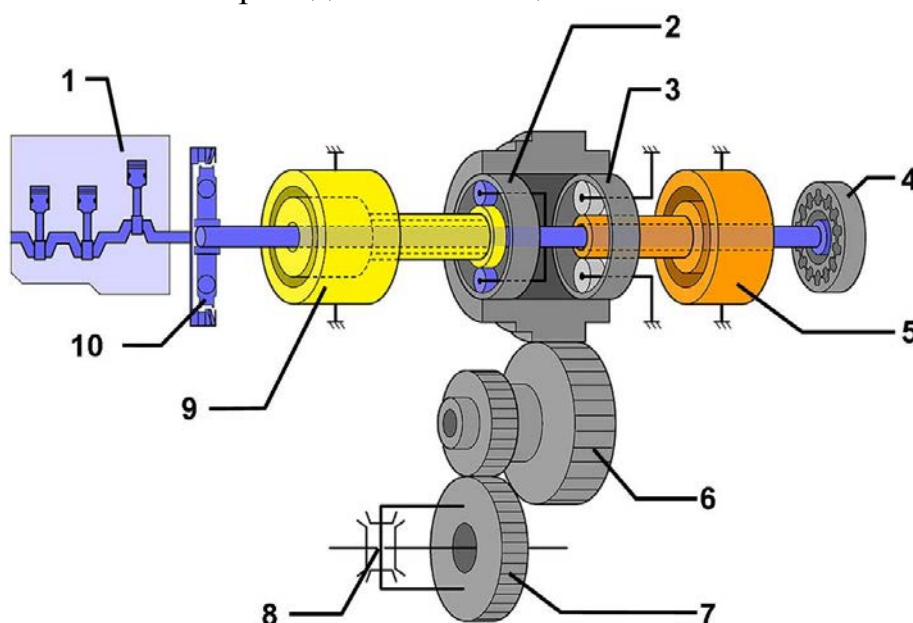


Рис. 66. Кинематическая схема устройства распределения мощности:
1 - бензиновый двигатель; 2 - планетарный делитель мощности; 3 - планетарный редуктор мотор-генератора; 4 - масляный насос; 5 - мотор-генератор; 6 - промежуточное зубчатое колесо; 7 - ведущее зубчатое колесо главной передачи; 8 - дифференциал; 9 - мотор-генератор 1; 10 - демпфер гибридной трансмиссии

Примененная кинематическая схема устройства обеспечивает распределение мощности в последовательном, параллельном и смешанном вариантах компоновки элементов ГСУ, а также при движении в режиме электромобиля.

На рисунке 67 вертикальные отрезки показывают частоту и направление вращения зубчатых колес устройства распределения мощности. Отрезки между вертикальными линиями соответствуют передаточным числам. Стрелки показывают знак крутящего момента (красный: разрядка / синий: зарядка). Каж-

дое эпициклическое зубчатое колесо в устройстве распределения мощности выполнено встроенным в блок шестерен. Блок шестерен (рис. 68), в свою очередь, встроен в ведущее промежуточное зубчатое колесо и в зубчатое колесо блокировки стояночного тормоза.

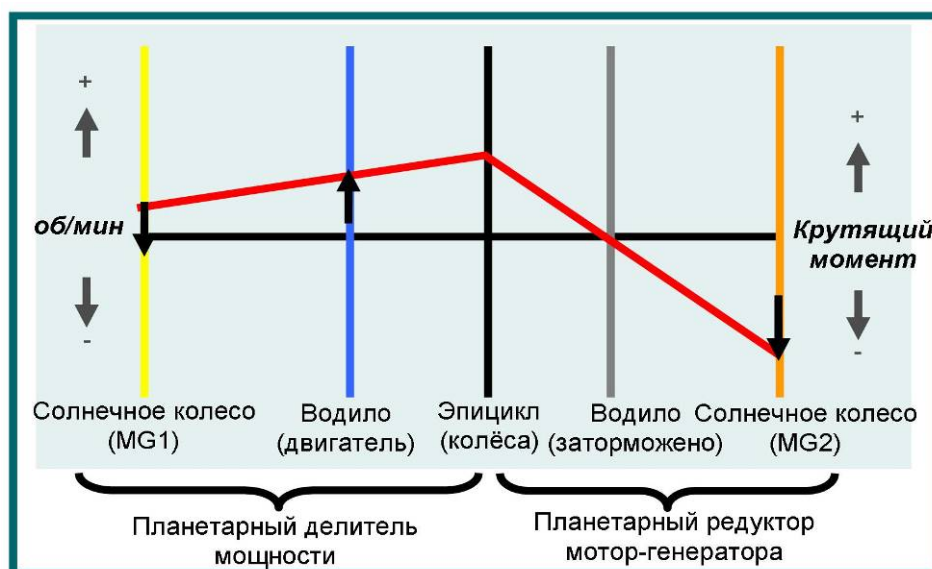


Рис. 67. Номограмма скоростей и крутящих моментов устройства распределения мощности

Точно такая же трансмиссия применялась и на первых гибридных двигателях Toyota, отличаются они лишь другими характеристиками зубчатых колес и способом передачи крутящего момента от планетарной передачи на ведущую ось. На более ранних вариантах трансмиссий крутящий момент на ведущую ось передавался через многорядную цепь Морзе. На последних моделях привод осуществляется через промежуточное зубчатое колесо, как показано на схеме рис. 66 и 68. Технические характеристики трансмиссии P410 Prius представлены в таблице 13.

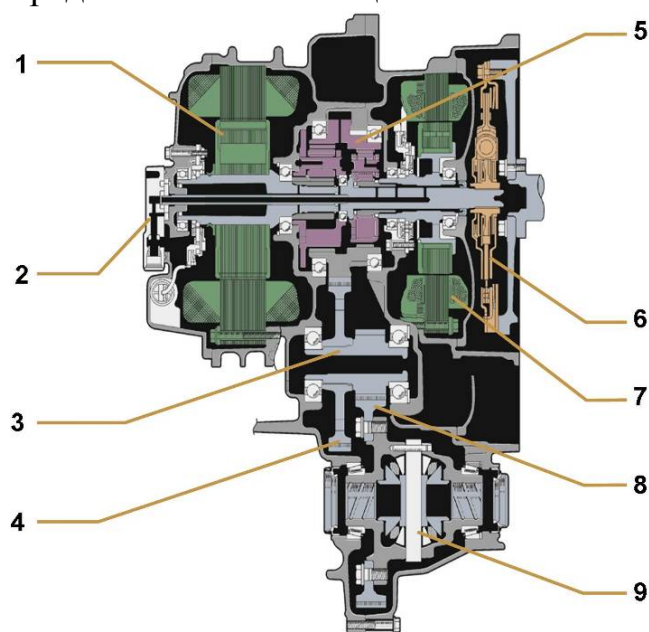


Рис. 68. Основные компоненты трансмиссии Prius:
1 - мотор-генератор 2; 2 - масляный насос; 3 - ведущее зубчатое колесо главной передачи; 4 - промежуточное зубчатое колесо; 5 - планетарный делитель мощности (правая сторона), планетарный редуктор мотор-генератора (левая сторона); 6 - демпфер гибридной трансмиссии; 7 - мотор-генератор 1; 8 - ведомое зубчатое колесо главной передачи; 9 - дифференциал

Технические характеристики трансмиссии P410 Prius

Тип трансмиссии			P410
Схема переключения			P–R–N–D–B
Передаточное число главной передачи			3,267
Блок шестерен	Планетарный делитель мощности	Кол-во зубьев эпицикла	78
		Кол-во зубьев сателлита	23
		Кол-во зубьев солнечного колеса	30
	Планетарный редуктор мотор-генератора	Кол-во зубьев эпицикла	58
		Кол-во зубьев сателлита	18
		Кол-во зубьев солнечного колеса	22
Понижающая передача		Кол-во зубьев ведущего колеса	54
		Кол-во зубьев ведомого колеса	55
Главная передача		Кол-во зубьев ведущего колеса	24
		Кол-во зубьев ведомого колеса	77
Рабочая жидкость	Тип		ATF WS
	Объем, л		3,3 (3,5; 2,9)
Масса (справочная величина)*, кг			92

Основным компонентом устройства распределения мощности является блок шестерен (рис 69.)

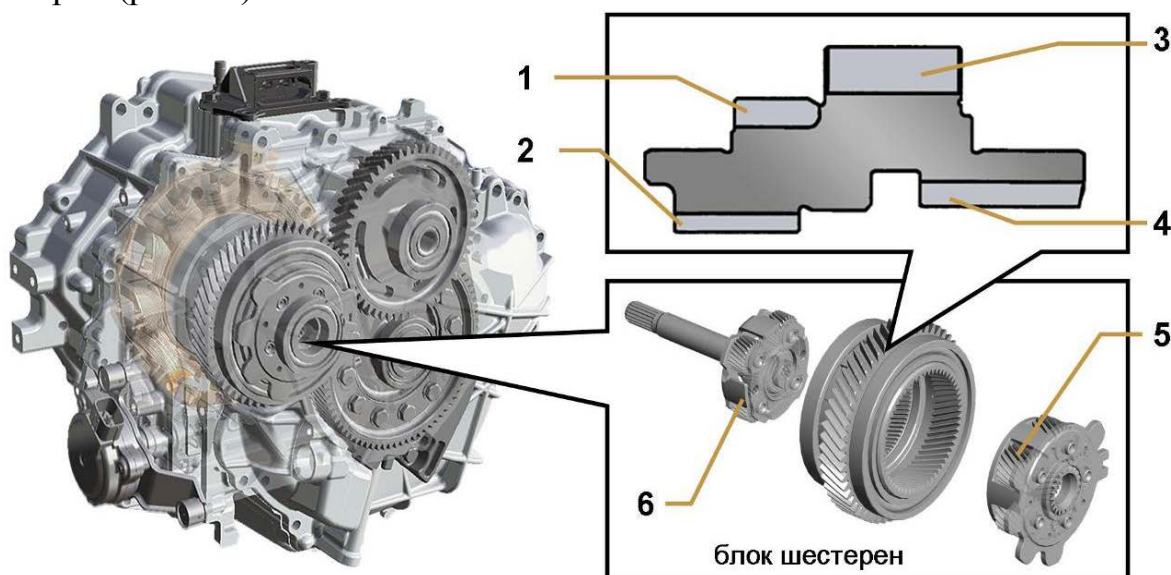


Рис. 69. Блок шестерен трансмиссии P410: 1 - зубчатое колесо блокировки рычага селектора в положении «Р»; 2 - эпициклическое (коронное) зубчатое колесо планетарного редуктора MG2; 3 - ведущее промежуточное зубчатое колесо; 4 - эпициклическое (коронное) зубчатое колесо планетарного делителя мощности; 5 - планетарный редуктор MG2; 6 - планетарный делитель мощности

В трансмиссии гибридного автомобиля применяются два типа демпфирующих устройств: пружинный демпфер слабых крутильных колебаний и одnodисковый фрикцион сухого типа, предотвращающий повреждение трансмиссии, обеспечивая проскальзывание при развитии двигателем чрезмерного крутящего момента (рис. 70).

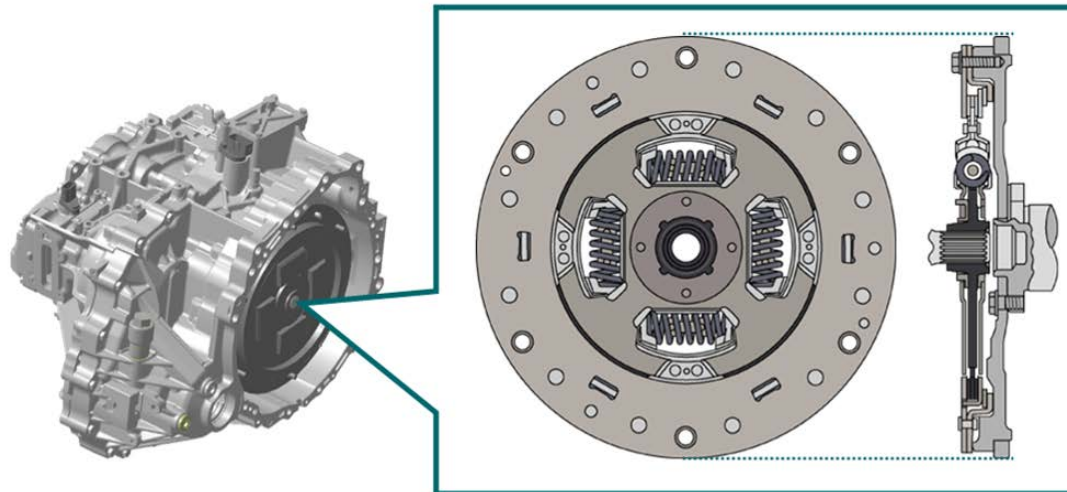
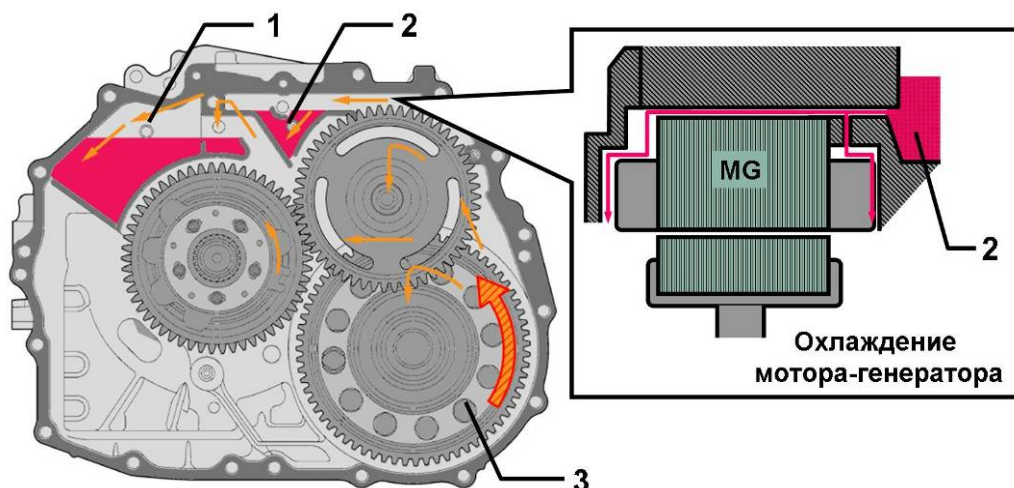


Рис. 70. Демпфер гибридной трансмиссии

В смазочной системе главной передачи трансмиссии (рис. 71) используется принцип разбрызгивания. Для стабильной подачи масла к каждой зубчатой передаче применяется маслосборный бак.



*Рис. 71. Система смазки трансмиссии:
1 - смазочное отверстие; 2 - маслосборный бак; 3 - главная передача*

На рисунке 72 показано расположение сливных и заливных горловин трансмиссии.

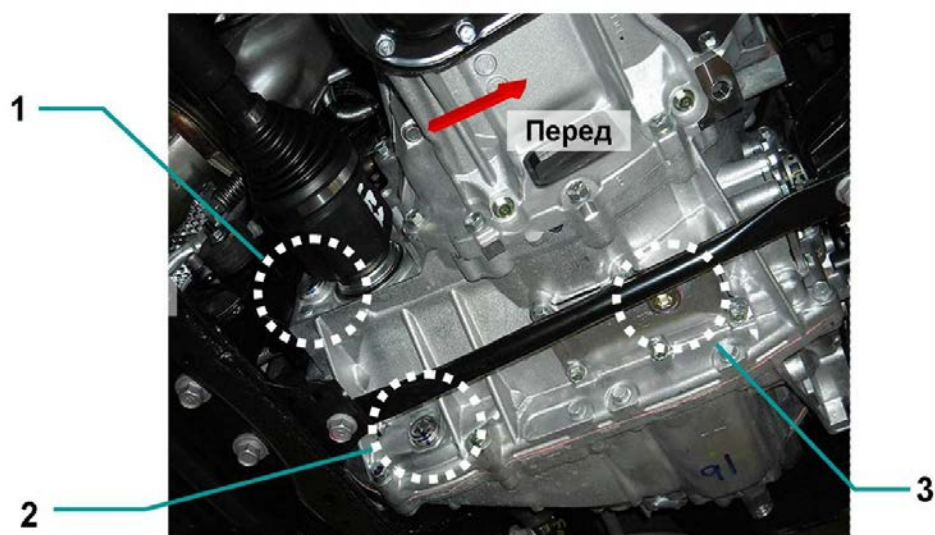
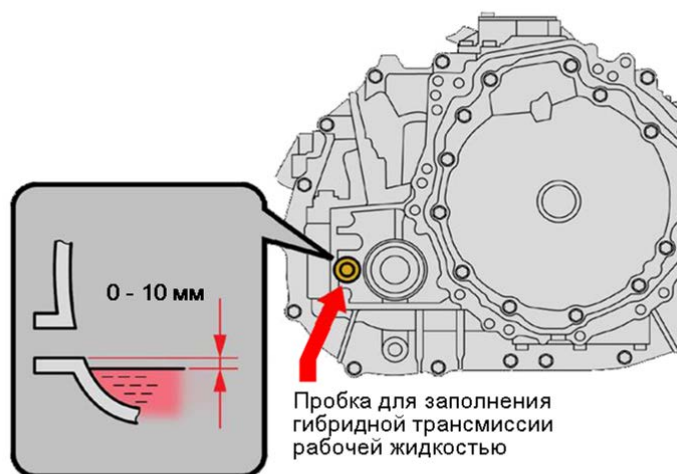


Рис. 72. Расположение пробок в трансмиссии: 1 - пробка для заполнения трансмиссии рабочей жидкостью (шестигранник на 10 мм); 2 - пробка для слива рабочей жидкости из трансмиссии (шестигранник на 10 мм); 3 - пробка для слива охлаждающей жидкости из трансмиссии (шестигранник на 10 мм)

Способ заполнения трансмиссии рабочей жидкостью такой же, как в обычной механической коробке передач (рис. 73).



Пробка для заполнения гибридной трансмиссии рабочей жидкостью

Тип рабочей жидкости		Оригинальная жидкость TOYOTA Genuine ATF WS
Объем		3,3 л
Периодичность замены:	проверка / замена	80 тыс. км

Рис. 73. Заполнение трансмиссии рабочей жидкостью

Трансмиссия имеет собственную, независимую от двигателя, систему охлаждения, которая служит для охлаждения инвертора с конвертером в сборе, а также MG 1 и MG2 (рис. 74).

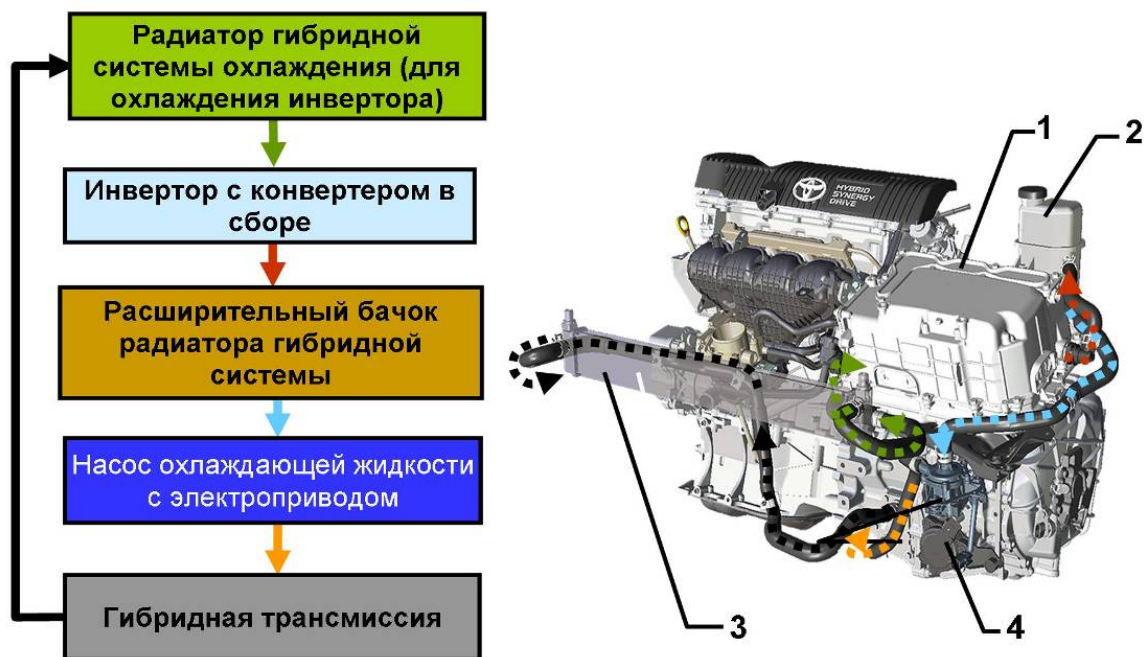


Рис. 74. Схема системы охлаждения трансмиссии:
 1 - инвертор с конвертером в сборе; 2 - расширительный бачок гибридной системы;
 3 - радиатор гибридной системы; 4 - электрический насос

Выбор диапазонов работы трансмиссии обеспечивает электронная система управления переключением диапазонов с использованием технологии “по проводам” (рис. 75). Применяется компактный рычаг селектора. Селектор выполнен не фиксируемым - после включения водителем того или иного диапазона трансмиссии селектор автоматически возвращается в исходное положение.



Рис. 75. Электрический селектор диапазонов трансмиссии:
 1 - выключатель положения «Р»; 2 - рычаг селектора;
 3 - исполнительный механизм блокировки рычага в положении Р

Схема системы управления трансмиссией принимает сигналы от датчиков положения и выбора рычага селектора (рис. 76), а также связан с другими электронными блоками, расположение которых показано на рисунке 77.

Конструкция рычага селектора предусматривает его автоматический возврат в исходное положение после каждого переключения. Таким образом, определить, какой диапазон трансмиссии включен в текущий момент времени, можно только с помощью индикатора выбранного диапазона (рис. 78).

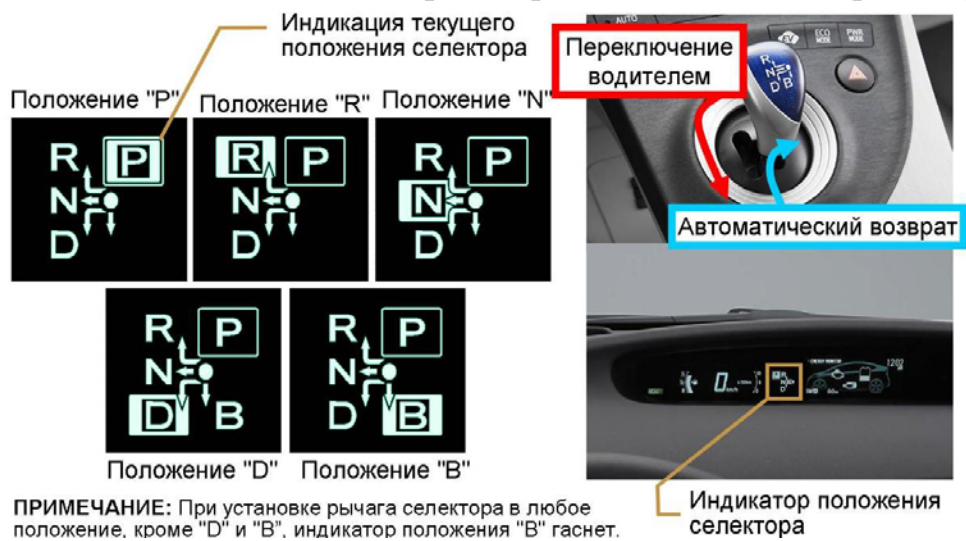


Рис. 78. Рычаг селектора и индикатор положения селектора

В таблице 14 показано, каким образом работа рычага селектора / выключателя положения селектора "P" регулируется в каждом положении селектора.

Таблица 14

Возможные переключения диапазонов рычага селектора

Режим питания	Устройство	Положение селектора				
		"P"	"R"	"N"	"D"	"B"
IG-OFF	-	Нельзя изменить положение селектора				
ACC	Рычаг селектора	Нельзя изменить положение селектора				
	Выключатель положения «P»	← - - - - - ●				
IG-ON	Рычаг селектора	● - - - - - →				
	Выключатель «P»	← - - - - - ●				
READY	Рычаг селектора	● →	● →	● →	● →	● →
		● →	● →	● →	● →	● →
	Выключатель положения селектора «P»	← - - - - - ●	← - - - - - ●	← - - - - - ●	← - - - - - ●	← - - - - - ●
READY >> IG-OFF	-	← - - - - - ●	← - - - - - ●	← - - - - - ●	← - - - - - ●	← - - - - - ●
При нажатой педали тормоза:		● →	При неподвижном автомобиле:		● - - - - - →	Доступно всегда:

Функция AUTO P позволяет автоматически, после остановки автомобиля при переводе выключателя зажигания в положение OFF, положению селектора устанавливаться на "P". Из соображений безопасности данная функция может запретить переключение диапазонов с помощью селектора даже при попытке воспользоваться рычагом селектора или выключателем положения "P". Ниже в таблице 15 описаны ситуации, в которых срабатывает функция запрета переключения.

Таблица 15

Функции запрета переключения

Операции с селектором, вызывающие срабатывание функции запрета переключения		Положение селектора после срабатывания функции запрета переключения
Водитель пытается вывести селектор из положения "P", не нажав при этом педаль тормоза		Селектор остается в положении "P"
Во время движения	Водитель пытается включить диапазон "P" с помощью выключателя положения селектора "P".	Происходит переключение селектора в положение "N"
	Водитель пытается перевести селектор из положения "D" в положение "R", из положения "B" в положение "R" или из положения "R" в положение "D".	Происходит переключение селектора в положение "N"
Водитель пытается перевести селектор в положение "B"	из положения "P"	Селектор остается в положении "P"
	из положения "R"	Происходит переключение селектора в положение "N"
	из положения "N"	Селектор остается в положении "N"

Рычаг селектора имеет встроенный датчик положения, который служит для определения положения, в котором находится селектор ("R", "N", "D" или "B"). Датчик положения рычага селектора состоит из датчика выбора и датчика переключения, в качестве которых применяются датчики Холла (рис. 79).



Рис. 79. Датчики положения рычага селектора:
1 - датчик выбора; 2 - датчик переключения

Датчик выбора служит для выявления поперечных перемещений рычага селектора. Плата датчика Холла имеет две цепи: одна предназначена для основного сигнала, а вторая – для вспомогательного (отличаются характеристиками) (рис. 80).

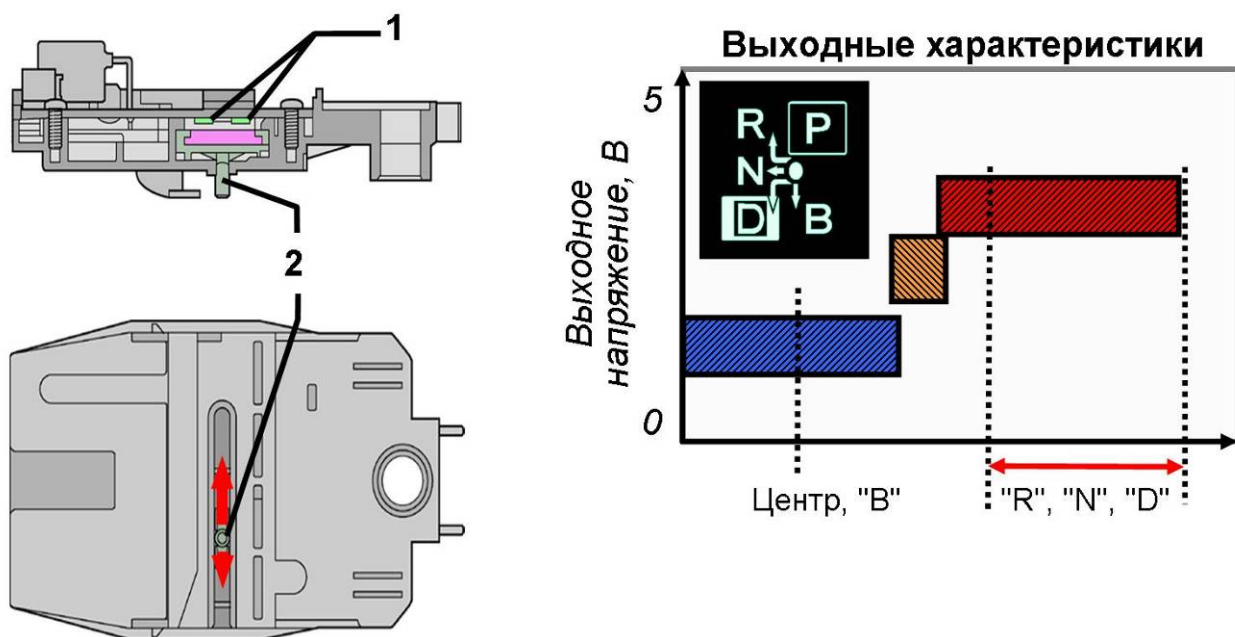


Рис. 80. Датчик выбора рычага селектора: 1 - датчик Холла;
2 - магнитный ползун (соединен с рычагом селектора)

Датчик переключения (рис. 81) служит для выявления продольных перемещений рычага селектора. Плата датчика Холла имеет две цепи: одна предназначена для основного сигнала, а вторая – для вспомогательного (рис. 80,81).

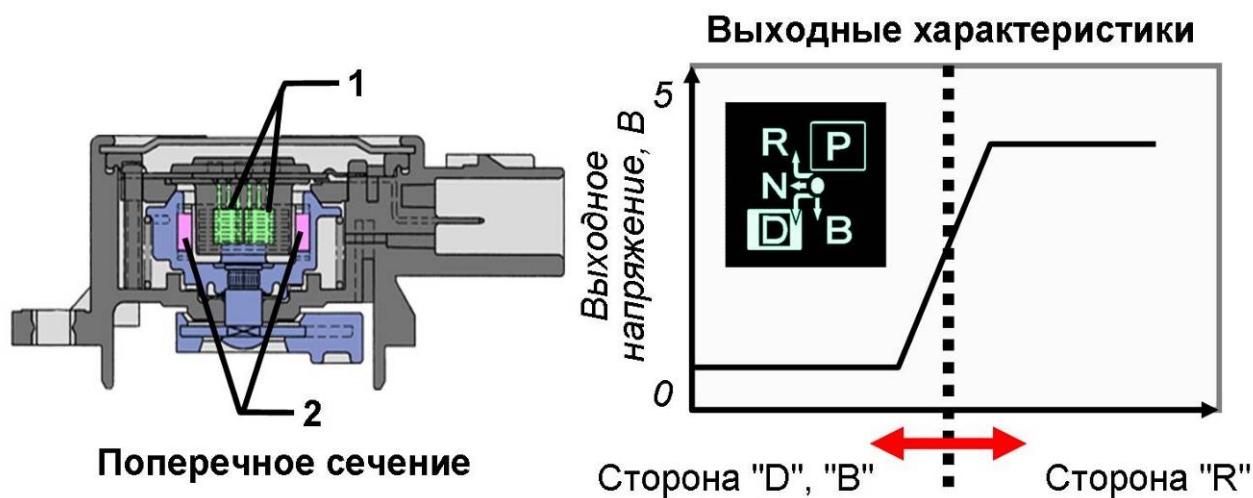


Рис. 81. Датчик переключения рычага селектора

По состоянию индикатора положения селектора "P" (рис. 82) можно судить о состоянии системы электрического селектора диапазонов трансмиссии:

Индикатор положения селектора «P»	Отображаемая информация
Горит	Селектор в положении «P» (механизм блокировки в положении «P»)
Не горит	Селектор в положении, отличном от «P» (механизм блокировки в положении, отличном от «P»)
Мигает (быстро) [с частотой около 4 Гц]	Механизм блокировки рычага селектора в положении «P» требует слишком много времени для переключения из положения «P» в положение, отличное от «P»
Мигает (медленно) [с частотой около 0,5 Гц]	Неисправность системы

Рис. 82. Состояние индикатора положения селектора «P»

При получении сигнала активации от выключателя положения селектора "P" через электронный блок управления трансмиссией вал электродвигателя поворачивается, включая или выключая механизм блокировки рычага селектора в положении "P".

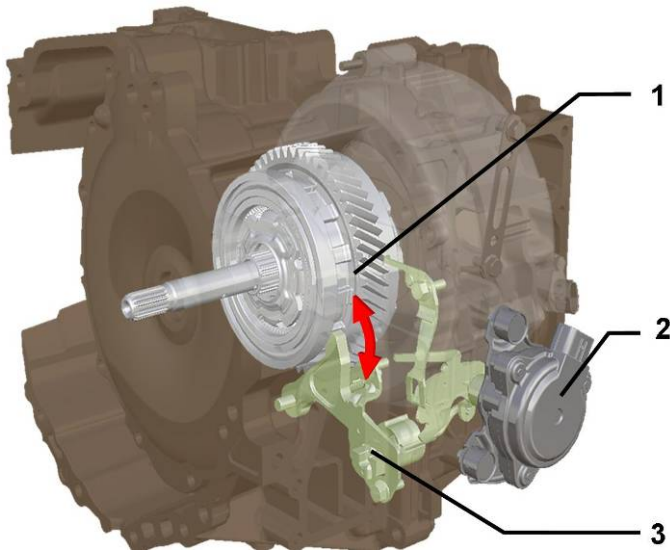


Рис. 83. Механизм блокировки привода в положении «P»:
1 - блок шестерен, зубчатое колесо блокировки рычага селектора в положении «P»;
2 - исполнительный механизм блокировки рычага селектора в положении «P»; 3 - механизм блокировки рычага селектора в положении «P»

Исполнительный механизм блокировки (рис. 83) рычага селектора в положении "P" (электродвигатель SR) состоит из вентильно-индукторного двигателя и циклоидального редуктора. Датчик угла поворота состоит из двух датчиков Холла (рис. 84).

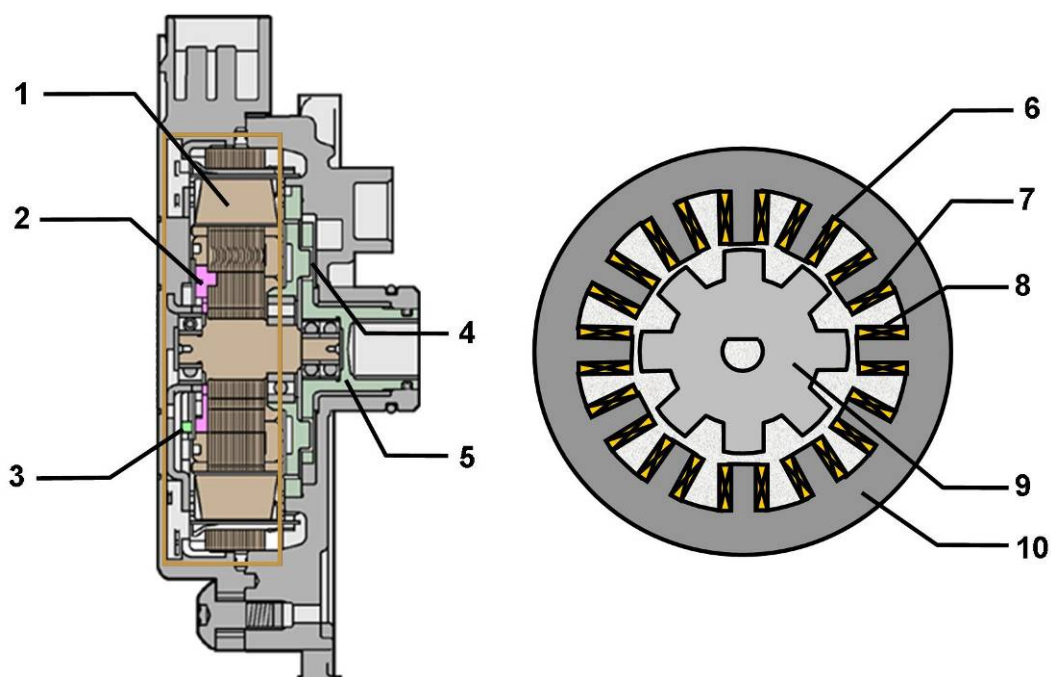


Рис. 84. Исполнительный механизм блокировки рычага селектора в положении «Р»:
 1 - электродвигатель механизма переключения; 2 - магнит; 3 - датчик угла поворота на эффекте Холла; 4 - редуктор; 5 - вторичный вал; 6 - фазная обмотка W;
 7 - фазная обмотка V; 8 - фазная обмотка U; 9 - ротор; 10 - статор

Через обмотку статора проходит электрический ток (рис. 85). Обмотка начинает действовать как электромагнит и притягивает к себе ротор, который при этом начинает вращаться.

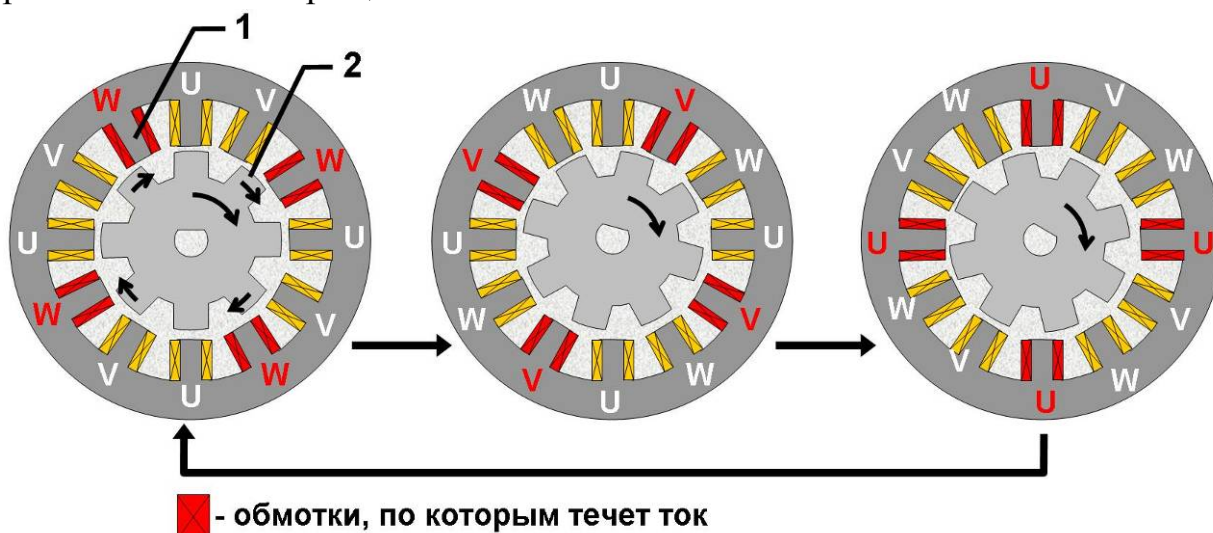


Рис. 85. Способ управления электродвигателем двигателя:
 1 - электромагнит; 2 - магнитное поле

Циклоидальный редуктор (рис. 86) обеспечивает выключение механизма блокировки рычага селектора в положении "Р", когда автомобиль припаркован на уклоне с сопутствующей повышенной нагрузкой на детали механизма.

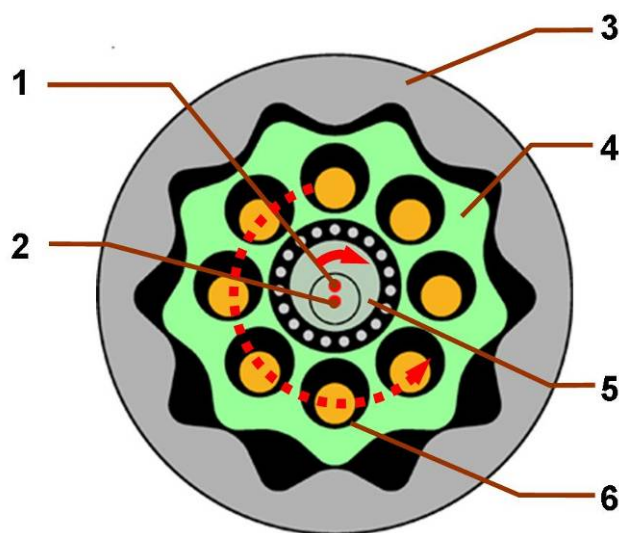


Рис. 86. Редуктор механизма переключения рычага: 1 - центр эксцентриковой пластины; 2 - центр первичного вала электродвигателя механизма переключения; 3 - внутренняя шестерня (61 зуб); 4 - наружная шестерня (60 зубьев); 5 - эксцентриковая пластина; 6 - вторичный вал

Стопор «собачка» устройства блокировки рычага селектора (рис. 87) в положении "Р" входит в зацепление с зубчатым колесом стояночного тормоза, встроенным в блок шестерен, и блокирует трансмиссию автомобиля, делая автомобиль неподвижным.

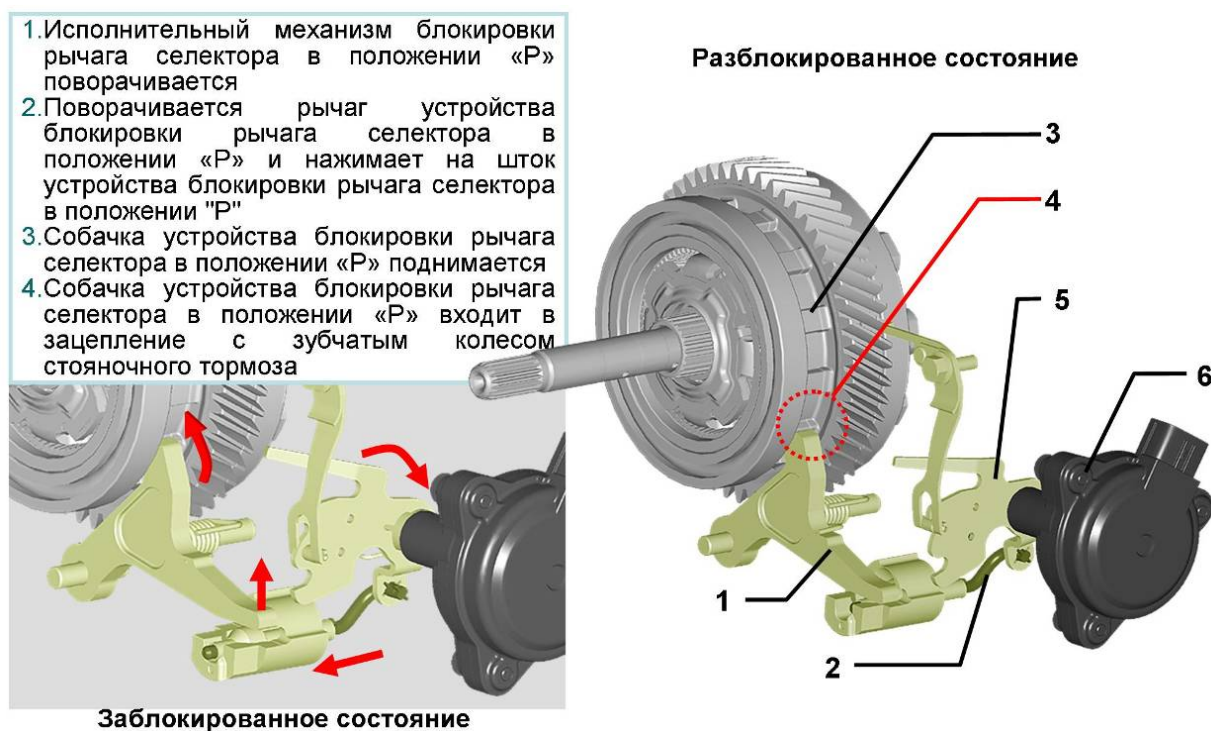


Рис. 87. Механизм блокировки рычага селектора в положении «Р»: 1 - собачка; 2 - шток; 3 - зубчатое колесо стояночного тормоза; 4 - зацепление; 5 - рычаг

В случае неисправности системы в памяти электронного блока управления трансмиссией сохраняются соответствующие диагностические коды неисправностей (табл. 16).

Диагностические коды неисправностей

№ кода	Неисправность	Индикатор положения "Р"
C2300*	Неисправность исполнительного механизма	Мигает (медленно)
C2301*	Неисправность длительности переключения	Мигает (медленно)
C2303*	Короткое замыкание в цепи реле режима питания	Обычный режим работы
C2304*	Обрыв или короткое замыкание фазовой обмотки "U"	Мигает (медленно)
C2305*	Обрыв или короткое замыкание фазовой обмотки "V"	Мигает (медленно)
C2306*	Обрыв или короткое замыкание фазовой обмотки "W"	Мигает (медленно)
C2307*	Неисправность в результате сверхтока	Мигает (медленно)
C2310	Обрыв или короткое замыкание фазовой цепи батареи	Обычный режим работы
C2311	Ошибка обмена данными с центральным процессором	Мигает (медленно)
C2315	Гибридная силовая установка	Обычный режим работы

* Для удаления из памяти данных диагностических кодов неисправности следует вынуть предохранитель "P COM MAIN"

Для удаления отдельных диагностических кодов неисправности необходимо вынуть предохранитель "P COM MAIN" (рис. 88) приблизительно на 60 секунд, поскольку эти коды нельзя удалить с помощью диагностического прибора.

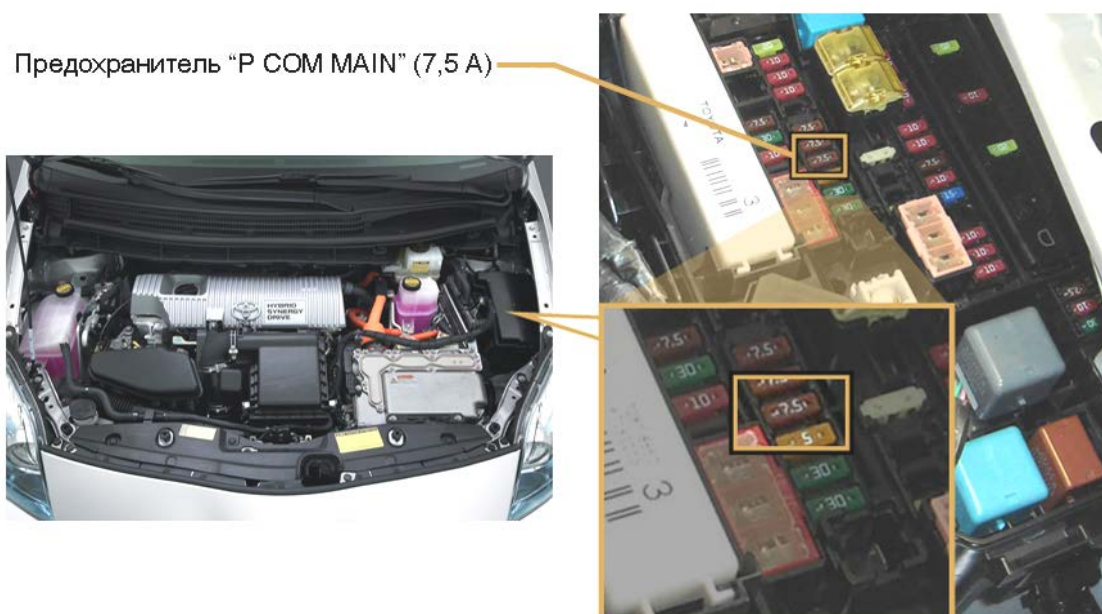


Рис. 88. Место установки предохранителя "P COM MAIN"

В экстренной ситуации при невозможности перевода рычага селектора в положение «Р» режим питания можно отключить, задействовав стояночный тормоз (рис. 89).

В случае неисправности исполнительного механизма блокировки рычага селектора в положении "Р" данный механизм не может установить рычаг селектора в положение "Р".



Выключение режима питания в этом случае невозможно



Включить стояночный тормоз

Автомобиль останавливается



READY

Становится возможным выключение режима питания

Рис. 89. Последовательность отключения ГСУ при отказе рычага селектора

Контрольные вопросы по разделу

1. Элементы устройства распределения мощности.
2. С чем связан MG1 в устройстве распределения мощности?
3. С чем связан MG2 в устройстве распределения мощности?
4. Назначение и конструкция демпфера крутильных колебаний.
5. Смазка зубчатых колес и подшипников в гибридной трансмиссии.
6. Охлаждение мотор-генераторов в трансмиссии.
7. Замена рабочей жидкости в трансмиссии.
8. Электронная система выбора режимов работы трансмиссии.
9. Неисправности системы выбора режимов работы трансмиссии.
10. Как работает рычаг селектора?
11. В каких случаях происходит запрет переключения режимов работы трансмиссии с помощью рычага селектора?
12. Работа системы управления рычагом селектора в положении «Р».
13. Порядок отключения ГСУ при отказе системы выбора режимов работы трансмиссии.

7. РАБОТА ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ

Во время запуска двигателя, когда автомобиль стоит, коронное зубчатое колесо неподвижно. При этом ротор MG1, связанный с солнечным зубчатым колесом, используя электроэнергию HVВ, запускает ДВС. Вращение солнечного зубчатого колеса передаётся на водило сателлитов, которое проворачивает коленчатый вал ДВС с частотой в $1/3,6$ частоты вращения MG1. Подача топлива и включение зажигания происходит при достижении 1000 об/мин. Двигатель запускается сначала на 2-х, а затем на всех цилиндрах. Это обеспечивает плавный запуск.

При запуске холодного двигателя необходимо в течение нескольких минут прогреть двигатель и каталитический нейтрализатор, чтобы начала работать система управления токсичностью отработавших газов. Тёплый двигатель, будет работать в течение короткого времени, а затем остановится. ЭСУД поддерживает частоту вращения коленчатого вала ДВС на 1000 об/мин. ДВС не запустится, если нажата педаль тормоза, в HVВ достаточно энергии и отопитель салона не включён в положение обогрева. При этом автомобиль будет готов к поездке.

При трогании автомобиля ДВС всегда механически соединен с колёсами, но в одиночку ДВС не может обеспечить требуемый крутящий момент для разгона. Поэтому в начале ускорения добавляется крутящий момент мотор-генератора MG2, вращающего коронное зубчатое колесо планетарного механизма, связанное через редуктор с колёсами. Мотор-генератор развивает наибольший крутящий момент на малой частоте вращения, поэтому идеально подходит для преодоления силы сопротивления инерции в начале движения автомобиля.

В случае, когда ДВС работает и автомобиль неподвижен, мотор MG1 вращается в том же направлении, что и ДВС, управляющая электроника отбирает энергию с MG1 и передает ее на мотор-генератор MG2. При этом появляется сила, которая тормозит вращение вала. Сопротивляясь этой силе – «генераторной нагрузке», ЭБУ увеличивает скорость вращения коленчатого вала ДВС, чтобы добавить дополнительной энергии. При этом ДВС вращает водило сателлитов планетарного механизма быстрее, а MG1, работающий в режиме генератора, пытается замедлить вращение солнечного зубчатого колеса.

В планетарном механизме крутящий момент ДВС делится в соотношении 72% к 28% между коронным и солнечным зубчатыми колёсами. Пока не нажата педаль акселератора, ДВС не создает никакого выходного крутящего момента. После нажатия на педаль акселератора скорость вращения коленчатого вала ДВС повышается, и 28% крутящего момента вращают ротор MG1, работающего в режиме генератора, другие 72% крутящего момента передают-

ся механически через коронное зубчатое колесо на ведущую ось автомобиля. Одновременно с этим энергия, вырабатываемая MG1 передаётся на MG2 и также на колёса автомобиля. Таким образом, вся энергия, вырабатываемая ДВС, передаётся на колёса автомобиля.

При ускорении и подъёме в гору, когда требуется большая мощность, ДВС и MG2 совместно передают крутящий момент на колёса автомобиля. ДВС вращает водило сателлитов планетарного механизма. При этом 72% крутящего момента передаются механическим путем от коронного зубчатого колеса к ведущим колесам автомобиля. Оставшиеся 28% крутящего момента поступают в генератор MG1 через солнечное зубчатое колесо, где он превращается в электрическую энергию, которая питает мотор MG2, дополняющий крутящий момент на коронном зубчатом колесе. Чем больше водитель нажимает на педаль акселератора, тем больше крутящего момента производит ДВС. Он увеличивает как механический крутящий момент через коронное зубчатое колесо, так и количество электроэнергии, произведенной мотор-генератором MG1 для мотора MG2, используемой для увеличения крутящего момента.

Энергия равномерно движущегося автомобиля расходуется на сопротивление качению колёс, аэродинамическое сопротивление автомобиля и механические потери в трансмиссии. В таблице 17 приведены мощности, необходимые для достижения автомобилем различной скорости на горизонтальном участке дороги. Задача устройства распределения мощности состоит в том, чтобы при высокой скорости движения автомобиля коленчатый вал ДВС вращался с минимальной частотой вращения. Поэтому ротор мотор-генератора MG1 должен вращаться в противоположную сторону, заставляя ось сателлитов вращаться вперёд.

Таблица 17

Мощность, затрачиваемая на движение (данные производителя)

Скорость автомобиля, км/ч	Необходимая для движения мощность, кВт	Обороты ДВС, об/мин	Обороты генератора MG1, об/мин
64	3,6	1300	-1470
80	5,9	1500	-2300
96	9,2	2250	-3600

Угловые скорости солнечного зубчатого колеса и водила сателлитов складываются, заставляя коронное зубчатое колесо вращаться ещё быстрее. Особенность состоит в том, что MG1 тоже участвует в создании крутящего момента для движения автомобиля. Для того чтобы MG1 при равномерном

движении длительное время мог обеспечивать работу с постоянной нагрузкой, энергия отбирается от MG2, т.е. MG2, работает в режиме генератора, производя электроэнергию для мотор-генератора MG1.

Двигаясь накатом, водитель отпускает ногу с педали акселератора. ДВС не создаёт сопротивление вращению и может быть совсем выключен. В этом режиме движения MG2 имитирует торможение двигателем, работая генератором для зарядки батареи. Рекуперация при торможении помогает штатной гидравлической тормозной системе замедлять автомобиль. При нажатии на педаль тормоза увеличивается генерация электроэнергии MG2, и намного большая генераторная нагрузка увеличивает замедление автомобиля. В отличие от тормозов трения, которые тратят кинетическую энергию автомобиля на производство тепла, электроэнергия, произведенная при рекуперации торможения, сохраняется в HVБ и используется позже.

Для управления гибридным автомобилем (например, Prius ZVW30) предусмотрены три режима передачи тягового усилия на ведущие колеса и движение с выключенным ДВС в режиме электромобиля.

В режиме «EV» автомобиль переходит в электромобиль. Для создания тягового усилия используется только электропривод. Режим «EV» включается только при выполнении условий, перечисленных в таблице 18.

Таблица 18

Условия включения режима «EV»

Условия движения	Температура гибридной системы не высокая (температура гибридной системы становится высокой при высокой температуре окружающего воздуха или после движения на подъём с высокой скоростью).
	Температура гибридной системы не низкая (температура гибридной системы становится низкой после длительной стоянки при низкой температуре окружающей среды).
	Температура охлаждающей жидкости в двигателе равна или превышает установленный уровень: прибл. 20°C (кроме –А: 0°C)
	Степень заряженности (SOC) составляет прибл. 50 % или более (уровень 4 или более).
	Скорость автомобиля составляет 40 км/ч или менее.
	Степень нажатия на педаль акселератора не превышает установленного предела.
	Обогреватель стёкол выключен.
	Круиз-контроль выключен.

Путь, который может проехать автомобиль, зависит от уровня зарядки HVБ, а также от режима работы кондиционера. Величина пути составляет от нескольких сотен метров до 1 км.

Экономичный режим «ECO Mode» при нажатии на педаль акселератора обеспечивает экономию топлива, но ухудшает динамику из-за уменьшения тя-

гового усилия. Этот режим снижает вредные выбросы с ОГ путём оптимизации работы кондиционера. На рисунке 90 показана зависимость тягового усилия на ведущих колесах от положения педали акселератора.

Режим увеличения мощности «**PWR Mode**» повышает интенсивность разгона за счёт увеличения тягового усилия на ведущих колёсах в промежуточном диапазоне положений педали акселератора.

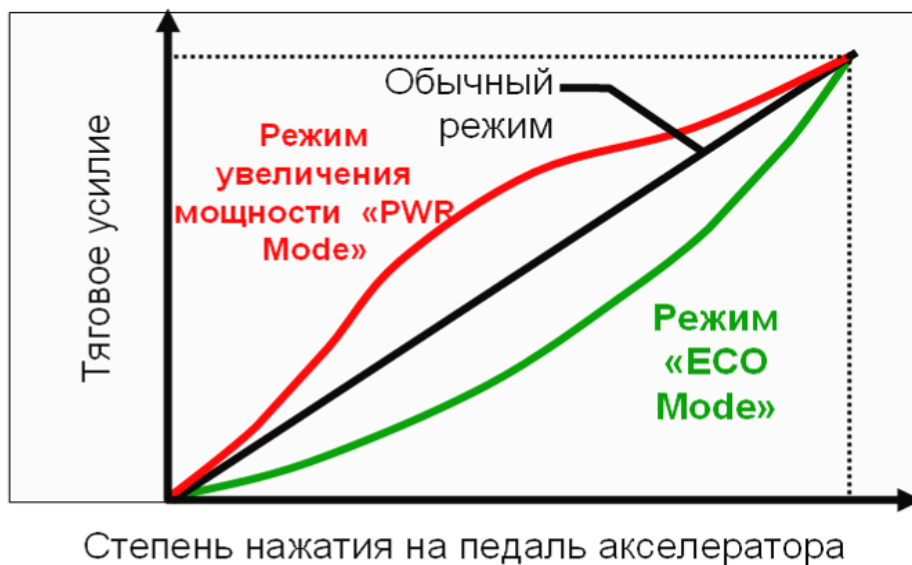


Рис. 90. Зависимость изменения тягового усилия на ведущих колесах от положения педали акселератора

Блок-схема системы гибридного привода модели ZVW30 приведена на рисунке 91, где:

- 1 – реле автоматического выключения высоковольтной системы в случае аварии;
- 2 – реле выключения резистора HVВ;
- 3 – реле выключения контакта «+» HVВ;
- 4 – реле выключения контакта «--» HVВ.

Контрольные вопросы по разделу

1. Какие элементы ГСУ относятся к основным?
2. Как работает ГСУ при запуске, начале движения, ускорении, движении накатом и торможении?
3. Какие существуют режимы работы ГСУ?
4. Главный элемент, управляющий режимами гибридной силовой установки.
5. Условия включения режима «EV».
6. Работа устройства распределения мощности при различных режимах движения.

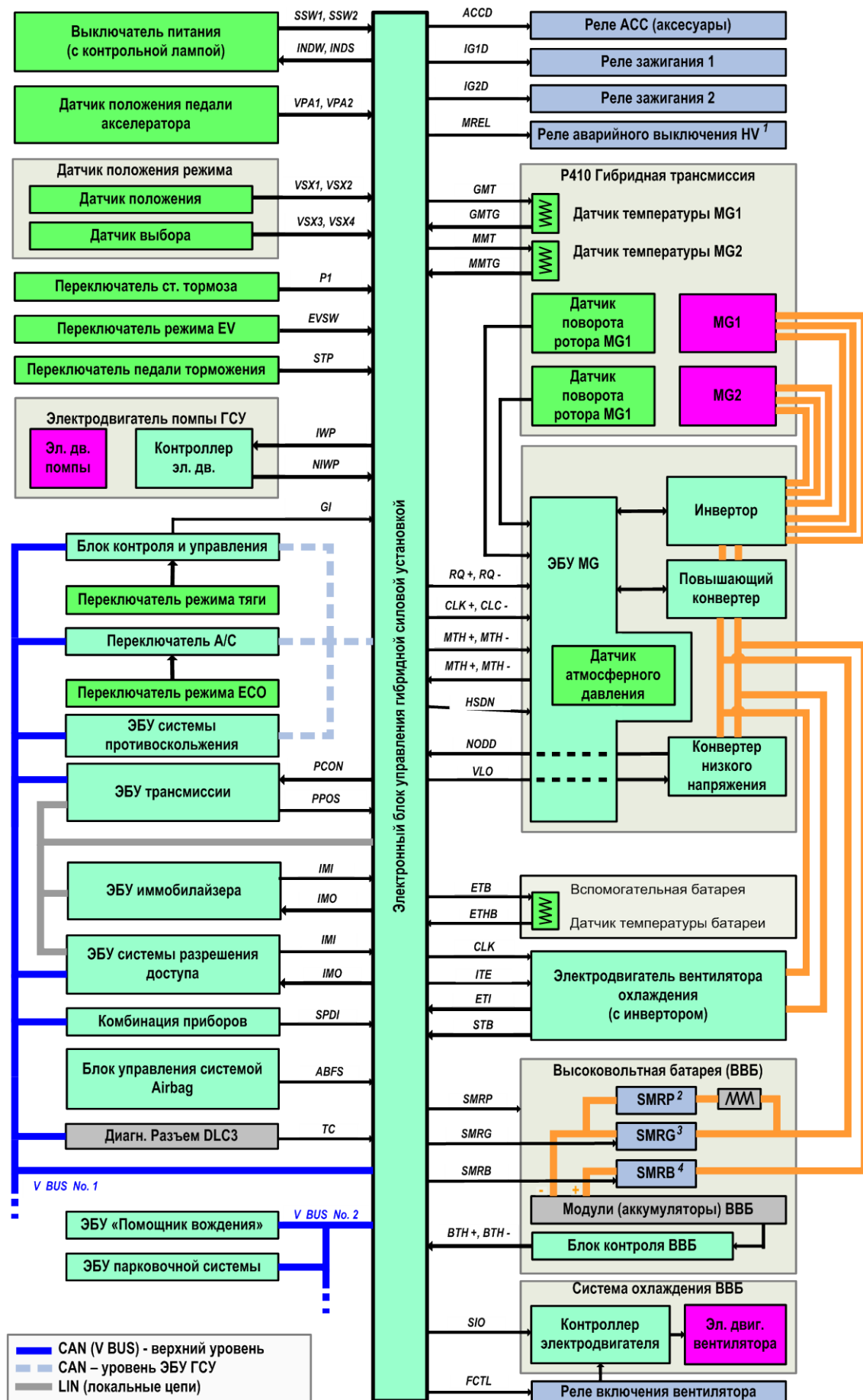


Рис. 91. Блок-схема ГСУ

8. ТОРМОЗНАЯ СИСТЕМА С РЕГЕНЕРАТИВНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

Тормозная система гибридного автомобиля отличается от тормозной системы обычного автомобиля. Это вызвано особенностями режимов работы гибридной силовой установки. В обычном автомобиле режим движения с выключенным двигателем никогда не допустим, одна из причин этого – отказ усилителя тормозов, работающего от разряжения во впускном коллекторе. В гибридном автомобиле движение с выключенным бензиновым двигателем возможно, поэтому усилитель тормозов должен иметь иную конструкцию. Также в гибридном автомобиле есть режим рекуперативного торможения, который накладывается на работу гидравлической тормозной системы, что приводит к необходимости контролировать этот процесс.

В тормозной системе гибридного автомобиля (рис. 92) выполнены встроенными в один блок главный тормозной цилиндр, электронный блок управления противозаносной системой, соленоиды и эмулятор хода. Гидравлический усилитель используется в качестве резервного механизма на случай отказа тормозной системы [10].

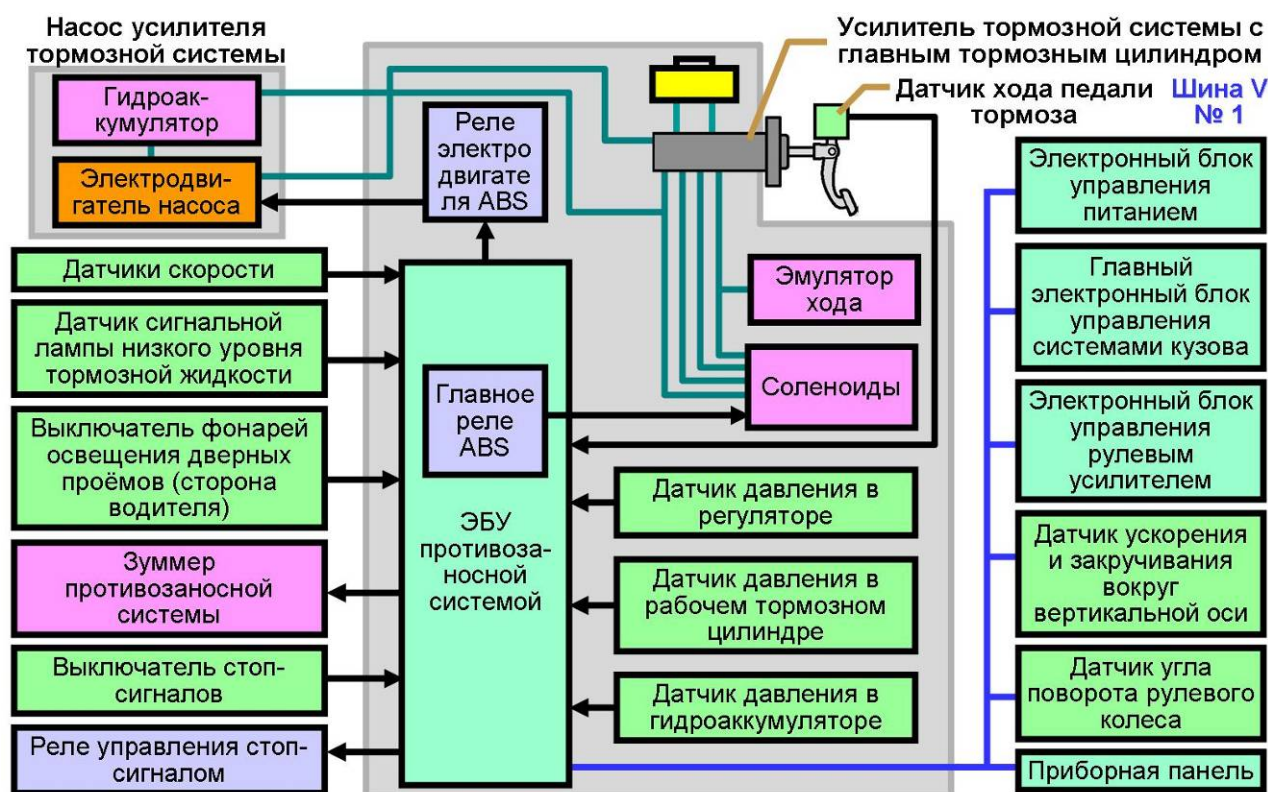


Рис. 92. Схема гидравлической тормозной системы

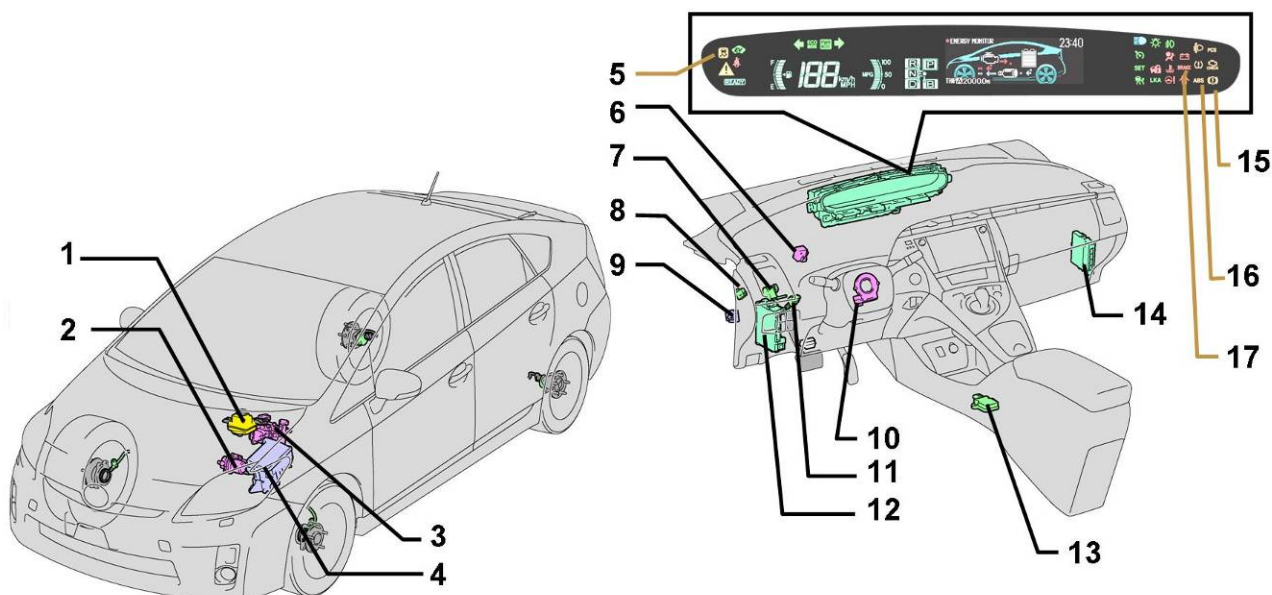


Рис. 93. Расположение основных элементов тормозной системы: 1 - бачок с тормозной жидкостью; 2 - насос усилителя тормозной системы в сборе; 3 - усилитель тормозной системы с главным тормозным цилиндром и блоком управления рабочими тормозными цилиндрами; 4 - блок предохранителей №1 в моторном отсеке; 5 - индикатор противозаносной системы; 6 - зуммер противозаносной системы; 7 - датчик хода педали тормоза; 8 - выключатель стояночного тормоза; 9 - выключатель стоп-сигналов; 10 - датчик угла поворота рулевого колеса; 11 - выключатель стоп-сигналов; 12 - главный электронный блок управления системами кузова; 13 - датчик ускорения и вращения вокруг вертикальной оси; 14 - электронный блок управления питанием; 15 - сигнальная лампа неисправности тормозной системы; 16 - сигнальная лампа неисправности ABS; 17 - сигнальная лампа низкого уровня тормозной жидкости

На рисунке 93 показано расположение основных элементов управления тормозной системы: главный тормозной цилиндр с бачком для тормозной жидкости и усилителем, педаль тормоза с датчиком хода, датчики положения кузова, датчик угла поворота рулевого колеса, информация о состоянии тормозной системы на панели приборов.



Рис. 94. Распределение тормозного усилия

Управление регенеративным торможением обеспечивает распределение тормозного усилия между гидравлической тормозной системой и регенеративной тормозной системой (рис. 94).

Гидравлический контур тормозной системы (рис. 95) обеспечивает передачу усилия от тормозной педали до рабочих тормозных цилиндров под контролем электронных датчиков, управляющих исполнительными соленоидами.

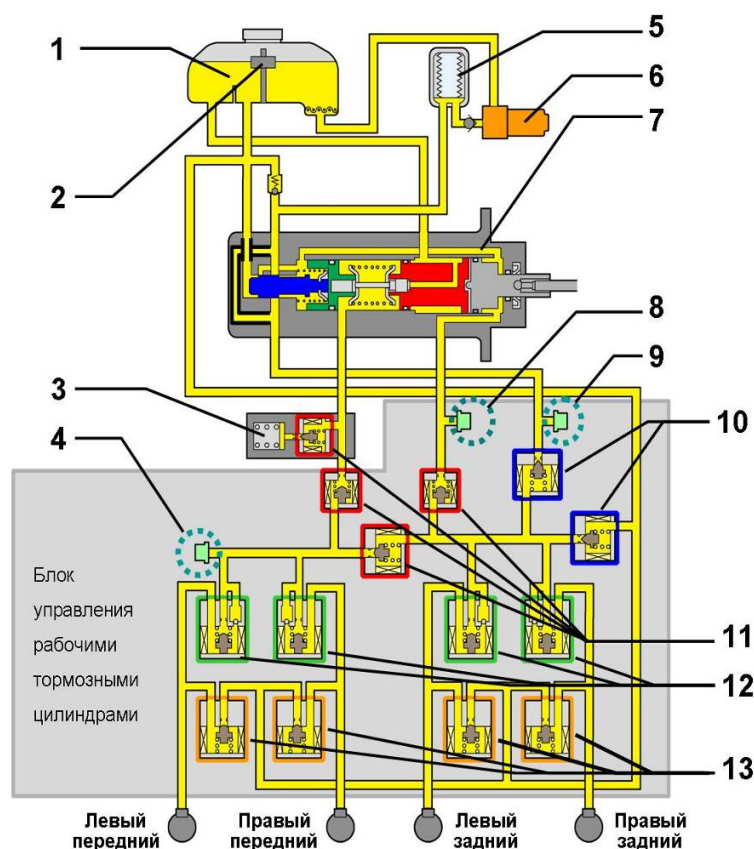
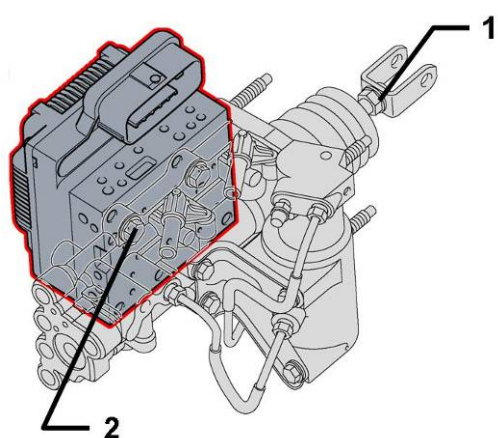


Рис. 95. Гидравлический контур тормозной системы: 1 - бачок главного тормозного цилиндра; 2 - датчик сигнальной лампы низкого уровня тормозной жидкости; 3 - эмулятор хода; 4 - датчики давления в контуре рабочих торм. цилиндров; 5 - гидроаккумулятор; 6 - электродвигатель насоса; 7 - гидравлический усилитель тормозной системы; 8 - датчик давления в регуляторе; 9 - датчик давления в гидроаккумуляторе; 10 - соленоиды, управляющие давлением в гидравлической системе; 11 - соленоиды управления переключением; 12 - соленоиды удержания давления; 13 - соленоиды сброса давления

Контурами тормозной системы управляют электронный блок с исполнительными механизмами и электронный блок противозаносной системы, передающий сигналы рабочим тормозным механизмам (рис. 96).



Блок управления рабочими тормозными цилиндрами включает:

- Электронный блок управления противозаносной системой
- Два соленоида, управляющих давлением в гидравлической системе
- Четыре соленоида, управляющих переключением
- Восемь контрольных соленоидов
- Датчик давления в регуляторе
- Датчик давления в рабочем тормозном цилиндре
- Датчик давления в гидроаккумуляторе

Рис. 96. Блок управления рабочими тормозными цилиндрами:
1 - усилитель тормозной системы с главным тормозным цилиндром;
2 - блок управления рабочими тормозными цилиндрами

На рисунке 97 и в таблице 19 приведены: порядок действия и работа соленоидов.

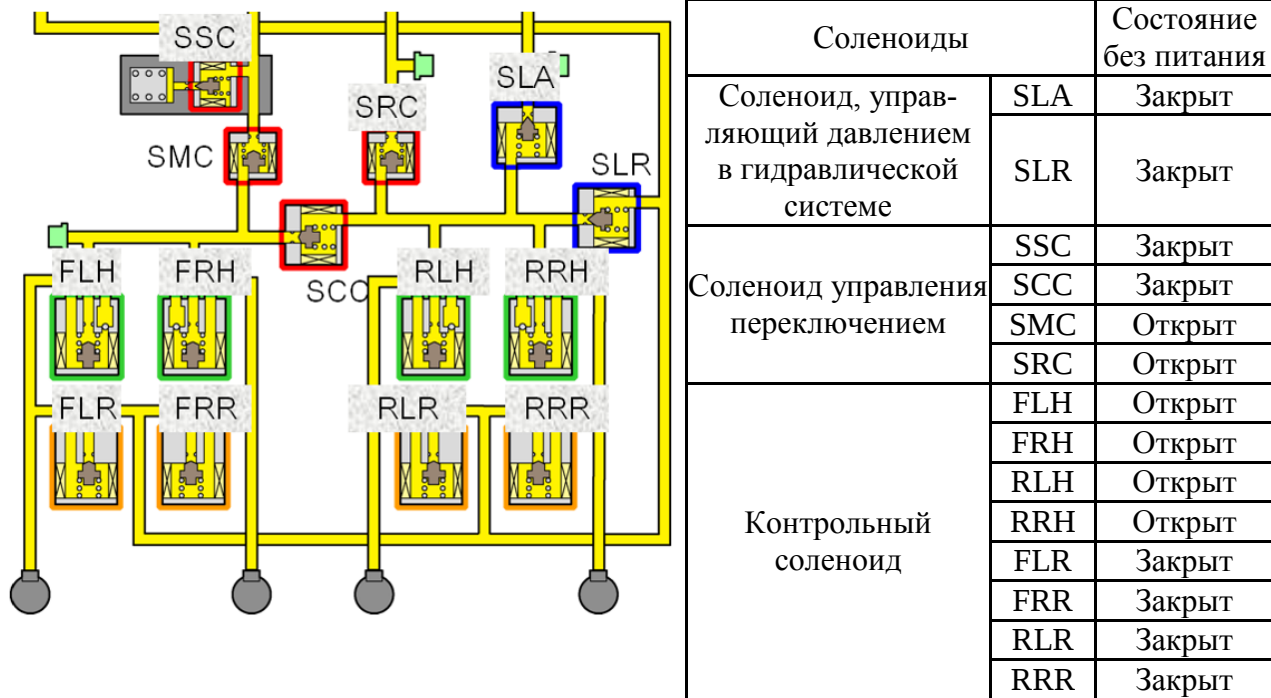


Рис. 97. Порядок действия соленоидов

Соленоид, управляющий давлением в гидравлической системе, регулирует давление в рабочем тормозном цилиндре, обеспечивая необходимое тормозное усилие при нажатии педали тормоза. Соленоид управления переключением – переключает гидравлические контуры при включении системы управления торможением. Контрольный соленоид – отслеживает давление в рабочем тормозном цилиндре при включении тормозной системы. Схема передачи усилия от педали тормоза в гидравлический усилитель показана на рис 98.

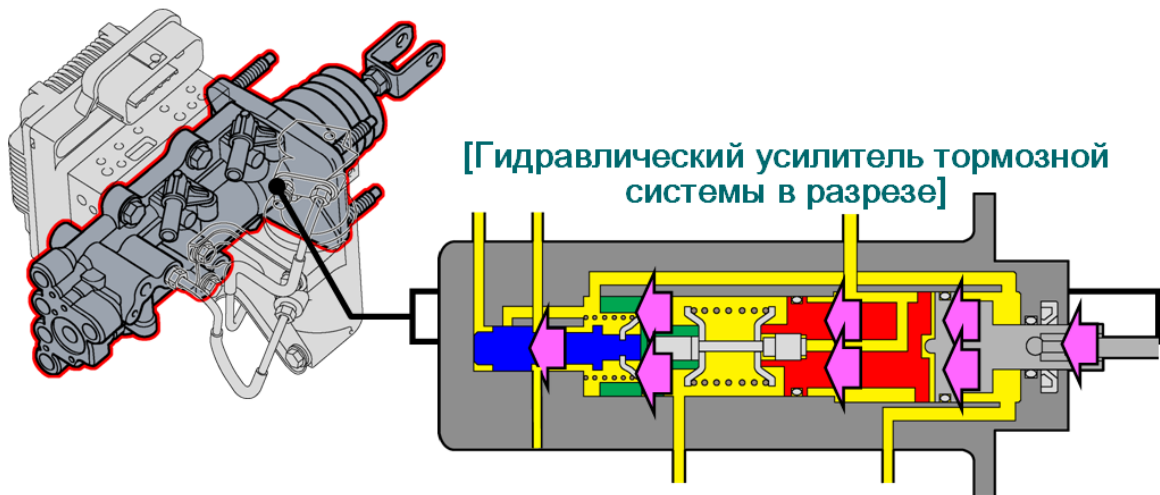


Рис. 98. Усилитель тормозной системы с главным цилиндром

Датчик давления в регуляторе (рис. 95) преобразует давление в гидравлическом усилителе тормозной системы в электрический сигнал и затем пере-

дает этот сигнал в электронный блок управления противозаносной системой. Датчик давления в рабочем тормозном цилиндре – измеряет давление в соответствующем рабочем тормозном цилиндре и затем передает эту информацию в электронный блок управления противозаносной системой. Датчик давления в гидроаккумуляторе – непрерывно отслеживает давление в гидроаккумуляторе и передает эту информацию в электронный блок управления противозаносной системой.

В таблице 19 показан порядок работы соленоидов в различных условиях.

Таблица 19

Порядок работы соленоидов

Соленоиды		Обычное торможение			Отказ системы
		Нагнетание давления	Поддержание давления	Сброс давления	
Соленоид, управляющий давлением в гидравлической системе	SLA	ВКЛ (полукоткрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)
	SLR	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВКЛ (полукоткрыт)	ВЫКЛ (закрыт)
Соленоид управления переключением	SSC	ВКЛ (открыт)	ВКЛ (открыт)	ВКЛ (открыт)	ВЫКЛ (закрыт)
	SCC	ВКЛ (открыт)	ВКЛ (открыт)	ВКЛ (открыт)	ВЫКЛ (закрыт)
	SMC	ВКЛ (закрыт)	ВКЛ (закрыт)	ВКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (открыт)
	SRC	ВКЛ (закрыт)	ВКЛ (закрыт)	ВКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (открыт)
Контрольный соленоид	FLH	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)
	FRH	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)
	RLH	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)
	RRH	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)	ВЫКЛ (открыт)
	FLR	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)
	FRR	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)
	RLR	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)
	RRR	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)	ВЫКЛ (закрыт)

Конструкция и работа гидравлического усилителя торможения показаны на рисунках 99, 100.

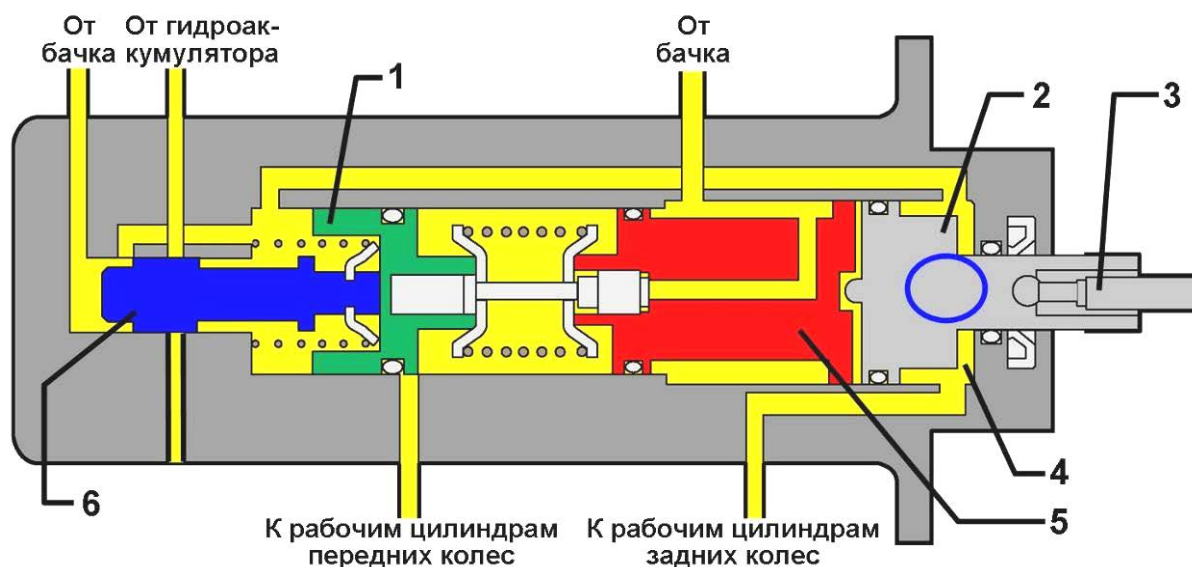


Рис. 99. Гидравлический усилитель: 1 - поршень регулятора; 2 - поршень гидроусилителя; 3 - шток; 4 - камера усилителя; 5 - поршень главного тормозного цилиндра; 6 - золотниковый гидрораспределитель

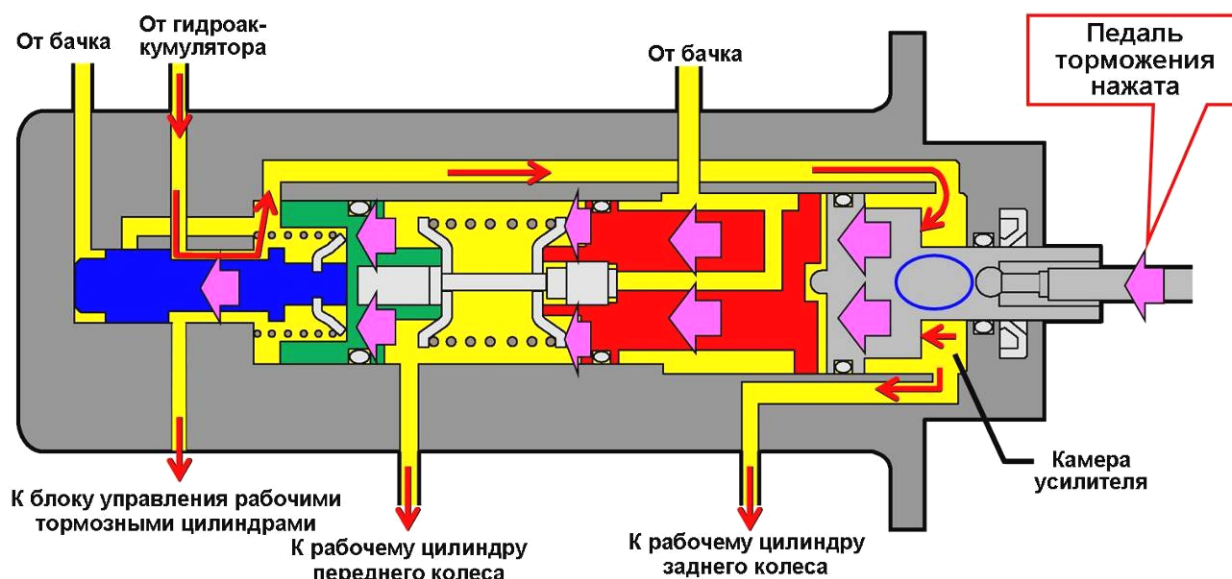


Рис. 100. Работа гидравлического усилителя

Эмулятор хода педали тормоза необходим для приближения чувства сопротивления педали тормоза у гибридного автомобиля к нажатию на педаль тормоза обычного автомобиля. Такое ощущение сопротивления необходимо, чтобы водитель не потерял чувство контроля над автомобилем в экстремальной ситуации (рис. 101).

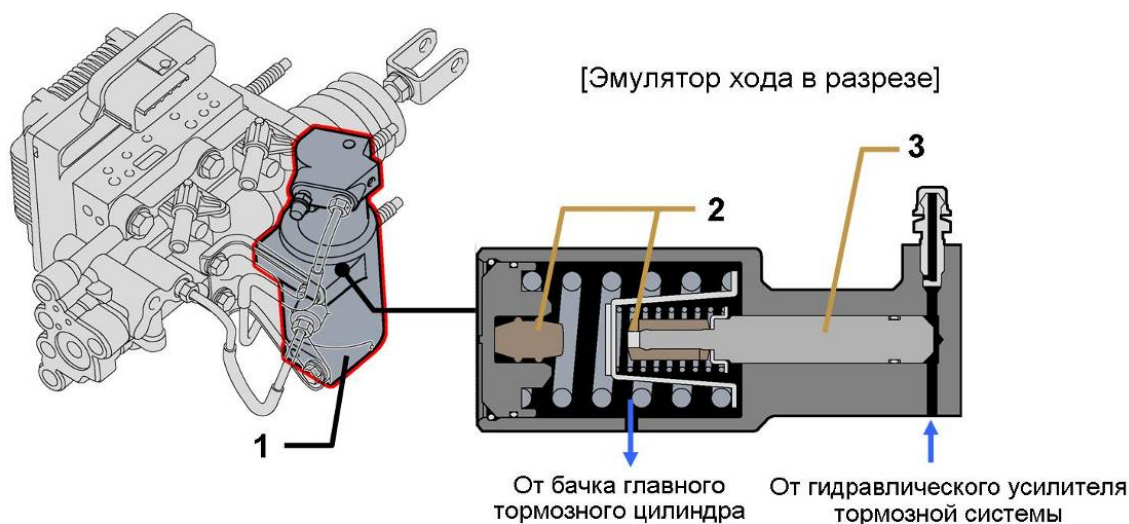


Рис. 101. Эмулятор хода педали тормоза:
1 - эмулятор хода; 2 - резиновый уплотнитель; поршень

При нажатии педали тормоза в обычном автомобиле водитель чувствует усилие сопротивления педали торможения, при замедлении это позволяет точно управлять процессом замедления. В гибридном автомобиле замедление может происходить при рекуперативном торможении, когда сопротивление создается мотор-генераторами ГСУ. Эмулятор хода инициирует усилие, прикладываемое водителем при нажатии педали торможения.

Насос усилителя тормозной системы служит для нагнетания и поддержания гидравлического давления и представляет собой блок, состоящий из насоса, электродвигателя, гидроаккумулятора (рис. 102), предохранительного клапана и датчика давления в гидроаккумуляторе.

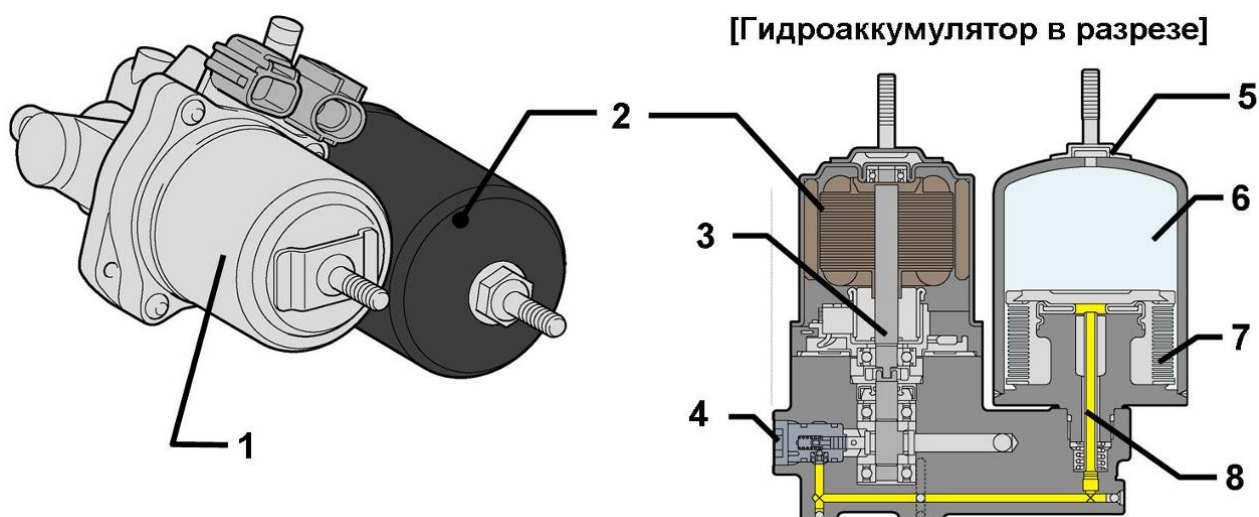


Рис. 102. Гидроаккумулятор с насосом в сборе: 1- гидроаккумулятор;
2 - электродвигатель; 3 - кулачковый вал; 4 - плунжер; 5 - гидроаккумулятор;
6 - азот; 7 - мембрана; 8 - тормозная жидкость

При утилизации гидроаккумулятора необходимо просверлить в нем отверстие, чтобы выпустить газ. Место сверления отверстия находится сбоку на расстоянии 25 мм от верхней торцевой стенки.

В случае отказа тормозной системы происходит закрытие соленоида управления переключением (SSC), и подача тормозной жидкости через главный тормозной цилиндр прекращается.

Обслуживание и ремонт тормозной системы производят по технологии сервисных предприятий. Перед заменой деталей тормозной системы, указанных в таблице 20, необходимо отключить электродвигатель насоса и стравить давление из гидроаккумулятора и блока управления рабочими тормозными цилиндрами.

Отключение управления торможением с помощью диагностического прибора производится в следующем порядке:

1. После выключения зажигания подождите не менее 2 мин.
2. Разъедините электрический разъем датчика уровня тормозной жидкости.
3. Присоедините диагностический прибор Techstream или Intelligent Tester и установите замок зажигания в положение IG-ON.
4. Включите диагностический прибор Techstream или Intelligent Tester и войдите в меню: Chassis / ABS/VSC/TRC / Active Test.
5. Выберите “ECB Invalid”.
6. Нажмите на педаль тормоза более 40 раз. Убедитесь, что после последнего нажатия педаль тормоза не осталась нажатой.
7. Завершите работу с пунктом меню “ECB Invalid”.

Запрещается нажимать педаль тормоза и открывать/закрывать двери до разъединения электрического разъема датчика низкого уровня тормозной жидкости. Прокачку системы после замены или установки некоторых деталей необходимо выполнить с помощью диагностического прибора.

Таблица 20

Прокачка гидравлической тормозной системы в случае замены некоторых деталей

Операция:	Прокачка тормозной магистрали	Прокачка главного тормозного цилиндра
Заменяемая/ устанавливаемая деталь	- гибкий шланг (передний/задний) - рабочий цилиндр дискового тормозного механизма (передний/задний)	- насос усилителя тормозной системы в сборе - усилитель тормозной системы с глав- ным тормозным цилиндром - бачок главного тормозного цилиндра

Прокачка тормозной системы с использованием диагностического прибора осуществляется в порядке, указанном в таблице 21.

Технология прокачки гидравлической тормозной системы

Операция	
1. После установки замка зажигания в положение OFF выждите не менее 2 минут. 2. Снимите крышку бачка главного тормозного цилиндра. 3. Долейте в бачок тормозной жидкости, чтобы ее уровень находился между метками MAX и MIN. 4. Присоедините диагностический прибор к разъему DLC3 5. Установите замок зажигания в положение IG-ON. 6. Выберите пункт меню “Chassis / ABS / VSC / TRAC / Air Bleeding”.	
Прокачка тормозной магистрали	7. Выберите пункт меню “Usual air bleeding” и замените тормозную жидкость, следуя указаниям диагностического прибора. 8. После замены тормозной жидкости затяните все штуцеры для прокачки системы. Передний штуцер для прокачки / задний штуцер для прокачки / штуцер для прокачки эмулятора хода. 9. Удалите из памяти диагностические коды неисправности.
Прокачка главного тормозного цилиндра	7. Выберите пункт меню “ABS actuator has been replaced” и замените тормозную жидкость, следуя указаниям диагностического прибора. 8. После замены тормозной жидкости затяните все штуцеры для прокачки системы. Передний штуцер для прокачки / задний штуцер для прокачки / штуцер для прокачки эмулятора хода. 9. Удалите из памяти диагностические коды неисправности.

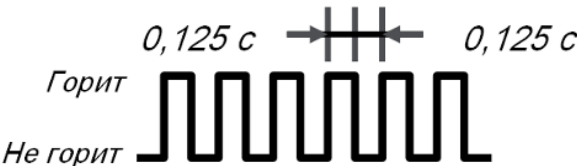
Инициализация и калибровка необходимы после замены педали тормоза, датчика хода педали тормоза, усилителя тормозной системы в сборе, датчика ускорения и вращения автомобиля вокруг вертикальной оси, а также при регулировке геометрии передних колес (рис. 103).

Порядок технологических операций и процедуры инициализации соленоида, управляющего давлением в гидравлической тормозной системе, приведены в таблице 22.



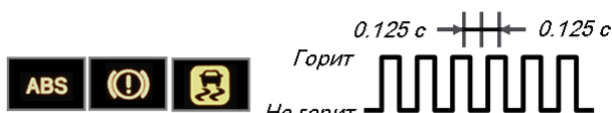
Рис. 103. Заменяемые детали, требующие инициализации или калибровки

**Технология инициализации соленоида
гидравлической системы**

Операция	Процедура
Состояние автомобиля	Режим питания выключен. Рычаг селектора в положении "Р". Рулевое колесо отцентрировано.
Удаление данных инициализации соленоида, управляющего давлением в гидравлической системе	1. Присоедините диагностический прибор к разъему DLC3. 2. Установите замок зажигания в положение IG-ON. 3. Выберите пункт меню "Chassis / ABS/VSC/TRAC / Utility / Reset Memory". 4. Выполните калибровку "нулевой точки" датчика ускорения и закручивания автомобиля вокруг вертикальной оси.
Инициализация и калибровка соленоида, управляющего давлением в гидравлической системе	1. Установите замок зажигания в положение OFF. 2. Выключите стояночный тормоз. 3. Установите замок зажигания в положение IG-ON. 4. Выберите пункт меню "Chassis / ABS/VSC/TRAC / Utility / ECB Utility / Linear Valve Offset". 5. В течение 1-2 минут автомобиль должен оставаться неподвижным. Нажимать педаль тормоза в этот промежуток времени запрещается. 6. Убедитесь, что частота мигания желтой сигнальной лампы тормозной системы соответствует указанному ниже.  Горит Не горит  7. Убедитесь в отсутствии диагностического кода неисправности C1345.

В случае замены деталей рулевого управления и при регулировке углов положения передних колес необходимо производить калибровку «нулевого положения», как показано в таблице 23.

Калибровка "нулевой точки" датчика ускорения и вращения автомобиля

Операция	Процедура
Состояние автомобиля	Режим питания выключен. Рычаг селектора в положении "P". Рулевое колесо отцентрировано.
Удаление данных о "нулевой точке" калибровки.	1. Присоедините диагностический прибор к разъему DLC3. 2. Установите замок зажигания в положение IG-ON. 3. Выберите пункт меню "Chassis / ABS/VSC/TRAC / Utility / Reset Memory". 4. Установите замок зажигания в положение OFF.
Калибровка "нулевой точки" датчика ускорения и вращения вокруг вертикальной оси	1. Установите замок зажигания в положение IG-ON. 2. Выберите пункт меню "Chassis / ABS/VSC/TRAC / Utility / Test Mode". 3. Автомобиль должен оставаться неподвижным в течение 2 секунд или более. 4. Убедитесь, что сигнальная лампа ABS, желтая сигнальная лампа тормозной системы и сигнальная лампа противозаносной системы загорелись на несколько секунд, а затем начали мигать, как показано ниже. 

Замену тормозной жидкости можно выполнить без использования диагностических приборов. Для этого необходимо включить режим отказа электронно-управляемой тормозной системы (ECB), как показано на рис. 104.



Рис. 104. Последовательность принудительного включения режима отказа электронной тормозной системы (ECB)

Ниже перечислены условия, при наступлении которых режим отказа электронной тормозной системы (ECB) выключается (без последующего принудительного выключения):

- рычаг селектора переведен из положения "P" в любое другое положение;
- замок зажигания установлен в положение READY;

- замок зажигания установлен в положение OFF;
- стояночный тормоз выключен;
- скорость автомобиля не равна 0 км/ч.

При неисправности тормозной системы гидравлический усилитель тормозной системы подает тормозную жидкость под давлением непосредственно в рабочие тормозные цилиндры.

Неисправности элементов электронно-управляемой тормозной системы, приводящие к аварийным режимам, и необходимые действия для восстановления её работоспособности приведены в таблицах 24 и 25.

Таблица 24

Неисправности тормозной системы при аварийных режимах

Неисправность	Действие
1. Блок управления рабочими тормозными цилиндрами выключен.	Давление жидкости, создаваемое в гидравлическом усилителе тормозной системы в результате нажатия водителем педали тормоза, подается непосредственно в рабочие тормозные цилиндры.
2. Давление от гидроаккумулятора не подается	Давление жидкости, создаваемое в главном тормозном цилиндре гидравлического усилителя тормозной системы, подается только в рабочие тормозные цилиндры передних колес.
3. Неисправность тормозной системы передних колес	Давление жидкости, создаваемое в гидравлическом усилителе тормозной системы, подается непосредственно в рабочие тормозные цилиндры задних колес.

Таблица 25

Диагностические коды неисправностей тормозной системы (ЕСВ)

№ кода	Неисправность
C1202	Неисправность датчика уровня жидкости в бачке главного тормозного цилиндра
C1203	Неисправность цепи связи электронного блока управления двигателем (ECM)
C1211	Соленоид SLA
C1212	Соленоид SLR
C1214	Неисправность системы гидравлического управления
C1225	Цепь соленоида SA1
C1226	Цепь соленоида SA2
C1227	Цепь соленоида SA3
C1228	Цепь соленоида STR
C1242	Обрыв цепи питания IG1 / IG2
C1246	Неисправность датчика давления в главном тормозном цилиндре
C1247	Неисправность датчика хода
C1249	Обрыв цепи выключателя стоп-сигналов
C1252	Недопустимо большое время работы электродвигателя насоса усилителя тормозной системы

C1253	Неисправность реле электродвигателя насоса
C1256	Низкое давление в гидроаккумуляторе
C1257	Цепь возбуждения питания
C1259	Неисправность регенеративной функции ГСУ
C1300	Неисправность электронного блока управления противозаносной системой
C1311	Обрыв цепи главного реле 1
C1312	Короткое замыкание цепи главного реле 1
C1345	Отмена результатов "обучения" отклонения соленоида, управляющего давлением в гидр. системе
C1352	Неисправность переднего правого соленоида нагнетания давления
C1353	Неисправность переднего левого соленоида нагнетания давления
C1356	Неисправность переднего правого соленоида сброса давления
C1357	Неисправность переднего левого соленоида сброса давления
C1364	Неисправность датчика давления в рабочем тормозном цилиндре
C1365	Неисправность датчика давления в гидроаккумуляторе
C1368	Неисправность соленоида, управляющего давлением в гидравлической системе
C1391	Утечка из гидроаккумулятора
C1392	Отмена результатов калибровки "нулевой точки" датчика хода
C1451	Неисправность привода электродвигателя
U0073	Отключение шины блока управления связью
U0293	Ошибка обмена данными с центральным процессором ГСУ

Контрольные вопросы по разделу:

1. Как работает тормозная система с рекуперативным торможением?
2. Какие электрические и электронные узлы включает тормозная система?
3. Что включает в себя гидравлический контур тормозной системы?
4. Что включает в себя блок управления рабочими тормозными цилиндрами?
5. Для чего предназначен гидравлический усилитель тормозной системы?
6. Для чего предназначен эмулятор хода педали тормоза?
7. Как работает эмулятор торможения?
8. Как работает усилитель тормозной системы?
9. Как производится ремонт системы управления торможением?
10. В каких случаях должна производиться инициализация и калибровка системы управления торможением?
11. Как производится инициализация соленоида управления давлением в гидравлической системе?
12. Как осуществляется замена тормозной жидкости без использования диагностического прибора?
13. Как работает тормозная система в аварийной ситуации?

9. ВСТРОЕННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

В соответствии с директивой SAE J1987 гибридные автомобили оборудуют встроенной системой диагностирования OBD-II (On-Board Diagnostics), которая позволяет подключить к специальному разъему DLC3 диагностический прибор и получить данные из электронного блока управления. В соответствии с правилами на комбинации приборов установлена контрольная лампа индикации неисправностей (MIL). Лампа загорается при запуске двигателя и гаснет при начале его работы. Если лампа не загорается, необходимо проверить питание лампы. В процессе работы двигателя лампа загорается в случаях: неисправна система контроля выбросов отработавших газов; неисправна трансмиссия; неисправен блок управления. Все коды неисправностей записываются в памяти ЭБУ двигателя. Если обнаруженная неисправность не повторяется в течение трёх последних поездок, лампа индикации неисправности гаснет, но коды при этом остаются в памяти ЭБУ.

Для проверки кодов неисправностей необходимо подключить диагностический прибор к разъему DLC 3. Он отображает коды неисправностей в текущем времени. При возникновении неисправностей в ЭБУ записываются не только их коды, но и данные стоп-кадра (FREEZE FRAME DATA). Данные стоп-кадра позволяют установить условия движения и параметры работы двигателя при возникновении неисправности. На всех современных автомобилях используется бортовая высокоскоростная система передачи данных по Controller Area Network (CAN). CAN представляет собой сеть для передачи данных между всеми компьютерами и электронными устройствами автомобиля. Это обеспечивает высокую скорость связи между системами [5].

В процессе эксплуатации автомобиля встроенная система диагностирования непрерывно оценивает работу двигателя. Для большей точности обнаружения неисправностей сигнал включается, только если она проявилась в течение двух поездок. Также доступен более точный режим, когда система диагностирования сообщает информацию только по одной поездке, что важно для выявления периодических неисправностей. При этом в память ЭБУ вводится информация о проверяемом коде неисправности.

После завершения ремонта и устранения неисправностей, должен быть выполнен тест с имитацией условий возникновения неисправности. Для этого предусмотрен углубленный режим проверки. Порядок переходов в режимах теста следующий:

1. Подключите диагностический прибор к DLC 3.
2. Установите выключатель питания в положение (двигатель включен).
3. Выполните процедуру по удалению диагностических кодов неисправностей.
4. Выключите двигатель на 30 секунд.
5. Установите выключатель питания на «двигатель включен».

6. Подождите 5 секунд.
7. Введите из меню: Powertrain / Engine and ECT / Trouble Codes.
8. Прочтите коды неисправностей.
9. Если выведен код неисправности -- система неисправна.
10. Если коды неисправностей не выводятся, выполните процедуры меню: Powertrain / Engine and ECT / Utility / All Readiness.
11. Введите проверяемый диагностический код, например – «P0010», проверьте результат тестирования.

После завершения проверки встроенная система диагностирования делает вывод о ее результатах (табл. 26).

После постановки диагноза система изменяет свое состояние из нормального режима в режим теста или наоборот, при этом все коды неисправностей будут удалены. Поэтому необходимо записывать коды неисправностей и данные в «стоп-кадр». Коды неисправностей хранятся в памяти ЭБУ и могут иметь статус: «текущей» или «отложенной» в памяти неисправности. Если неисправность не повторяется во время второй и последующих поездок, некоторые диагностические коды не сохраняются в памяти ЭБУ. Записанные коды могут быть стерты с помощью сканера ошибок или отсоединением клеммы «минус» у вспомогательной аккумуляторной батареи. Коды ошибок в статусе «текущие» не могут быть стерты ни одним из этих способов. Такие коды удаляются только после устранения причины их возникновения путём, описанным выше.

Таблица 26

Результаты сканирования кодов неисправностей

Результат (суждение)	Описание
NORMAL	Проверка закончена. Неисправности устранены.
ABNORMAL	Проверка закончена. Неисправности не устранены.
INCOMPLETE	Проверка не закончена Необходимо повторить проверку в более приближенных к проверяемым функциям условиям
UNKNOWN	Не удается принять решение Количество записанных кодов неисправностей превысило то, которое может уместиться в памяти ЭБУ.

Пример теста для постановки диагноза.

1. Переведите двигатель в режим теста.
2. Дайте двигателю работать на холостом ходу 30 секунд.
3. Совершите поездку на автомобиле со скоростью 40 км/ч в течение 5 минут. Тест можно завершить, если скорость автомобиля снижалась ниже 40 км/ч и время движения превысило 5 минут.
4. Через 10 минут, с момента запуска двигателя, в диагностическом приборе введите меню: Powertrain / Engine and ECT / Trouble Codes.

5. Убедитесь, что при завершении теста постоянные коды неисправности отсутствуют.

На гибридных автомобилях предусмотрена бортовая (встроенная) система диагностики, позволяющая считывать коды неисправностей: Diagnostic, Trouble, Codes (DTCs). Для сканирования электронных блоков применяется стандартный автомобильный диагностический 16-контактный разъем «Data Link Connector 3 (DLC 3)», расположенный под рулевым колесом (рис. 105).

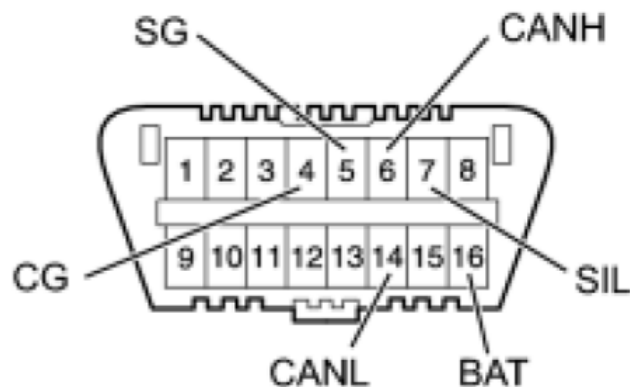


Рис. 105. Расположение контактов в диагностическом разъеме

Клеммы в диагностическом разъеме размещены согласно стандартам SAE J1962 и ISO 15765-4 (табл. 27). Блок управления двигателем автомобиля использует стандарт передачи данных ISO 15765-4. Данный стандарт входит в список для работы по OBD-II.

Таблица 27

Проверка контактов диагностического разъема

Символ	Номер клеммы	Назначение	Опорный терминал	Результат	Состояние
SIL	7	Bus "+" line	5 – Signal ground	Генерация импульсов	При включенном зажигании
CG	4	Масса кузова	Масса кузова	1 Ом или менее	Всегда
SG	5	Масса кузова	Масса кузова	1 Ом или менее	Всегда
BAT	16	Батарея +	Масса кузова	от 11 до 14 В	Всегда
CANH	6	CAN "High" line	14 – CANL	от 54 до 69 Ом	Зажигание выключено*
			Батарея +	6 кОм или более	Зажигание выключено*
			4 - CG	200 Ом или более	Зажигание выключено*
CANL	14	CAN "Low" line	Батарея +	6 кОм или более	Зажигание выключено*
			4 - CG	200 Ом или более	Зажигание выключено*

Перед измерением сопротивления нельзя включать питание любых потребителей. По крайней мере в течение одной минуты не открывайте дверь автомобиля. Если результат не соответствует требуемому, может быть неисправен DLC 3. В этом случае следует отремонтировать или заменить жгут и разъем.

Проверка режима включения двигателя возможна двумя способами

1. С помощью тестера выберите в меню: Powertrain >>> Hybrid Control >>> Active Test >>> Inspection Mode – 2WD Inspection. Убедитесь, что на дисплее появилось сообщение “Maintenance Mode” (режим технического обслуживания). Затем, удерживая педаль тормоза в нажатом состоянии, с помощью кнопки пуска включите режим «READY-ON».

2. Во время проверки режима включения двигателя без использования интеллектуального тестера по процедуре, показанной на рисунке 106, на панели приборов должны гореть индикаторы «READY» и «начало скольжения».



Рис. 106. Тест проверки режима включения двигателя без использования интеллектуального тестера

При проверке режима включения двигателя, для предотвращения произвольного начала движения автомобиля, необходимо надёжно зафиксировать автомобиль стояночным тормозом.

Контрольные вопросы по разделу

1. Что включает встроенная система диагностирования OBD-II ?
2. В каком случае загорается лампа неисправности двигателя?
3. Когда лампа должна погаснуть после исчезновения неисправности?
4. Что такое FREEZE FRAME DATA?
5. Как осуществляется передача данных между блоками управления?
6. В чем состоит порядок углубленной проверки после устранения неисправности?
7. Назовите возможные результаты после углубленной проверки двигателя?
8. Каковы условия проверки для постановки диагноза?
9. Как расположены цепи в диагностическом разъеме?
10. Как включить режим проверки двигателя?

Принятые сокращения и обозначения (по очередности употребления)

ГСУ – гибридная силовая установка
КЭУ – комбинированная энергетическая установка
HVB – высоковольтная аккумуляторная батарея
MG – электродвигатель-генератор (мотор-генератор)
ДВС – двигатель внутреннего сгорания
Ин. – инвертор
МГ(MG) – электродвигатель-генератор
DC – постоянный ток
AC – переменный ток
ЭБУ (ECU) – электронный блок управления
EV – электрическое транспортное средство
HV – гибридное транспортное средство
SOC – степень заряда HVB
ECO Mode – экономичный режим движения
PWR Mode – динамичный режим движения
SMRP – реле выключения резистора HVB
SMRG – реле выключения контакта «-» HVB
SMRB – реле выключения контакта «+» HVB
A/C – кондиционер воздуха
BMT – верхняя мертвая точка
HMT – нижняя мертвая точка
In. – впуск
Ex. – выпуск
DOHC – компоновка двигателя с двумя распредвалами
VVT-I – интеллектуальная система регулирования фаз газораспределения
ETCS-I – интеллектуальная» система электрического привода дроссельной заслонки
DIS – непосредственная система зажигания
EGR – система рециркуляции отработавших газов
SST – специальное сервисное приспособление
ECM – электронный модуль контроля
IGBT – мощный высокоскоростной электронный ключ (транзистор)
Ni-MH – никель-металлогидридный аккумулятор
DTC – диагностический код неисправности
READY – индикатор готовности ГСУ к движению автомобиля
ECB – электронная тормозная система
DLC3 – стандартный автомобильный диагностический разъем

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии предложен материал для использования при организации технического обслуживания и ремонта гибридных автомобилей, а также ремонтов в условиях существующей инфраструктуры СТО. Знание устройства гибридного автомобиля способствует понятию алгоритма эффективного управления им для оптимизации мощностных параметров гибридной силовой установки в различных условиях эксплуатации. Изучение конструкции гибридных автомобилей позволяет разрабатывать технологию ремонта узлов и агрегатов и создавать для этого специальные инструменты и приборы.

Анализ современного этапа расширения производства и рынка гибридных автомобилей показывает наличие у автомобилистов стабильного интереса к этой сложной технике, имеющей хорошие перспективы развития. Авторы надеются, что читатели заинтересуются постоянным совершенствованием конструкции гибридных автомобилей и особенностями их эксплуатации.

Библиографический список

1. Технический регламент о безопасности колёсных транспортных средств: утв. постановлением Правительства РФ от 23 сент. 2009 г. № 720. – Москва: Российская газета, 2009. – 28 с.
2. Pistoia, G. Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market / G Pistoia. – Oxford: The Netherlands Linacre House, 2010. – 645 p.
3. Раков, В.А. Исследование автопарка гибридных автомобилей / В.А. Раков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 1(31). – С. 18-23.
4. Раков, В.А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: дис. ...канд. техн. наук: 05.22.10 / В.А. Раков. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2012. – 169 с.
5. 2010 Toyota Prius Repair Manual. Service Manager, Your Distributor / Toyota Motor Corporation. – Тойта, 2009. – 8061 p.
6. Обучающая брошюра для специалистов. Двигатель автомобиля Toyota Prius / ТМК. – Москва, 2010. – 41 с.
7. Обучающая брошюра для специалистов. Двигатель, работающий по циклу Аткинсона-Миллера / ТМК. – Москва, 2010. – 11 с.
8. Обучающая брошюра для специалистов. Гибридная система автомобиля Toyota Prius / ТМК. – Москва, 2010. – 49 с.
9. Обучающая брошюра для специалистов. Отличия автомобиля Toyota Prius ZVW 30 от предыдущих моделей / ТМК. – Москва, 2010. – 45 с.
10. Обучающая брошюра для специалистов. Шасси автомобиля Toyota Prius / ТМК. – Москва, 2010. – 77 с.
11. Петров, Р.Л. На сколько реальны заявленные показатели расхода топлива и эмиссии CO₂ для гибридных автомобилей / Р.Л. Петров // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. – № 2(31). – С. 45-50.

Приложение 1

Технические характеристики гибридных автомобилей, эксплуатируемых в РФ

№ п/п	Модель	Год начала производства	Год начала эксплуатации в РФ	В РФ продаётся официально	Тип кузова	Сх	Снаряженная масса, кг	Двигатель					Схема гибридного привода	Расход топлива			Выбросы CO ₂ , г/км
								Тип	Рабочий объём, см ³	N макс., кВт	M макс., Нм	Размещение		городской цикл, л/100км	смешанный цикл, л/100км	загородный цикл, л/100км	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Toyota Prius (NHW11)	1998	2002	-	седан	0,26	1240	бензиновый	1495	43 при 4000 об/мин	102 при 4000 об/мин	поперечно	смешанная	5,9	5,1	4,6	120
2	Toyota Prius (NHW20)	2004	2005	-	седан	0,25	1240	бензиновый	1497	57 при 5000 об/мин	115 при 4200 об/мин	поперечно	смешанная	4,2	3,6	3,5	104
3	Toyota Prius ZVW30	2009	2010	+	седан	0,25	1310	бензиновый	1798	73 при 5200 об/мин	142 при 4000 об/мин	поперечно	смешанная	3,9	3,9	3,7	89
4	Ford Escape Hybrid	2000	2003	-	вседо- рожник	0,4	1930	бензиновый	2254	113кВт при 6000 об/мин	269кВт при 4500 об/мин	спереди поперечно	смешанная	9,1	8,8	8,3	218
5	Lexus GS 450h	2006	2009	+	седан	0,27	1930	бензиновый	3456	217 при 6400 об/мин	368 при 4800 об/мин	продольно	смешанная	9,2	7,9	7,2	185
6	Lexus RX 400h	2005	2009	+	кросс- совер	0,35	2040	бензиновый	3311	155 при 5600 об/мин	288 при 4400 об/мин	поперечно	смешанная	9,1	8,1	7,6	192
7	Lexus LS 600hL	2007	2009	+	седан	0,27	2320	бензиновый	4969	290 при 6400 об/мин	320 при 4000 об/мин	продольно	смешанная	11,3	9,3	8	219

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
8	Toyota Camry Hybrid	2008	2009	-	седан	0,27	1669	бензи- новый	2400	108 при 6000 об/мин	187 при 4400 об/мин	попе- речно	смешанная	7	н/д	6,9	142
9	Toyota Estima	2000	2002	-	мини- вэн	0,29	2040		2362	110 при 6000 об/мин	190 при 4000 об/мин	попе- речно	смешанная	14,1	н/д	6,8	116
10	Toyota Highlander Hybrid	2007	2010	-	вседо- рожник	0,34	1785	бензи- новый	3456	169 при 4400 об/мин	338 при 4700 об/мин	про- дольно	смешанная	8,7	н/д	7,5	165
11	Honda Civic Hybrid 2003-5	2003	2004	-	седан	0,28	1300	бензи- новый	1339	70 при 6000 об/мин	123 при 4500 об/мин	попе- речно	параллельная	4,8	4,7	4,6	104
12	Honda Insight	1999	2008	-	седан	0,28	1240	бензи- новый	1339	73 при 5800 об/мин	167 при 4500 об/мин	попе- речно	параллельная	5,8	5,7	5,4	80
13	Mercedes-Benz S- 400 Hybrid	2009	2010	+	седан	0,26	2020	бензи- новый	3498	205 при 6000 об/мин	385 при 2400 об/мин	про- дольно	параллельная	10,8	8	6,4	186
14	BMW X6 ActiveHybrid	2010	2010	+	крос- совер	0,36	2525	бензи- новый	4395	357	780	про- дольно	параллельная	10,8	9,9	9,4	231
15	BMW 7-Series Limousine ActiveHybrid	2010	2010	+	седан	0,3	2045	бензи- новый	4395	331	650 при 2000 об/мин	про- дольно	параллельная	12,6	9,4	7,6	219
16	Chevrolet Volta	2008	2010	-	хэтч- бек	0,28	1715	бензи- новый	1394	63 при 4800 об/мин	н/д	попе- речно	последо- вательная с блокировкой	25 кВтч	н/д	н/д	До 60 км-0

Технические характеристики гибридных силовых установок автомобилей

№ п/п	Модель	Характеристики электромоторов								Характеристики батареи			Характеристики генератора		
		1				2				Тип	Мощность или ёмкость	Напряжение, В	Тип	Мощность, кВт	Напряжение, В
		Тип	N макс, кВт	M макс, Нм	Напряжение, В	Тип	N макс, кВт	M макс, Нм	Напряжение, В						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	Toyota Prius (NHW11)	с.п.м.	33 при 1040-5600 об/мин	350 при 0-400 об/мин	273,6	-	-	-	-	Ni-MH	6,0 Ач	273,6	с.п.м	30	274
2	Toyota Prius (NHW20)	с.п.м.	50 при 1200-1540 об/мин	400 при 0-1200 об/мин	500	-	-	-	-	Ni-MH	6,5 Ач 21 кВт	201,6	с.п.м	33	500
3	Toyota Prius ZVW30	с.п.м.	60	207	650	-	-	-	-	Ni-MH	27 кВт	201,6	с.п.м	50	650
4	Ford Escape Hybrid	с.п.м.	65	205	330	-	-	-	-	Ni-MH	28 кВт	330	с.п.м	28	110
5	Lexus GS 450h	с.п.м.	254	275	650	с.п.м.	147	н/д	650	Ni-MH	6,5 Ач	288	с.п.м	254	650
6	Lexus RX 400h	с.п.м.	123 при 4500 об/мин	333 при 1500 об/мин	650	с.п.м.	50 при 4610-5120 об/мин	130 при 0-610 об/мин	650	Ni-MH	45 кВт	288	с.п.м	109	650
7	Lexus LS 600h L	с.п.м.	165	300	650	-	-	-	-	Ni-MH	6,5 Ач	288	с.п.м	194	650

Окончание приложения 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	Toyota Camry Hybrid	с.п.м.	105	269 при 4500 об/мин	650	-	-	-	-	Ni-MH	6,5 Ач	245	с.п.м	42	650
9	Toyota Estima	с.п.м.	13	110 при 1500 об/мин	216	с.п.м.	18 при 610-5120 об/мин	108 при 0-610 об/мин	216	Ni-MH	5,8 Ач	244	с.п.м	13	216
10	Toyota Highlander Hybrid	с.п.м.	123	333	650	с.п.м.	50	130	650	Ni-MH	6,5 Ач	288	с.п.м	50 при 4610-5210 об/мин	650
11	Honda Civic Hybrid 2003-5	с.п.м.	15 при 2000 об/мин	103 при 1160 об/мин	158	-	-	-	-	Ni-MH	6,0 Ач	158	с.п.м	15	158
12	Honda Insight	с.п.м.	10	92 при 0-500 об/мин	144	-	-	-	-	Ni-MH	5,5 Ач	144	с.п.м	10	144
13	Mercedes-Benz S-400 Hybrid	с.п.м.	15	160	120	-	-	-	-	Li-Ion	7Ач	120	с.п.м	н/д	120
14	BMW X6 ActiveHybrid	с.п.м.	57	160	312	-	-	-	-	Ni-MH	2,4 кВтч	312	с.п.м	50	н/д
15	BMW 7-Series Limousine ActiveHybrid	с.п.м.	62	210	120	-	-	-	-	Li-Ion	0,4 кВтч	120	с.п.м.	20	120
16	Chevrolet Volta	с.п.м.	111	370	240	-	-	-	-	Li-Ion	16 кВт	240	с.п.м	54	240

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Общие сведения о гибридных автомобилях	7
2. Двигатель внутреннего сгорания	10
3. Мотор-генераторы	28
4. Инверторы.....	30
5. Высоковольтная аккумуляторная батарея.....	40
6. Трансмиссия	53
7. Работа гибридной силовой установки	68
8. Тормозная система с регенеративным торможением	73
9. Встроенная система диагностирования.....	86
Принятые сокращения и обозначения	90
Заключение	91
Библиографический список	91
Приложение 1	92
Приложение 2	94

Учебное издание

Александр Александрович Капустин
Вячеслав Александрович Раков

ГИБРИДНЫЕ АВТОМОБИЛИ

Учебное пособие

Редактор Л.А. Перерукова
Компьютерная верстка Н.В. Подхомутовой

Подписано в печать 26.10.2015. Формат 60 × 84/16
Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.-п.л. 6,0. Тираж 200 экз. Заказ №

Отпечатано: РИО ВоГУ, 160000, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6