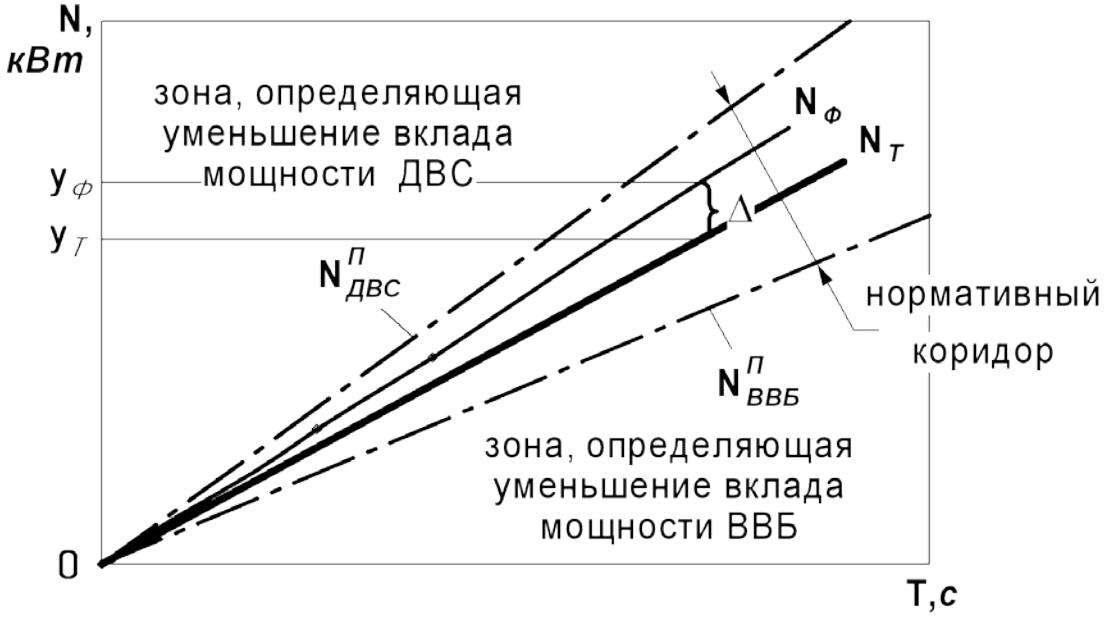
**В.А. Раков**

# Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками

Монография



Министерство образования и науки Российской Федерации

Вологодский государственный университет

**В.А. Раков**

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

МОНОГРАФИЯ

Вологда
2014

УДК 629.3.038:656.13
ББК 39.33
Р 19

*Рецензенты:*
*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспортных средств, директор инженерно-технического института Череповецкого государственного университета* ***А.Л. Кузьминов;***

*доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой графики и технической механики Вологодской государственной молочнохозяйственной академии им. Н.В. Верещагина* ***В.Н. Туваев***

Печатается по решению редакционно-издательского совета ВоГУ

**Раков, В.А.**
**Р 19 Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками: монография** / В.А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 143 с.

ISBN 978–5–87851–551–1

Монография содержит результаты исследования эксплуатационной надежности гибридных автомобилей со смешанной схемой расположения элементов гибридной силовой установки, эксплуатируемых в России.

Проведен анализ параметров оценки технического состояния гибридной силовой установки, разработаны диагностические матрицы отказов и неисправностей, по результатам анализа выявлены наиболее информативные из них.

Представлен оригинальный способ оценки технического состояния элементов гибридной силовой установки, предложена математическая модель для вычисления значений параметров оценки технического состояния по заданным условиям испытаний и результаты теоретических и экспериментальных исследований предложенного способа.

Представлено описание разработанного специализированного диагностического оборудования и приемов его использования на автомобиле.

Приведено экономическое обоснование предлагаемого способа оценки технического состояния.

Монография рекомендована преподавателям и студентам, обучающимся по направлениям подготовки 23.03.03 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов (профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»), 43.03.01 – Сервис (профиль «Сервис транспортных средств»), аспирантам специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта», а также механикам и инженерам-диагностам станций технического обслуживания.

УДК 629.3.038:656.13
ББК 39.33

ISBN 978–5–87851–551–1

© ВоГУ, 2014
© Раков В.А., 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

**Предисловие** ..... 5
**Введение** ..... 7

**Глава 1. ОЦЕНКА АВТОПАРКА ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ** ..... 9
1.1. Объемы продаж легковых автомобилей с гибридными силовыми установками по всему миру ..... 9
1.2. Оценка объемов продаж автобусов с ГСУ ..... 15
1.3. Зарождение производства автомобилей с ГСУ в России ..... 17
1.4. Оценка автопарка автомобилей с ГСУ, эксплуатируемых в России ..... 21
1.5. Состояние инфраструктуры для технического обслуживания и ремонта гибридных автомобилей в России ..... 26

**Глава 2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГСУ АВТОМОБИЛЕЙ** ..... 29
2.1. Характеристики автомобилей с ГСУ ..... 29
2.2. Разновидности схем гибридного привода ..... 29
2.3. Особенности работы ГСУ смешанного типа ..... 32
2.4. Описание диагностируемых элементов гибридного привода ..... 34

**Глава 3. АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГСУ** ..... 45
3.1. Анализ возникающих отказов и неисправностей ГСУ автомобиля Toyota Prius ..... 45
3.2. Оценка закономерности изменения технического состояния ГСУ по пробегу автомобиля ..... 48
3.3. Вероятностная оценка отказов ДВС и его систем ..... 50
3.4. Определение стратегии и тактики поддержания работоспособности элементов ГСУ ..... 53
3.5. Формулировка задач ..... 55
Выводы по главе ..... 56

**Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГСУ АВТОМОБИЛЕЙ** ..... 58
4.1. Общее описание разрабатываемой методики ..... 58
4.2. Выбор параметров оценки технического состояния ГСУ ..... 60
4.3. Разработка диагностических матриц выявления отказов и неисправностей элементов ГСУ ..... 63
4.4. Разработка способов определения параметров оценки технического состояния ГСУ на автомобиле ..... 65
4.5. Алгоритм расчёта параметров оценки технического состояния ГСУ. 68
4.6. Программа вычисления эталонных значений параметров оценки технического состояния ГСУ ..... 76
4.7. Рекомендации по использованию методики ..... 80
Выводы по главе ..... 81

**Глава 5. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГСУ АВТОМОБИЛЕЙ** ..... 82
5.1. Теоретические исследования с применением стандартного ездового цикла ЕС 2004 ..... 82
5.2. Исследование факторов, влияющих на периодичность технического обслуживания и ремонта ГСУ ..... 86
Выводы по главе ..... 90
**Глава 6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГСУ** ..... 91
6.1. Аналоговая модель оптимизации процесса диагностирования автомобиля с ГСУ ..... 91
6.2. Средства диагностирования для оценки технического состояния гибридных силовых установок ..... 94
6.3. Обоснование конструкции экспериментального стенда для моделирования работы ГСУ ..... 96
6.4. Методика проведения стендовых исследований ..... 102
6.5. Определение эффективных показателей с помощью экспериментального стенда ..... 103
6.5.1. Определение потерь в механической передаче экспериментальной ГСУ ..... 103
6.5.2. Определение эффективности рекуперации ..... 108
6.5.3. Определение энергетического КПД при различных схемах передачи энергии ..... 112
6.5.4. Исследование и анализ работы электропривода ..... 116
6.6. Анализ стендовых испытаний ..... 117
Выводы по главе ..... 118
**Глава 7. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ** ..... 119
7.1. Оценка достоверности методики по результатам экспериментальных и теоретических исследований ..... 119
7.2. Корректировка интервалов сервисного обслуживания автомобилей с ГСУ ..... 122
7.3. Рекомендации по унификации встроенной системы диагностирования для производителей ..... 124
7.4. Экономическое обоснование применения методики оценки технического состояния ГСУ автомобилей ..... 125
**Общие выводы** ..... 128
**Библиографический список** ..... 129
**Приложение 1** ..... 137
**Приложение 2** ..... 140
**Приложение 3** ..... 142

## Предисловие

Мы живём во времена, когда автомобили традиционной конструкции с двигателем внутреннего сгорания и трансмиссией заканчивают свое существование, на смену приходят более совершенные энергетически эффективные гибридные автомобили. В последние годы их число в нашей стране заметно увеличилось, некоторые эксплуатируются с 1998 года. Тенденция к повышению производства таких автомобилей во всём мире обусловлена повышающимися требованиями к экологической безопасности и увеличением спроса на автомобили с экономичным двигателем. В Евросоюзе рассматривается проект закона к 2050 году ввести запрет на продажу бензина и эксплуатацию автомобилей с традиционным бензиновым или дизельным двигателем в крупных городах. В ближайшие 2 года ожидается значительное увеличение предлагаемых потребителю марок гибридных автомобилей со стороны европейских, китайских, корейских, японских, американских, а также Российских автопроизводителей [44, 48, 51].

Для становления методологической базы диагностирования гибридных силовых установок (ГСУ) автомобилей наиболее ценными являются работы следующих авторов:

– общая методология, изложенная Мирошниковым Л.В., используемая в практике технической эксплуатации, взята в качестве основы при разработке методики оценки технического состояния ГСУ;

– методология расчета базовых параметров ГСУ, разработанная Суриным Е.И., Умняшкиным В.А., Васильевым В.А., легла в основу математической модели, служащей для определения опорных значений диагностических параметров.

Кроме этого в работе использован опыт, реализованный в практике оценки технического состояния ГСУ автомобилей. Наибольший вклад в организацию обслуживания гибридных автомобилей на профессиональном уровне в России внесен ведущим специалистом сети автомастерских по ремонту гибридной техники GIBRIDs.ru Кутовым Владимиром Владимировичем [27, 85].

Большая помощь в организационной работе оказана доктором технических наук профессором Александровым Игорем Константиновичем и доктором технических наук, профессором Капустиным Александром Александровичем.

Автор надеется, что предлагаемые научные и инженерные технические решения будут способствовать повышению надёжности и безопасности автомобилей для участников дорожного движения и окружающей среды. Работа по данному направлению в настоящее время продолжается.

Автор благодарит всех, кто применяет свой накопленный опыт и знания в становлении инфраструктуры обслуживания автомобильного парка России, а также за помощь в подготовке данной работы.

# ВВЕДЕНИЕ

Перед знакомством с материалами монографии полезно изучить то, о чём пойдёт речь. Какое значение имеет слово «гибридный»? В российских толковых словарях «гибрид» относится к растениям и животным, полученным в результате скрещивания нескольких видов с различными свойствами. Гибрид означает *совмещающий в себе признаки различных предметов, явлений*. Англ. «Hybrid» применяется в технике, биологии, музыке, печати, к транспортным средствам, играм. Например: «Biology Hybrid означает потомство, появляющееся в результате метизации», «Electronics Hybrid означает компьютер, сочетающий аналоговые и цифровые функции», «Vehicles Hybrid означает транспортное средство, использующее более чем один источник энергии для движения».

В России для обозначения транспортных средств, имеющих более одного источника энергии, используют различные словосочетания. В литературной речи установилось значение «гибридный». В научных кругах российских учёных также используются различные значения, например: «Комбинированная энергетическая установка (КЭУ)», «Комбинированная силовая установка (КСУ)». Встречаются также словосочетания «гибридный привод», «гибридный автомобиль», «комбинированный двигатель», «гибридная силовая установка (ГСУ)», «электромеханическая система», «гибридная система электроснабжения».

В техническом регламенте «О безопасности колесных транспортных средств» 2009 года [83] все силовые установки подразделяются по типу: двигатель внутреннего сгорания; гибридная силовая установка; электродвигатель.

В существующих гибридных автомобилях передача энергии от первичного двигателя на ведущий вал колёс автомобиля реализована по одной из нескольких схем: последовательная, параллельная или смешанная. Некоторыми компаниями принято разделять гибриды 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).

Любой гибридный автомобиль содержит первичный источник энергии, чаще всего это ДВС и вторичный источник энергии, например аккумуляторная батарея, в этом случае гибридный автомобиль называют «электрическим» (hybrid electric vehicle). Существуют и другие типы гибридных автомобилей: «пневматический» (pneumatic hybrid vehicle), «маховичный» (flywheel hybrid

vehicle), «гидравлический» (hydraulic hybrid vehicle), однако массовой популярности среди класса легковых автомобилей они не получили.

Диагностирование, ремонт автомобилей с электромеханическими гибридными силовыми установками (ГСУ) является проблемой. ГСУ в совокупности с бортовым компьютером автомобиля и другими его узлами представляет собой сложную систему, требующую специальных подходов при определении технического состояния и ремонте [46]. Именно такая проблема может возникнуть при эксплуатации подобных автомобилей. В частности гибридных автомобилей Toyota, Lexus, Honda, Форд - наиболее распространённых в России. В свою очередь от технического состояния автомобиля на дороге напрямую зависит безопасность участников дорожного движения.

В действующем в РФ Положении по техническому обслуживанию [76] отсутствует нормативная информация по автомобилям с ГСУ. Технический регламент также не содержит информации по определению исправного состояния силовых агрегатов с электрифицированной трансмиссией [83]. При проектировании станций технического обслуживания и организации проведения ремонтных работ используется нормативно-справочная литература [82, 88, 90], однако отсутствует возможность применять эту литературу к электрифицированным транспортным средствам, методы проведения работ несколько иные.

Ведущие производители гибридных автомобилей на данный момент мало заинтересованы в организации качественного обслуживания и предоставлении информации по условиям определения технической исправности и нормативным параметрам ГСУ. Обслуживающий персонал станций технического обслуживания не имеет квалификации для проведения диагностики и ремонта подобных автомобилей.

В России десятки городов с числом зарегистрированных автомобилей более 200 тыс., расположенных в 7-ми часовых поясах. Только в одной из специализированных станций Москвы обслуживается более 3000 гибридных автомобилей Toyota. Всего автомобилей с ГСУ в России больше 10000. Несколько технических центров не смогут обслуживать такую обширную зону, а приобретение учебного и диагностического оборудования стоимостью несколько миллионов рублей даже для дистрибьюторов компании Toyota экономически не целесообразно. Всё это создает проблемы владельцам гибридных автомобилей, что ограничивает интерес к ним и затормаживает обновление автомобильного парка страны.

В процессе эксплуатации ухудшение эффективных показателей элементов ГСУ может быть вызвано нормальным износом деталей, отсутствием необхо-

димого технического обслуживания, другими взаимосвязанными причинами. В то же время неисправности могут быть не явными, т.е. возникающими только в определённых условиях, не всегда определяемыми или не определяемыми статическими замерами.

В связи с этим в данной работе предлагаются методики, оборудование и рекомендации, позволяющие упростить процесс диагностирования, априорно оценить техническое состояние гибридного двигателя автомобиля, а также методы обучения специалистов устройству и принципам работы гибридных систем.

Экспериментальные исследования по применяемым методикам и оборудованию проведены на действующей ГСУ, с этой целью разработан и изготовлен экспериментальный макетный стенд, имитирующий работу автомобиля с гибридным двигателем.

Общие результаты исследований представлены в форме готовых алгоритмов программ [79], методик [72, 35, 45, 47], рекомендаций для специалистов [38,52,78,110], обучающихся на автомобильных специальностях, инженеров, учёных, а также автовладельцев, интересующихся надёжными, экономичными и безопасными автомобилями.

# ГЛАВА 1
# ОЦЕНКА АВТОПАРКА ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

## 1.1. Объемы продаж легковых автомобилей с ГСУ по всему миру

На сегодняшний день достаточно сложно оценить численность автопарка проданных гибридных автомобилей по всему миру. Существует лишь статистика продаж в отдельных странах и обособленно по компаниям. Обобщенной статистики явно недостаточно. Имеющаяся информация часто носит необъективный, противоречивый характер. В этой связи сложность представляет исследование процесса развития мирового автопарка гибридных автомобилей и место, занимаемое в нем Россией.

Автором поставлена задача сконцентрировать статистическую информацию об объеме продаж новых гибридных автомобилей по различным странам и миру в целом, а также сформировать общее представление о развитии глобального автопарка гибридов [51].

К настоящему времени наибольшее количество гибридных автомобилей реализовано в **США**: более 3 млн. штук (табл. 1). Причем данный сегмент рынка представлен большим количеством разнообразных марок, основную часть которых занимают модели Toyota Prius (более 1,5 млн. автомобилей) и вседорожники CUV (Crossover Utility Vehicle). Основное значение гибридной схемы в таких машинах – улучшение динамических характеристик. Темпы роста продаж достигают 50% в год.

Компания Ford, начиная с 2005 года, продала примерно 200 тыс. гибридных автомобилей. При этом самым экономичным кроссовером на рынке вседорожников стал Ford Escape Hybrid с силовой установкой смешанного типа, производимой по лицензии компании Toyota. Согласно официальным данным американской налоговой службы, переднеприводный Escape Hybrid имеет расход топлива в городе (по шоссе) – 6,9 (7,5) л / 100 км, расход полноприводной версии – 8,1 (8,7) л/100 км. С конце 2012 года компания отказалась от выпуска гибридной версии автомобиля в пользу высокотехнологичного бензинового агрегата.

Самым экономичным полноразмерным седаном на сегодняшний день в США является Ford Fusion Hybrid, расход топлива которого в среднем составляет 5,7 (6,5) л / 100 км в городе (по шоссе).

*В **Европе*** автопарк гибридных автомобилей меньше, чем в США**,** поскольку интерес к ним появился только с 2007 года. С начала продаж и по итогам сентября 2012 года было продано около 1 млн. гибридных автомобилей, из них: 600 тыс. шт. – гибридные легковые автомобили Toyota и Lexus, еще около 350 тыс. шт. – автомобили Honda всех моделей [44] оставшиеся 50 тыс шт. принадлежат европейским производителям.

На сегодняшний день ежегодный объем продаж гибридных автомобилей в Европе составляет примерно 100 тыс. шт. (0,7% всех продаваемых в Европе

автомобилей), при этом динамика роста продаж постоянно растет. В 2013 году рост составил 80%, а в среднем за последние 7 лет он составил 30% в год.

Некоторые примеры гибридных автомобилей европейских производителей: Audi – гибридные вседорожники Q5, Q7; Opel – дизельный гибрид Astra; Renault – гибридная модель Kangoo; Peugeot – дизельный 3008 Hybrid 4; BMW – Active Hybrid 7, X6; Mercedes – S400, ML450; Porsche Hybrid RS и др.

Наиболее популярна в Европе - модель Toyota Prius, на долю которой приходится более 80% продаваемых гибридных автомобилей. Всего в Европе их продано более 500 тыс. штук.

***Япония.*** Хотя количество гибридных автомобилей здесь меньше, чем в США, зато они пользуются большей популярностью. За прошедшие 15 лет гибридные автомобили в Японии неоднократно перекрывали (по итогам месячных отчетов) продажи традиционных автомобилей с ДВС. Сейчас их доля в совокупном объеме продаж всех легковых автомобилей составляет в среднем 17-20%.

Что касается текущей статистики, то по итогам 2011 года в Японии было продано около 250 тыс. гибридных автомобилей, из них 200 тыс. шт. – компанией Toyota, остальные - компаниями Honda и Mazda.

В список моделей Toyota входит около 20 гибридных версий. Компания Mazda самостоятельно не разрабатывает гибридные технологии: ее силовой агрегат поставляет Toyota. Пошла по собственному пути и компания Honda. Ее ГСУ работают по параллельной гибридной схеме, однако по экономии топлива эти силовые установки уступают работающим по смешанной схеме ГСУ компании Toyota, зато значительно ниже их по стоимости.

***Южнокорейская*** компания Hyundai в 2009 году представила свою собственную разработку – Hyundai LPI Hybrid, с ГСУ, работающую на газе и выпускаемую серийно. Позже ее стали устанавливать на автомобили Kia Cerato. С 2011 года в Южной Корее начались продажи еще одной гибридной модели – Optima. Других корейских серийно-выпускаемых автомобилей пока нет, а компания Toyota только начинает продажи нескольких своих моделей в этой стране.

***Китайская*** автомобильная промышленность делает ставку на гибридные автомобили марки Byd и Chery, массовые продажи которых начались в 2009 году. Активному развитию гибридных автомобилей в Китае способствует государственное стимулирование. Несмотря на это их доля в общем объеме продаж в КНР ничтожно мала: из 14,5 млн. автомобилей, проданных в Китае в 2011 году, только 2713 – гибридные, 5655 – электрические.

Массовые продажи гибридных автомобилей в **России** начались в 2005 году с модели премиум класса Lexus. С начала продаж по конец 2013 года через дилерские центры продано примерно 10400 таких автомобилей. Самый популярный в мире гибридный автомобиль Prius официально продается в нашей стране с 2009 года, по итогам 2013 года их было продано не более 1000 шт.

К настоящему времени общее число моделей официально продаваемых в России гибридных автомобилей увеличилось до 11. Среди них: Lexus RX

450h, GS 450h, LS 600h L, CT 200h; Mersedes S400, ML 450; BMW Active Hybrid 7, X6; Toyota Prius; Porsche Hybrid RS; Cadillac Escalade Hybrid. Темпы роста числа официально продаваемых в России гибридных автомобилей растут.

В планах отечественных производителей – начать производство автомобилей с ГСУ. Ведутся испытания перспективных моделей автомобиля ВАЗ с ГСУ, работающей по параллельной схеме, причем передние ведущие колеса приводят в действие ДВС и электромотор, задние – только электромотор.

К сожалению приостановлены разработки планируемого к началу 2012 года гибридного автомобиля компании «Ё-авто» с ГСУ последовательной схемы.

В табл. (Приложение 1) представлена статистическая информация по продажам новых гибридных автомобилей в отдельных странах и во всем мире.

Таким образом, согласно собранным данным, за 17 лет существования гибридных технологий в мире было продано более 6 млн. автомобилей с ГСУ. При этом динамика продаж является устойчивой и имеет тенденцию к росту.

На основании табл. 1 (приложение 1) построен график изменения количества проданных гибридных автомобилей в разрезе отдельных стран и по всему миру (рис. 1).

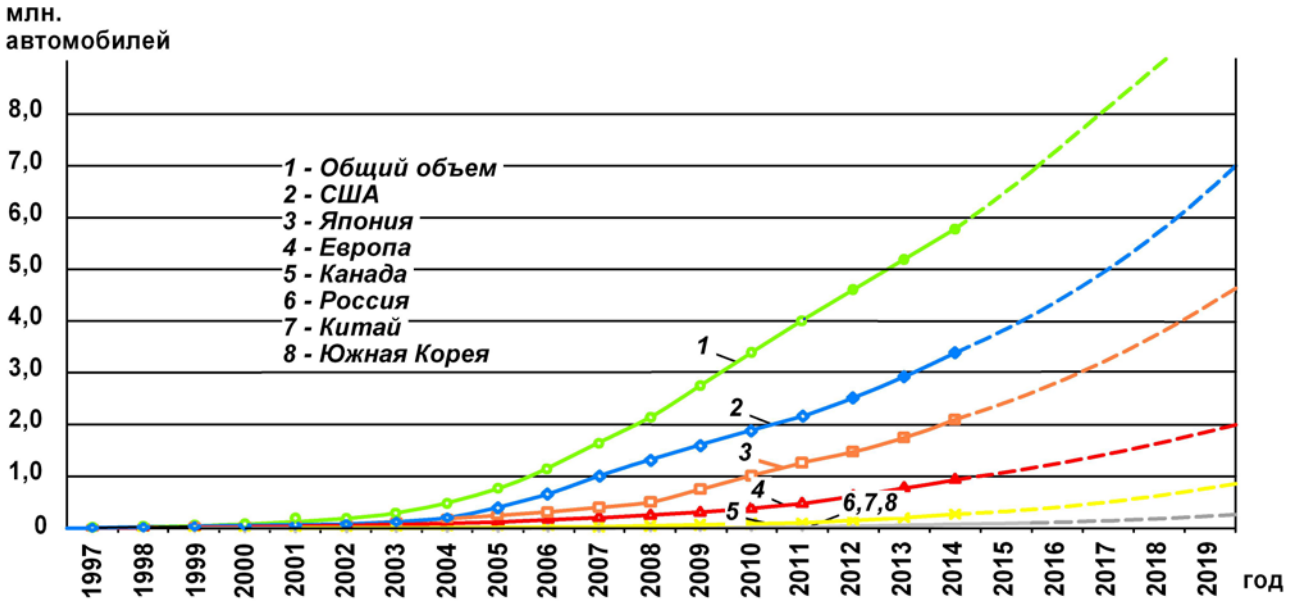



**Рис. 1. Статистика продаж гибридных автомобилей по странам и всему миру с прогнозом развития до 2020 года**

Из графика следует, что темпы роста численности мирового автопарка гибридных автомобилей в количественном выражении увеличиваются: каждые 5 лет примерно на 3 млн. шт. С учетом существующих тенденций к 2015 году автопарк гибридных автомобилей может достичь 7 млн. шт. При этом ежегодные продажи гибридов будут составлять около 10% от общего числа всех продаваемых в мире автомобилей.

На рис. 2 представлена диаграмма распределения мирового автопарка гибридных автомобилей по маркам и моделям.

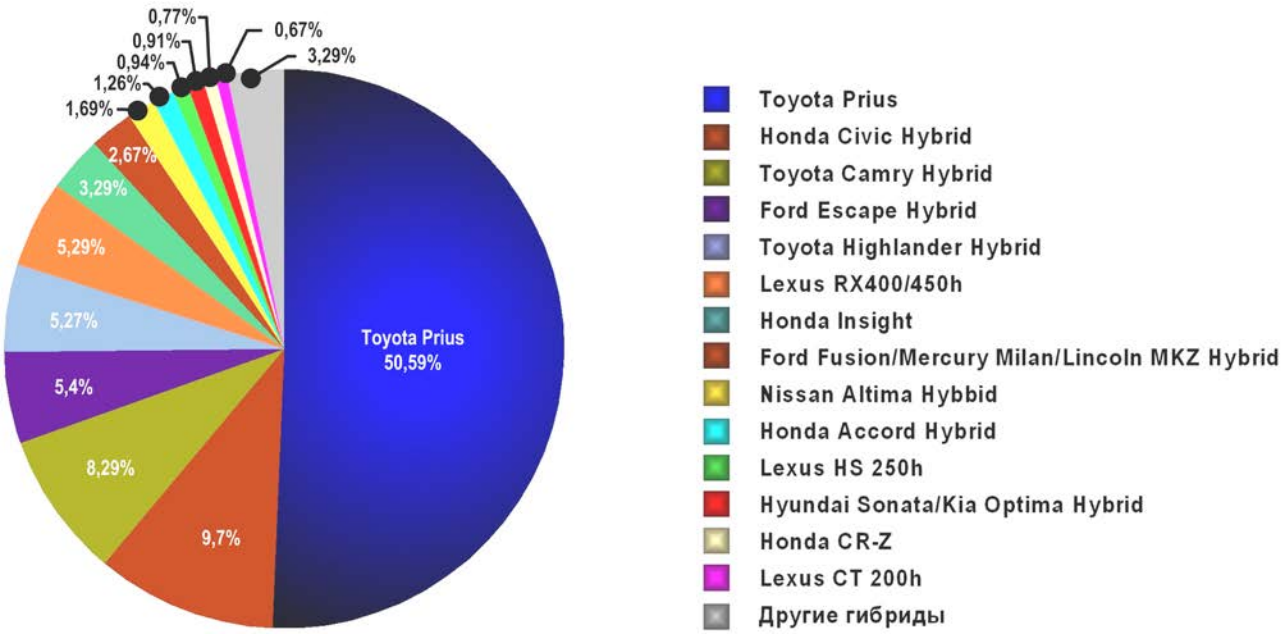



**Рис. 2. Распределение автопарка гибридных автомобилей по маркам и моделям (по часовой стрелке, начиная с Toyota Prius)**

Таким образом, доля автомобилей с ГСУ смешанного типа достигает 80% от всех гибридных автомобилей.

Наиболее распространенным гибридным автомобилем во всем мире на сегодняшний день является модель Prius компании Toyota, занимающая более 50% автопарка. В настоящее время его стоимость в США составляет 19-24 тыс. долл., в России – примерно 1,2 млн. руб., из них примерно 400 тыс. руб. – это таможенная пошлина. Самым доступным серийным гибридным автомобилем в мире является Honda Fit, его стоимость в Японии составляет 18,6 тыс. долл.

Основными преимуществами гибридных автомобилей, способствующими их распространению, по мнению самих покупателей, являются:

*1. Низкий расход топлива при эксплуатации в городском режиме движения и экологичность автомобиля.* Установлено, что средний расход топлива гибридных легковых автомобилей составляет 6,5 (4,8) л / 100 км в городском (загородном) режиме движения. Для полноприводных гибридных автомобилей 10,6 (7,6) л/100 км (Приложение 2).

*2. Стремление к передовым технологиям будущего.* Большинство покупателей приобретают гибридные автомобили из-за стремления использовать передовые технологии автомобилестроения. Конструкцию ГСУ, кардинально отличающуюся от традиционной силовой установки, можно назвать таковой.

*3. Ходовые характеристики и высокий комфорт:*

- динамика разгона улучшается благодаря тому, что электродвигатели развивают максимальный крутящий момент из состояния покоя;
- гибридная трансмиссия всегда имеет бесступенчатое или автоматическое переключение передач, что удобно для движения в городском режиме;
- как правило, гибридные автомобили имеют широкий набор опций в стандартных комплектациях, таких как: навигационная система, климатиче-

ская установка, передние и задние подушки безопасности, автоматическое включение фар и стеклоочистителей, электроусилитель руля, антипробуксовочная система, система курсовой устойчивости, безключевой доступ в салон, опции для зимней эксплуатации и др.

- подвеска гибридного автомобиля более комфортна, т.к. масса неподрессоренных элементов кузова уменьшена, что стало возможным благодаря применению рекуперативного торможения, снимающего до 80% нагрузки на фрикционные тормозные механизмы.

*4. Высокая надежность.* Исследования эксплуатационной надежности позволили определить закономерности изменения технического состояния гибридного автомобиля Toyota Prius. Вероятность проявления любой неисправности гибридной трансмиссии среди исследуемой выборки гибридных автомобилей к пробегу 100 тыс. км. составляет всего лишь 15%. Для сравнения: у силовой установки типичного автомобиля эта величина к тому же пробегу приближается к 100%. Срок службы дорогостоящих элементов гибридной трансмиссии составляет 8-10 лет. Большая часть гибридных автомобилей, выпущенных до 2000 года, эксплуатируется без серьезных неисправностей. Отказы высоковольтной батареи ГСУ возникают в основном из-за неправильной эксплуатации автомобиля, например езда без бензина. Отказы по причине старения очень редки.

Проблемы, препятствующие распространению гибридных автомобилей:

*1. Стоимость* высоковольтной батареи, инвертора и электромоторов-генераторов силовой установки увеличивают стоимость автомобиля на 30%.

*2. Техническое сопровождение эксплуатируемых гибридных автомобилей со стороны ведущих автопроизводителей в настоящее время недостаточно организовано.* В результате инженерно-технический персонал станций технического обслуживания не располагает возможностями для проведения качественного обслуживания и ремонта. К тому же трудности, возникающие в эксплуатации гибридных автомобилей, снижают интерес к ним покупателей, что неизбежно замедляет обновление мирового автомобильного парка современными моделями транспортных средств.

Но все же, как выяснилось, несмотря на высокую стоимость, слабо развитую инфраструктуру автопарк гибридных автомобилей во всем мире только расширяется. Этому способствует значительное повышение стоимости топлива (за 1 литр бензина марки «Super» – аналога нашему Аи-95, в Германии нужно заплатить 1,61 евро, во Франции –1,54 евро), а также государственные программы улучшения экологической обстановки в крупных городах. Так в транспортной стратегии Евросоюза делается акцент на постепенно снижение потребления нефтяного топлива, а к 2050 году – введение полного запрета на использование бензина. Для этого уже сегодня разрабатывается ряд мер в пользу поддержки гибридных и электрических автомобилей, в табл. 1 приведены основные из них, применяемые правительствами разных стран мира.

Как следует из табл. 1, каждая из стран активно стимулирует развитие собственного производства гибридов инвестиционной поддержкой, покупку гибридных автомобилей – налоговыми и законодательными мерами.

В заключение отметим перспективы развития парка гибридных автомобилей в России. «Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2020 года» предусматривает соответствие транспорта современным требованиям экологичности и энергоэффективности на долгосрочную перспективу.

Таблица 1

Основные меры государственного стимулирования и поддержки производства и покупки более экономичных автомобилей

| Страна | Меры |
|---|---|
| **США** | • Субсидирование покупки нового автомобиля, при сдаче старого автомобиль на утилизацию. Размер субсидии зависит от разницы между расходом топлива старого и нового автомобиля и составляет от 400 до 4500 долл.<br>• Гранты на развитие инфраструктуры производства комплектующих для гибридных автомобилей и электромобилей<br>• Образовательные гранты на подготовку рабочего персонала, необходимого для производства гибридных автомобилей. |
| **Япония** | • Субсидии на покупку нового гибридного автомобиля или электромобиля. |
| **Франция** | • Субсидия на покупку нового гибридного автомобиля или электромобиля.<br>• Субсидии ЕС на исследования и разработку экологичных автомобилей. |
| **Германия** | • Законодательные меры. Так, например, если в семье есть второй автомобиль, то он должен иметь высший класс экологической безопасности, т.е. быть гибридным или полностью электрическим. |
| **Великобритания** | • Гранты на развитие инфраструктуры производства экологичных автомобилей.<br>• Субсидии на покупку нового гибридного автомобиля или электромобиля. |
| **Китай** | • Субсидии при покупке нового гибридного автомобиля. |
| **Россия** | • Акцизное регулирование в зависимости от максимальной мощности двигателя.<br>• Гранты на научные исследования в области создания энергоэффективных двигателей и движителей для транспортных средств.<br>• Гранты на разработку и создание гибридных силовых установок и их комплектующих. |

С 1 января 2014 году в России введен экологический стандарт «Евро-5», он касается как производимых на территории страны автомобилей, так и ввозимых из других стран. В новом «Техническом регламенте о безопасности колесных транспортных средств» все типы силовых установок подразделяются на: ДВС, ГСУ и электродвигатели. Опубликован ГОСТ Р ЕН 1986-2011 «Автомобили с электрической тягой», регламентирующий порядок измерения

энергетических характеристик гибридных и электрических транспортных средств.

На развитие технологии создания ГСУ отечественными автомобильными производителями выделяются немалые средства, созданы опытные образцы, проведены испытания.

Однако существующих мер государственной поддержки явно не достаточно. Можно утверждать, что на данный момент времени серийного производства гибридных автомобилей в России нет. Безусловно, сложившаяся ситуация неблагоприятна для российского автопрома и открывает дорогу более сильным и развитым иностранным автопроизводителям. Но, несмотря на это, возможность побороться за рынок продаж гибридных автомобилей есть и у отечественных производителей. Этому могут способствовать такие меры государственной поддержки, как:

● стимулирование производства автомобилей с энергоэффективными двигателями – за счет установления акцизного налога по критериям, учитывающим, не только максимальную мощность двигателя, но его тип и нормативный расход топлива;

● стимулирование приобретения новых гибридных автомобилей – за счет частичного субсидирования их покупки со стороны государства;

● стимулирование текущей эксплуатации автомобилей с энергоэффективным двигателем – за счет дифференцированных ставок транспортного налога, учитывающего экономичность автомобиля и общее количество расходуемого им топлива.

## 1.2. Оценка объемов продаж автобусов с ГСУ
## Гибридные автобусы США

Создание гибридных автобусов является мировой тенденцией в автомобилестроении. Наиболее активно над созданием гибридных силовых установок для автобусов работают североамериканские производители, такие как Allison Transmission, Azure Dynamics в сотрудничестве с крупными энергетическими компаниями и национальными лабораториями EPRI, General Electric, NREL, INEEL, ISE Research.

Ссылки на серийно выпускаемые гибридные автобусы:

- Коммерческий автомобиль малой грузоподъемности американской компании Azure Dynamics. Объем производства 500 шт. в год. – Режим доступа: http://www.azure-dynamics.com/products/default.htm;

- Длинномерный пассажирский автобус с гибридной силовой установкой, выпущенный национальной американской лабораторией NREL совместно с компанией Allison Transmission. Разработан опытный образец. – Режим доступа: http://www.-nrel.gov/vehiclesandfuels/fleettest/pdfs/40585.pdf;

- Автобус с гибридной силовой установкой американской компанией ISE совместно с Siemens. Произведено около 300 гибридных систем. – Режим доступа: http://-www.isecorp.com/hybrid-systems;

- Гибридный привод для автобусов американской компании Eaton. Разработан опытный образец. – Режим доступа: http://www.russianelectronics.ru/developer-r/review/4-0498/doc44113.phtml;

- Грузовые автомобили и автобусы с гибридной силовой установкой американской компании Enova. Произведено около 2500 шт. – Режим доступа: http://www.enovas-ystems.com/home.html.

## Гибридные автобусы в Европе

Европейские производители отстают от американских компаний по коммерческому внедрению автобусов с гибридным приводом, несмотря на то что исследовательские проекты подобной тематики были начаты в Европе довольно давно. В настоящее время лидером по внедрению гибридных автобусов является Великобритания и, в частности, г.Лондон, власти которого планируют с 2012 г. пополнять городской автобусный парк только машинами с ГСУ.

К коммерческому производству гибридных автобусов и схем электропривода готовятся такие крупные европейские производители транспортной техники, как Mercedes, MAN, KirschBuss (Германия); Scania и Volvo (Швеция). Работы идут при финансовой поддержке правительств этих стран. MAN в сотрудничестве с Siemens A&D, используя последовательную схему гибридного привода с суперконденсаторами в качестве накопителей энергии, модифицировала серийный автобус MAN Lion’s City, а Scania создает модификацию автобуса OmniLink на основе гибридной схемы Voith (Австрия) и суперконденсаторов Maxwell (США).

Ссылки на серийно выпускаемые гибридные автобусы:

- Пассажирский автобус с гибридной силовой установкой британской компании BAE Systems. Разработан опытный образец. – Режим доступа: http://www.russia-nelectronics.ru/developer-r/review/40498/doc44113.phtml;

- Автобус с гибридной силовой установкой австрийской компании Voith. Разработан опытный образец. – Режим доступа: http://autoline.com.ua/-news.php?code=1085756103;

- Гибридный привод для автобусов и грузовых автомобилей GM, совместно с компанией Allison Transmission. Серийное производство. – Режим доступа: http://www.allisontransmission.com/servlet/DownloadFile?Dir=publications/ pubs& FileToGet=SA3577EN.pdf.

## Гибридные автобусы в Китае

Гибридный автомобиль BYD F3DM

Данный автомобиль оснащается электромотором и бензиновым двигателем объемом 1 л. Суммарная мощность обоих составляет 167 л.с. При этом мощность двигателя внутреннего сгорания составляет всего 67 л.с.

Двигательная установка BYD F3DM Hybrid способна функционировать в двух режимах: на бензиновой топливе либо в гибридном режиме, используя и

работу аккумуляторов. Также на автомобиле установлен новый тип генератора и система контроля над работой двигателя. В автономном режиме модель BYD F3DM Hybrid может проехать до 100 км. Комбинированная система является собственной разработкой компании BYD, которая является на сегодняшний день одним из крупнейших в мире производителей аккумуляторных батарей.

BYD подчеркивает, что его инновационные батареи заряжаются на 50% всего за 10 минут. Чтобы полностью перезарядить агрегат, необходимо оставить автомобиль, подключенным к обычной розетке на 7 часов. На специально оснащенной станции BYD полная зарядка длится примерно 3 часа. Батарей гибрида F3DM должно хватить на 600 000 км пробега, или примерно на 10 лет.

В Москве появились первые гибридные автобусы. Они были подарены китайской компании Foton Motor. Это два экологически чистых автобуса Euro V Hybrid.

По информации производителя это транспортное средство расходует всего 29 л топлива на 100 км, значительно сокращая потребление масла и выбросы выхлопных газов в атмосферу. Принимал такие дорогостоящие подарки (стоимостью одного гибридного автобуса составляет около 13,8 млн. рублей ) лично мэр Москвы Юрий Лужков. Он выразил уверенность, что эти автобусы внесут свой вклад в охрану окружающей среды города.

Отметим, что в Пекине гибридный общественный транспорт - привычное дело. В китайской столице эксплуатируется около тысячи гибридных автобусов. По словам мэра Пекина Гуо Цзилона, использование такого вида транспорта позволило добиться значительного сокращения загрязнений.

### 1.3. Зарождение производства автомобилей с ГСУ в России

Одной из основных задач государства является защита окружающей среды и снижение вредного воздействия отходов промышленности и автотранспортного комплекса на здоровье населения. Статистика свидетельствует, что основной показатель качества жизни населения, определяемый продолжительностью жизни, непосредственно связан с выбросами автопарка. Проблема снижения выбросов вредных веществ автотранспортом наиболее актуальна для городов.

Мониторинг воздушных бассейнов крупных городов показывает, что основную долю в выбросах вредных веществ занимают выбросы автомобильного транспорта, в частности, в г. Москве выбросы автотранспорта составляют почти 90% от общего уровня загрязнения. Такая ситуация в основном связана с высокой концентрацией автомобилей в зонах с ограниченным воздухообменом и большой плотностью застройки. Кроме этого, ограниченная пропускная способность дорог обуславливает работу двигателей автотранспортных средств на режимах минимальной эффективности с постоянно чередующимися циклами разгона и торможения. Такой цикл движения приводит к значительному ухудшению топливной экономичности и увеличению уровня выбросов вредных веществ.

Самым значимым для внедрения новых экологически совершенных силовых установок является такой сектор автомобильного парка, как автобусы и грузовые автомобили. По уровню выбросов их доля составляет до 70 - 80 %.

Автопроизводители ведущих стран (Япония, Германия. США) в настоящее время инициируют развертывание государственных программ, направленных на перевод, в среднесрочной перспективе, большей части автотранспортной техники на использование комбинированных энергоустановок. Данного типа энергоустановки способны обеспечивать работу двигателя внутреннего сгорания (ДВС) на режимах его наибольшей эффективности. Применение буферного накопителя энергии позволяет ДВС работать в независимости от текущего режима нагрузки и тем самым обеспечить работу ДВС на его самых благоприятных режимах и движение на отдельных участках полностью без выбросов вредных веществ.

## Наиболее крупные проекты, реализуемые при поддержке государства

Государственное стимулирование в области разработки и внедрения энергоэффективных двигателей реализуется через федеральные программы министерства промышленности и торговли, министерства образования и науки, государственных корпораций и государственных фондов. Основная доля выполняемых работ принадлежит ведущим российским научно-исследовательским организациям.

**1. НИОКР «Разработка конструкторской и технической документации на компоненты гибридных силовых установок с СГУ для автотранспортной техники, производимой ОАО «АвтоВАЗ», ОАО «ГАЗ» и ОАО «УАЗ». Изготовление макетного образца гибридной силовой установки с СГУ» -2009 год.**

Целью работы является разработка конструкторской и технической документации на компоненты гибридных силовых установок с СГУ для автотранспортной техники, производимой ОАО «АВТОВАЗ», ОАО «ГАЗ» и ОАО «УАЗ», и изготовление макетного образца гибридной силовой установки с СГУ в целях реализации важнейшего инновационного проекта «Создание и организация производства автотранспортных средств полной массой до 3,5 тонн со стартер - генераторным устройством».

Задачей работы является обеспечение создания конкурентоспособных, готовых к внедрению в производство автомобильных платформ для автотранспортной техники, производимой ОАО «АВТОВАЗ», ОАО «ГАЗ» и ОАО «УАЗ» с полной массой до 3,5 тонн на базе гибридной силовой установки, (состоящий из двигателя внутреннего сгорания и стартер-генераторного устройства) с уровнем выброса вредных веществ, обеспечивающих соответствие требованиям ЕВРО-5 и пониженным на 20-25% расходом топлива.

Объём финансирования всего 80 млн. рублей – бюджетные средства, привлечение внебюджетных средств - не менее 12 млн. рублей.

Ведущая организация, производящая работы по тендеру, – «АвтоВАЗ».

**2. НИОКР «Изготовление опытной партии автотранспортных средств на базе существующей транспортной техники, производимой ОАО «АвтоВАЗ», ОАО УК Группа «ГАЗ» и ОАО «СОЛЛЕРС» с полной массой до 3,5 тонн, оснащенных гибридными силовыми установками» - 2009 год.**

Целью работы является разработка и изготовление опытной партии автотранспортных средств на базе существующей транспортной техники, производимой ОАО «АвтоВАЗ», ОАО УК Группа «ГАЗ» и ОАО «СОЛЛЕРС» с полной массой до 3,5 тонн, оснащенных гибридными силовыми установками ШИФР АВТ-10-021 в целях реализации важнейшего инновационного проекта «Создание и организация производства автотранспортных средств полной массой до 3,5 тонн со стартер - генераторным устройством».

Задачей работы является обеспечение создания конкурентоспособных, готовых к внедрению в производство технологий для автотранспортной техники производства ОАО «АВТОВАЗ», ООО «УК «Группа ГАЗ» и ОАО «Соллерс» с полной массой до 3,5 тонн на базе гибридной силовой установки, состоящей из двигателя внутреннего сгорания, стартер-генераторного устройства и других компонентов, обеспечивающей соответствия удельных выбросов отработавших газов требованиям ЕВРО-5 и пониженным на 20-25% расходом топлива по сравнению с аналогичными АТС без СГУ.

Объём финансирования всего 180 млн. рублей – бюджетные средства, привлечение внебюджетных средств - не менее 180 млн. руб.

Ведущая организация, производящая работы по тендеру, – «АвтоВАЗ».

**3. НИОКР «Разработка технического проекта на коммерческие средне-размерные автотранспортные средства на базе ресурсосберегающих и экологически чистых комбинированных энергоустановок. Создание макетного образца модульного силового агрегата» ШИФР «КД Олимпиада» в рамках прикладных научных исследований и разработок - 2010 год.**

Целью работы является разработка технического проекта и макетных образцов, необходимых для проведения первой очереди работ по организации производства образцов (не менее 2 образцов разного назначения, учитывая универсальность платформы) коммерческих среднеразмерных автотранспортных средств с интегрированными энергоэффективными, обеспечивающими перспективные нормы на выбросы вредных веществ комбинированными энергоустановками на базе ДВС, для снижения вредного воздействия отработавших газов автотранспортных средств на окружающую среду, улучшения качества жизни населения, экономии природных ресурсов и освоения прорывных технологий энергетики.

Задачами проекта является разработка технического проекта с использованием современных средств 3-мерного проектирования (например (CATIA), для автоматизированного процесса технологической подготовки производства, дающего полное представление о конструкции и постановке на производство, коммерческих среднеразмерных автотранспортных средств на базе ресурсо-

сберегающих и экологически чистых комбинированных энергоустановок, и оборудованных комплексными интеллектуальными системами управления и безопасности.

Объём финансирования: всего 180 млн. рублей – бюджетные средства, привлечение внебюджетных средств - не менее 30 млн. руб.

Ведущая организация, производящая работы по тендеру, – НАМИ.

**Проекты, реализуемые за счёт отраслевых предприятий**

На данный момент в России не существует серийного производства автомобилей с гибридным двигателем, но есть попытки создания серийных образцов.

1. К 2012 году планировалось начало серийного производства гибридного автомобиля «Ё-мобиль» компании «Ё-авто» под руководством Михаила Прохорова. Разработаны 3 типа кузовов: кросс-купе (спортивный); микровэн (семейный); фургон (грузовой). Автомобиль приводился в действие комбинированной силовой установкой с последовательной схемой привода на 2 электромотора, каждый мощностью по 15 кВт. В качестве первичного источника энергии планировалось использовать роторно-лопастной газовый двигатель мощностью 45 кВт, но данная технология так и не была доведена до серийного производства. Вторичным источником энергии служил сверхвысокоёмкий конденсатор производства ЗАО «Элтон». Все работы над проектом были приостановлены в 2014 году.

2. Группа компаний «ГАЗ» совместно с концерном «РУСЭЛПРОМ» разработала и изготовила гибридный автобус Лиаз-5292 с последовательной схемой привода. Первичным источником энергии служит газовый двигатель ЗМЗ-40529.10, вторичным - комплект сверхвысокоёмких конденсаторов MAXWELL.

Ссылка на опытный образец. – Режим доступа: http://hybrid.ruselprom.ru/hybrid_rus.html.

3. ЭКОБУС «Тролза-5250» разработан на базе серийно выпускаемой модели и оборудования низкопольного троллейбуса «Тролза-5265». В качестве энергоустановки применен микротурбинный генератор Capstone, мощностью 65 кВт с воздушным охлаждением. Малые габаритные размеры и масса микротурбогенератора и его преобразователей напряжения позволили сохранить низкий пол по всему салону автобуса и установить оборудование для работы на сжатом или сжиженном природном газе, что было бы невозможно при использовании другого типа силовой установки.

Особенности конструкции автобуса Тролза-5250 «ЭКОбус»
На автобусе установлен газотурбинный электроагрегат CAPSTONE C65 HEV, состоящий из турбодвигателя, использующего в качестве топлива КПГ, и генератора постоянного тока мощностью 65 кВт (напряжение 500-700 Вт. ток до 300 А, КПД установки 28%). Производитель - фирма “Capstone Turbine Corporation” (США). Использован тяговый асинхронный двигатель мощно-

стью 120 кВт, напряжение 380 В, производство – «Владимирский электромоторный завод).

Накопители энергии электрохимические (конденсаторы) «ЭЛТОН» г. Троицк; Электронные системы управления электродвигателем и программное обеспечение ООО «Чергос» (г. Санкт-Петербург).

Для хранения КПГ используется 6 металлокомпозитных баллонов с алюминиевым лейнером производства Ижевского ООО «Реал-Шторм», объёмом по 123 литра каждый.

В России также ведутся разработки современных тяговых приводов для автотранспорта. Научные работы подобной тематики выполняются ГНЦ РФ ФГУП «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт», НП «Росэлектротранс», кафедрами ГОУ ВПО «Московский энергетический институт (Технический университет)», ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», ГОУ ВПО «Московский инженерно-физический институт (Национальный исследовательский ядерный университет)» (МИФИ), ряд научно-производственных предприятий и организаций.

## 1.4. Оценка автопарка автомобилей с ГСУ эксплуатируемых в России

В данной главе представлены результаты информационного поиска в рамках темы исследования. ГОСТ 15.101-98 Порядок выполнения НИР [87] не регламентирует методы и способы получения необходимой информации при информационном поиске, поэтому использованы возможности поисковых интернет-ресурсов и информация из базы данных негосударственной станции технического обслуживания HYBRIDs.ru [78], технические документальные отчёты департамента энергетики США [99] и др. источники. Использована информация об имеющихся предприятиях проектирования, производства и обслуживания автомобилей с ГСУ других стран [102,107,101,109]. В нашей стране существует Государственная система научно-технической информации (ГСНТИ), в других странах используют сети информационных служб, собирающие и обрабатывающие первичные документы, и издающие вторичные документы. В работе также использованы документы ГСНТИ и поисковые информационные системы других государств.

Анализ проведён на основании поисковых запросов по ключевым словам в поисковой системе Яндекс [80].

Поисковая система Яндекс – самый распространённый поисковый интернет ресурс в Российской Федерации (месячная аудитория составляет более 27 млн. пользователей). Рейтинг популярности запросов пользователей интернета за последний месяц в Российской Федерации представлен ниже (табл. 2).

Большинство запросов по ремонту автомобилей с ГСУ связаны маркой Toyota Estima (124 запросов; 47%), остальные относятся к автомобилю марки Toyota Prius (85 запросов, 32%;), запросы по другим типам автомобилей при-

сутствуют в незначительной степени. Лидируют в данном рейтинге автомобили с силовой установкой смешанного типа компании Toyota. Наибольшая потребность в ремонте вызвана значительной ограниченностью технических центров для ремонта и большим периодом эксплуатации (1998-2014 гг.).

Таблица 2

Запросы по ремонту автомобилей с ГСУ за месяц на 20.09.2014

| № п/п | Марка автомобиля | Число запросов | Относительная доля, % |
|---|---|---|---|
| 1 | Toyota Prius | 85 | 32 |
| 2 | Honda Civic Hybrid | 17 | 6 |
| 3 | Ford Escape Hybrid | 2 | 1 |
| 4 | Lexus GS 450h | 1 | 0 |
| 5 | Lexus RX 400h | 12 | 5 |
| 6 | Lexus LS 600h L | 2 | 1 |
| 7 | Honda Insight | 13 | 5 |
| 8 | Toyota Camry Hybrid | 1 | 0 |
| 9 | Toyota Estima | 124 | 47 |
| 10 | Toyota Highlander Hybrid | 8 | 3 |
| 11 | Chevrolet Volta | 0 | 0 |
| 12 | Mercedes-Benz S-400 Hybrid | 0 | 0 |
| 13 | BMW X6 ActiveHybrid | 0 | 0 |
| 14 | BMW 7-Series Limousine ActiveHybrid | 0 | 0 |
| | Всего | 265 | 100 |

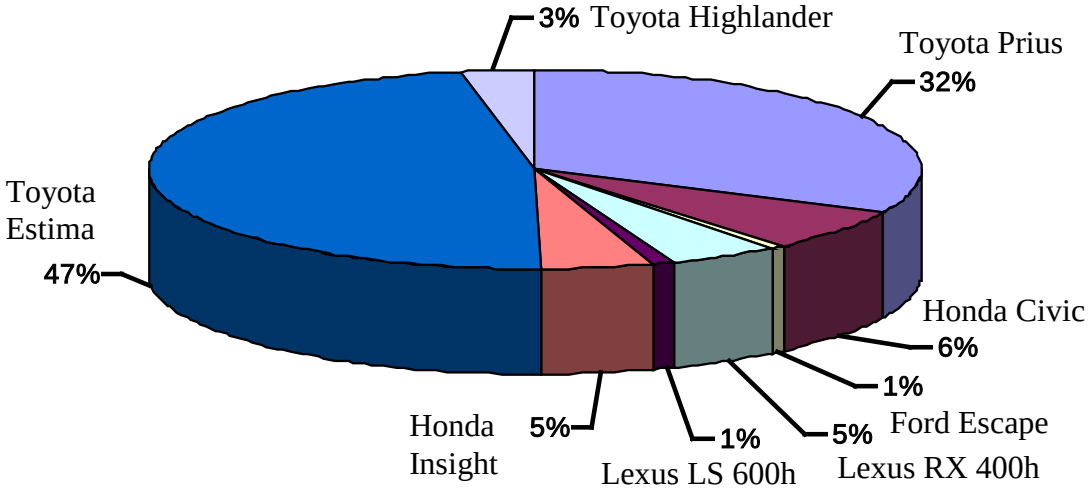



**Рис. 3. Поисковые запросы по фразам «ремонт гибридных автомобилей» в поисковой системе Яндекс**

Другие типы автомобилей с ГСУ появились в РФ гораздо позже, их число не велико, некоторые обслуживаются в сервисной сети официальных представителей, поэтому по данному виду поиска запросы отсутствуют. Для получения более полной картины о состоянии рынка эксплуатируемых автомоби-

лей с ГСУ целесообразно проанализировать статистику запросов по маркам и предложения по продаже.

Согласно запросу по фразам, связанным с маркой автомобиля, составлен рейтинг популярности разных типов автомобилей с ГСУ (табл. 3) за сентябрь 2014 года.

Таблица 3

Запросы по фразам, связанным с названиями моделей

| Марка автомобиля | Число запросов | Относительная доля, % |
|---|---|---|
| 1. Ford Escape Hybrid | 315 | 0,8 |
| 2. Lexus GS 450h | 232 | 0,6 |
| 3. Lexus RX 400h | 349 | 0,8 |
| 4. Lexus LS 600h L | 52 | 0,1 |
| 5. Honda Civic Hybrid | 1537 | 3,7 |
| 6. Honda Insight | 17995 | 43,1 |
| 7. Toyota Camry Hybrid | 391 | 0,9 |
| 8. Toyota Estima | 220 | 0,5 |
| 9. Toyota Highlander Hybrid | 288 | 0,7 |
| 10. Chevrolet Volta | 0 | 0,0 |
| 11. Toyota Prius | 20272 | 48,6 |
| 12. Mercedes-Benz S-400 Hybrid | 7 | 0,0 |
| 13. BMW X6 ActiveHybrid | 52 | 0,1 |
| 14. BMW 7-Series Limousine ActiveHybrid | 0 | 0,0 |
| Всего | 41710 | 100 |

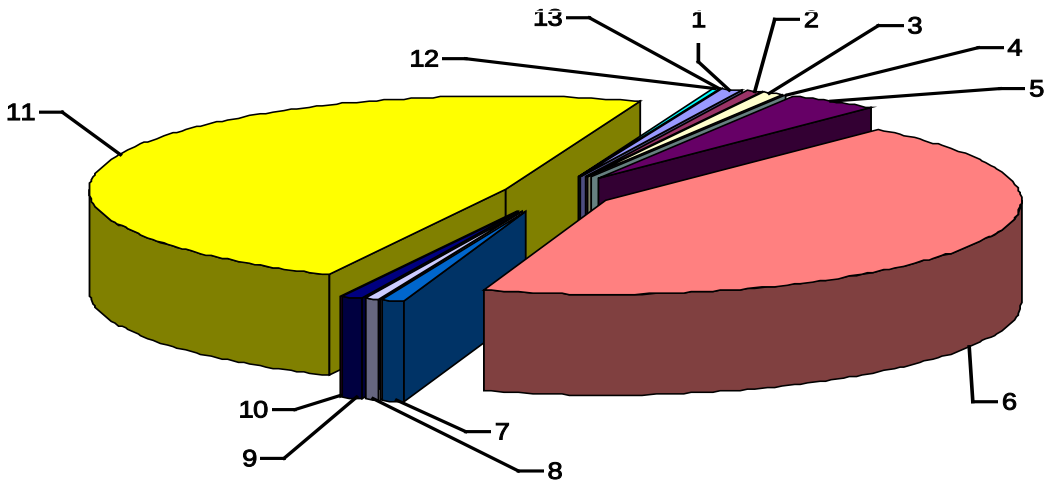



**Рис. 4. Диаграмма распределения поисковых запросов по маркам (в последовательности, указанной в таблице 3)**

В данном рейтинге наибольшая часть поисковых запросов (75%; 17432) связана с моделью Toyota Prius, остальные автомобили имеют меньшую значимость в рейтинге.

Для оценки рынка подержанных автомобилей произведён анализ предложений на сайте http://auto.ru [65]. Данный вид анализа основан на анкетах людей и организаций с указанием их контактного телефона, предлагающих приобрести автомобиль с пробегом, и возможностях поисковой системы. Поисковая система позволяет производить отбор по параметру «Тип двигателя – гибридный», по географическому отбору - вся территория РФ. Полученные данные проверены на предмет ошибок, например: неправильно указан тип двигателя - результат не учитывается.

Все предложения по продаже подержанных автомобилей с ГСУ по данным сайта http://auto.ru за сентябрь 2014 года представлены в табл. 4.

Таблица 4

Предложения по продаже подержанных гибридных автомобилей

| **Марка автомобиля** | **Число предложений** | **Относительная доля** |
|---|---|---|
| 1. Ford Escape Hybrid | 7 | 0,6 |
| 2. Lexus GS 450h | 55 | 4,6 |
| 3. Lexus RX 400h (450h) | 168 | 14,0 |
| 4. Lexus LS 600h L | 14 | 1,2 |
| 5. Honda Civic Hybrid | 12 | 1,0 |
| 6. Honda Insight | 44 | 3,7 |
| 7. Toyota Camry Hybrid | 6 | 0,5 |
| 8. Toyota Estima | 6 | 0,5 |
| 9. Toyota Highlander Hybrid | 13 | 1,1 |
| 10. Chevrolet Volta | 1 | 0,1 |
| 11. Toyota Prius | 862 | 71,9 |
| 12. Mercedes-Benz S-400 Hybrid | 6 | 0,5 |
| 13. BMW X6 ActiveHybrid | 5 | 0,4 |
| 14. BMW 7-Series Limousine ActiveHybrid | 2 | 100 |
| Всего: | 1199 | 100% |

Результаты анализа по данным сайта http://auto.ru несколько отличаются. Наиболее распространённым является автомобиль марки Toyota Prius (862 предложения; 71,9% от общего числа), на втором месте среди продаваемых автомобилей с пробегом, находится кроссовер марки Lexus RX 400h (168 предложений; 14% от общего числа).

В результате проведённого анализа рынка автомобилей с ГСУ наибольший интерес представляет модель Toyota Prius, именно она является наиболее распространённой среди других представленных автомобилей с ГСУ, с этой точки зрения обращения по обслуживанию и ремонту будут в первую очередь

по этой модели [101]. По данным табл. 4 и рис. 5, число предложений по автомобилям марки Lexus также значительно, что объясняется их популярностью, и через 3-5 лет количество и спрос на обслуживание этих автомобилей может возрасти.

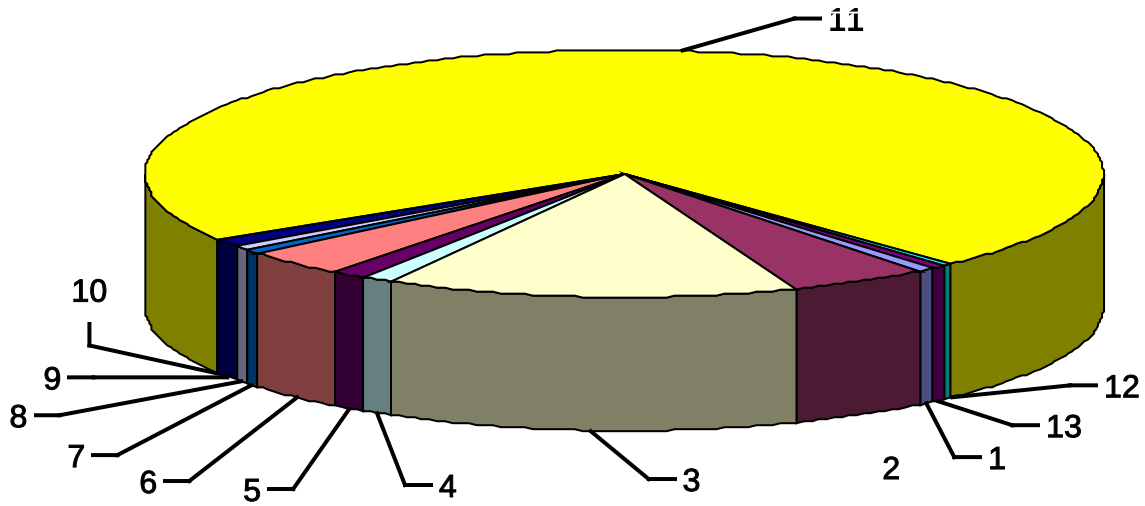



**Рис. 5. Распределение рынка подержанных гибридных автомобилей в РФ по данным сайта http://auto.ru на 29.09.14 (в последовательности, указанной в табл. 4)**

Данные статистические исследования не говорят об общей численности интересуемых автомобилей с ГСУ, а лишь показывает долю каждого из общего их числа, что достаточно для постановки выводов.

Число предложений по продаже автомобилей марки Ford Escape Hybrid в последнее время уменьшилось, что можно связать с приостановкой их производства в США . С учётом того, что официальные дилерские центры не занимаются продажей, а срок их эксплуатации в РФ достаточно велик, продолжает увеличиваться, и в ближайшие несколько лет могут возникнуть такие же трудности, как и с моделью Toyota Prius.

Согласно рейтингу популярности моделей и данным сайта http://auto.ru имеется малочисленный рынок автомобилей Honda Civic Hybrid, Honda Insight, Toyota Camry Hybrid, Toyota Estima Hybrid, Toyota Highlander Hybrid, их число пока незначительно, что может являться причиной позднего появления на рынке и отсутствием поддержки официальных дилеров в обслуживании этих автомобилей.

Таким образом, наибольшую часть автопарка автомобилей с ГСУ составляют модели Prius компании Toyota, что обуславливает наличие большего числа проблем, возникающих при их эксплуатации и обслуживании на территории РФ. Сюда также относятся автомобили, имеющие силовую установку компании Toyota. Анализ конструкции и технические характеристики автомобилей с ГСУ представлены в главе 2.

По результатам оценки автомобильного парка страны на сентябрь 2014 года в эксплуатации находятся легковые автомобили с ГСУ 16 различных модификаций (включая модернизированные и переходные модели). Сводная таблица характеристик основных элементов привода представлена в прил. 1.

Данные по расходу топлива приведены для идеальных условий без учета влияния манеры вождения, используемого топлива, режима движения, маршрута, массы автомобиля в снаряженном состоянии, дорожных, погодных и прочих условий, влияющих на расход топлива.

Большинство автомобилей с ГСУ в РФ не продавались официально, а ввезены из других стран и, соответственно, они не имеют поддержки производителя. Это приводит к возникновению проблем с обслуживанием. Среди эксплуатируемых автомобилей большая часть имеет ГСУ смешанного типа, разработанную компанией Toyota, (Toyota Prius, Toyota Estima Toyota Camry, Toyota Highlender, Lexus RX 400h, Ford Escape Hybdid (по лицензии Toyota)). Отличную конструкцию с параллельной схемой ГСУ имеют автомобили Honda, Mercedes, BMW. Силовая установка автомобиля марки Шевролет Вольт имеет последовательную схему с блокировкой валов двигателя и трансмиссии при движении со скоростью более 100 км/ч. Согласно техническим характеристикам все типы автомобилей с ГСУ имеют синхронные электромоторы и генераторы на постоянных магнитах (Electric motor with permanent magnets). Автомобили Mercedes-Benz S-400 Гибрид, BMW 7-Серия Лимузин Актив Гибрид, Шевролет Вольт имеют литий-ионную аккумуляторную батарею (Li-ON), остальные автомобили имеют никель-металлогидридные аккумуляторные батареи (Ni-MH).

## 1.5. Состояние инфраструктуры технического обслуживания и ремонта гибридных автомобилей в России

Для оценки эффективности работы сервисной сети обслуживания автомобилей с ГСУ проведёно исследование существующей инфраструктуры. Автомобили с ГСУ эксплуатируют в РФ с 1999 года. Официальные продажи начала компания Lexus в 2004 году с модели Lexus RX 400h. Модель Prius компании Toyota в официальной продаже появилась в 2009 году. На сегодняшний день по данным уполномоченного дистрибьютора Toyota в РФ компанию представляют 78 дилерских центра по всей России. С начала продаж реализовано около 800 моделей Prius ZVW30, остальные 90% эксплуатируемых в РФ автомобилей предыдущих моделей ввезены в РФ в период с 1998 по 2011 годы из других государств и продолжают ввозиться в том же количестве. Компании-производители не требуют от официальных дилеров иметь в наличии спец. инструмент на все ввезённые в РФ автомобили. Вложение средств в расширение

инфраструктуры обслуживания официальные дилеры не планируют, окупаемость таких вложений очень мала. Обучение и подготовка кадров по эксплуатации автомобилей с ГСУ не организована.

Основными нормативными документами, регламентирующими эксплуатацию и обслуживание подвижного состав в РФ, на данный момент являются:

- Технический регламент о безопасности колёсных транспортных средств от 10.09.2010 [83];

- Руководящий документ РД 37.009.026-92 "Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитракторы) [76].

В данных нормативных документах отсутствует информация о безопасной эксплуатации, обслуживании транспортных средств с ГСУ или с высоковольтным электроприводом, в связи с этим необходима разработка соответствующих рекомендаций, отвечающих требованиям завода - изготовителя, требованиям существующих нормативных документов и безопасной и надёжной эксплуатации ТС.

В соответствии с существующими в России требованиями по электробезопасности [95] весь технический персонал, работающий с электроустановками максимальным напряжением до 1000 В, должен иметь 3-ю группу допуска. Выполнение данного требования должно быть отражено в нормативных документах. В настоящее время ремонт высоковольтной части ГСУ выполняется с рекомендациями, указанными в руководстве по ремонту автомобиля [84]. Нарушение данных требований может создать опасность для жизни обслуживающего персонала. Таким образом, допуск к ремонту высоковольтной части на автотранспортных предприятиях должен осуществляться после проверки знаний по безопасному проведению работ под роспись. А в соответствии с действующими правилами по электробезопасности работы должны выполняться не менее чем двумя работниками. Обслуживание автомобилей Toyota Prius осуществляется в соответствии с сервисным бюллетенем, разработанным компанией Toyota [84].

Для увеличения момента достижения предельного состояния элементов ГСУ $Y_П$, т.е. увеличения ресурса предусмотрены рекомендации завода:

- при длительном хранении автомобиля необходимо запускать двигатель хотя - бы один раз в месяц на 15 минут;

- не рекомендуется ездить на автомобиле без бензина;

- не рекомендуется пытаться заряжать ВВБ самостоятельно.

При проведении контрольно-диагностических, дефектовочных, разборочных, сборочных, слесарных, механических работ, проводимых с ГСУ автомобиля Prius, используется руководство по эксплуатации на автомобиль [84].

В настоящее время наиболее крупным на территории РФ автотехцентром является HYBRIDs.ru (г. Москва). В базе данных сервисной службы имеется информация более чем о 3000 обслуживаемых гибридных автомобилях, есть представительства в г.Санкт-Петербурге (Hybrid Service), г.Красноярске (Hybrid Service). Другие специализированные автотехцентры на территории РФ: Maxmotors (г. Новосибирск), АвтоСити (г. Хабаровск), Гибрид Центр (г. Нижний Новгород).

В Томске, Иркутске, Омске, Владивостоке, Уссурийске, Перми, Сургуте, Туапсе, Краснодаре, Новороссийске, Петропавловске-Камчатском, Кемерово, Уфе, Барнауле, Улан-Удэ при ремонте гибридных автомобилей возможна техническая и информационная поддержка неспециализированных автотехцентров. В остальных городах обслуживание и ремонт осуществляется собственными усилиями инициативных автовладельцев. Например, в городе Вологде на данный момент зарегистрировано 24 автомобиля с ГСУ. При этом даже официальные дилеры компании Toyota не имеют специального технического оснащения для ремонта автомобилей, купленных не в России, что создаёт значительную трудность для автовладельцев (ближайший автотехцентр находится в 470 км в Москве).

Всего на территории РФ по имеющейся информации эксплуатируется до 25000 автомобилей модели Prius.

Несмотря на значительное увеличение числа автомобилей с ГСУ в последнее время поддержание их в технически исправном состоянии в регионах РФ не обеспечено.

# ГЛАВА 2
# ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГСУ АВТОМОБИЛЕЙ

## 2.1. Характеристики автомобилей с ГСУ

По результатам оценки автомобильного парка страны на сентябрь 2014 года в эксплуатации находятся гибридные автомобили 16 различных марок (включая модернизированные и переходные модели). Ниже представлено описание всех автомобилей и их технические характеристики.

Данные по расходу топлива приведены для идеальных условий без учета влияния манеры вождения, используемого топлива, режима движения, маршрута, массы автомобиля в снаряженном состоянии, дорожных, погодных и прочих условий, влияющих на расход топлива.

Сводная таблица характеристик основных элементов привода представлена в Приложении 1.

## 2.2. Разновидности схем гибридного привода

В результате исследования установлено, что большинство типов автомобилей имеют схожую компоновочную схему и электрическую часть: электромотор и генератор расположены в одном узле, силовая часть доступна для диагностики, находится в герметичном корпусе в подкапотном пространстве, высоковольтная аккумуляторная батарея находится в задней части кузова автомобиля и соединяется с инвертором силовыми проводами.

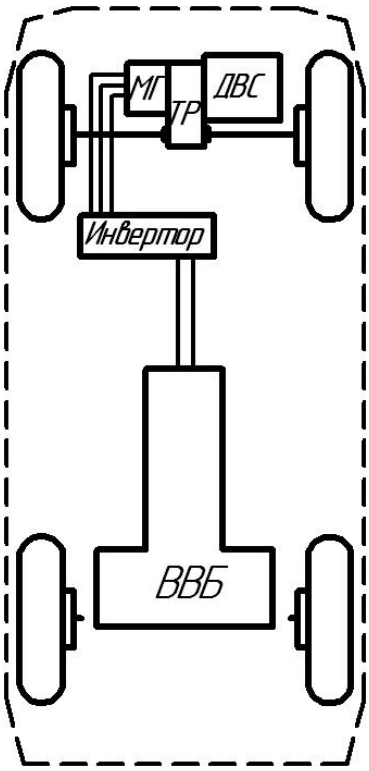



**Рис. 6. Схема ГСУ Шевролет Вольт**

Описание применяемых схем ГСУ

*Последовательное расположение элементов* ГСУ применена на автомобиле марки Chevrolet Volt.

Это, по сути, электромобиль, но со встроенным ДВС, который при разряде ВВБ или движении с высокой скоростью способен вращать приводной вал трансмиссии. Запас хода на электромоторе до 80 км, с включённым ДВС до 550 км [84, 85].

ДВС во время работы нагружен сопротивлением трансмиссии или электромотором, работающим в режиме генератора (рис. 6). При достаточном заряде аккумуляторов ДВС отключается. Эта схема должна рассматриваться, как электромобиль. Основным критерием экономичности является расход электроэнергии и топлива. Анализируя методики определения технического состояния данной схемы, можно разделить её на электрическую и механическую. Условием работы электрической части схемы является нали-

чие заряда ВВБ. Условием работы ДВС является наличие достаточного сопротивления на валу трансмиссии [103,106].

*Параллельная схема ГСУ* применяется на автомобилях Honda Insight, Honda Civic, Mercedes-Benz S-400 Hybrid, BMW 7 -Series Limousine ActiveHybrid. ДВС соединён с валом механической трансмиссии, электромотор играет роль мотор-генератора (МГ) и маховика. Электрический привод состоит из МГ, электронного управления (инвертора) и высоковольтной батареи [97,100]. На шоссе автомобиль движется с помощью ДВС, который также через мотор-генератор подзаряжает ВВБ. При разгоне или других условиях, когда требуется максимальная мощность, оба двигателя работают параллельно, их мощность суммируется. При торможении двигателем электромотор, работающий в режиме генератора, возвращает энергию в накопитель. Эта схема позволяет уменьшить мощность ДВС, что снижает количество расходуемого топлива.

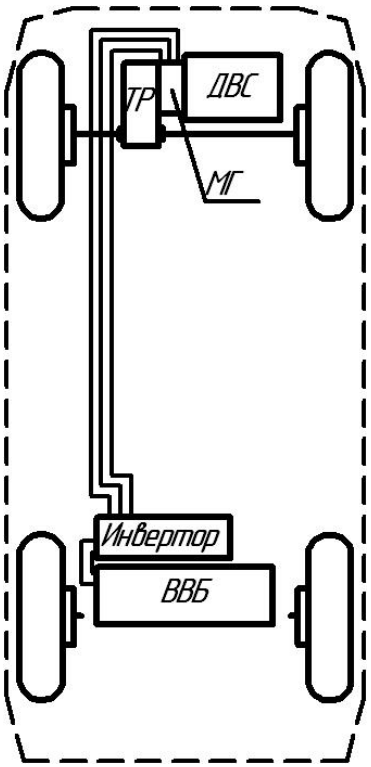



**Рис. 7. Схема ГСУ Хонда Инсайт**

При анализе данной схемы следует учитывать тот факт, что во время движении автомобиля ДВС работает всегда, т.е. механический поток энергии присутствует всегда. Электромотор подключается при пиках возрастания нагрузки, т.е. на заданном уровне скорости и момента генератор включается в работу в режимах движения со средней нагрузкой и при торможении двигателем.

*Смешанное расположение элементов* ГСУ применяется на автомобилях Toyota, Lexus, Ford. Механическая часть схемы состоит из электромотора-генератора (МГ1), мотора-генератора (МГ2), инвертора Ин1, инвертора Ин2 и тяговой высоковольтной батареи. 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 [84].

Описание конструкции и режимов работы ГСУ автомобиля Toyota Prius.

С момента начала серийного производства (1997 г.) существует 4 основные модификации авто-

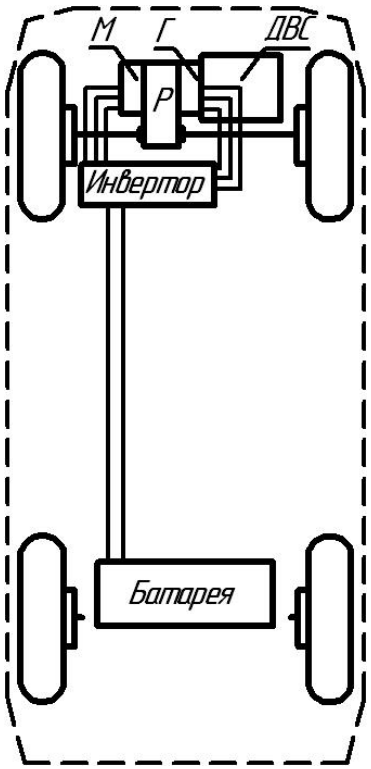



**Рис. 8. Схема ГСУ Toyota Prius**

мобиля [104,111], в сводной таблице (приложение 2) представлены сравнительные характеристики 3-х выпускаемых моделей Prius с кузовами NHW11 (1998-2003) г.в., NHW20 (2003-2009 г.в) и ZVW30 (с 2009 г.в.) [84].

Конструктивные особенности силового агрегата:

- отсутствует ступенчатая коробка передач или вариатор;
- отсутствует сцепление или гидротрансформатор, колёса всегда жёстко связаны с ДВС и электромоторами-генераторами;
- отсутствует стартер, запуск ДВС производится с помощью МГ1 через зубчатое колесо и устройство распределения мощности;
- нет генератора переменного тока, электроэнергия при необходимости производится мотор-генераторами.

Дополнительно присутствует устройство распределения мощности PSD (Power Split Device) [96], ВВБ и инверторы управления электродвигателями-генераторами.

На рис. 9 приведена кинематическая схема, показывающая взаимосвязь элементов ГСУ между собой.

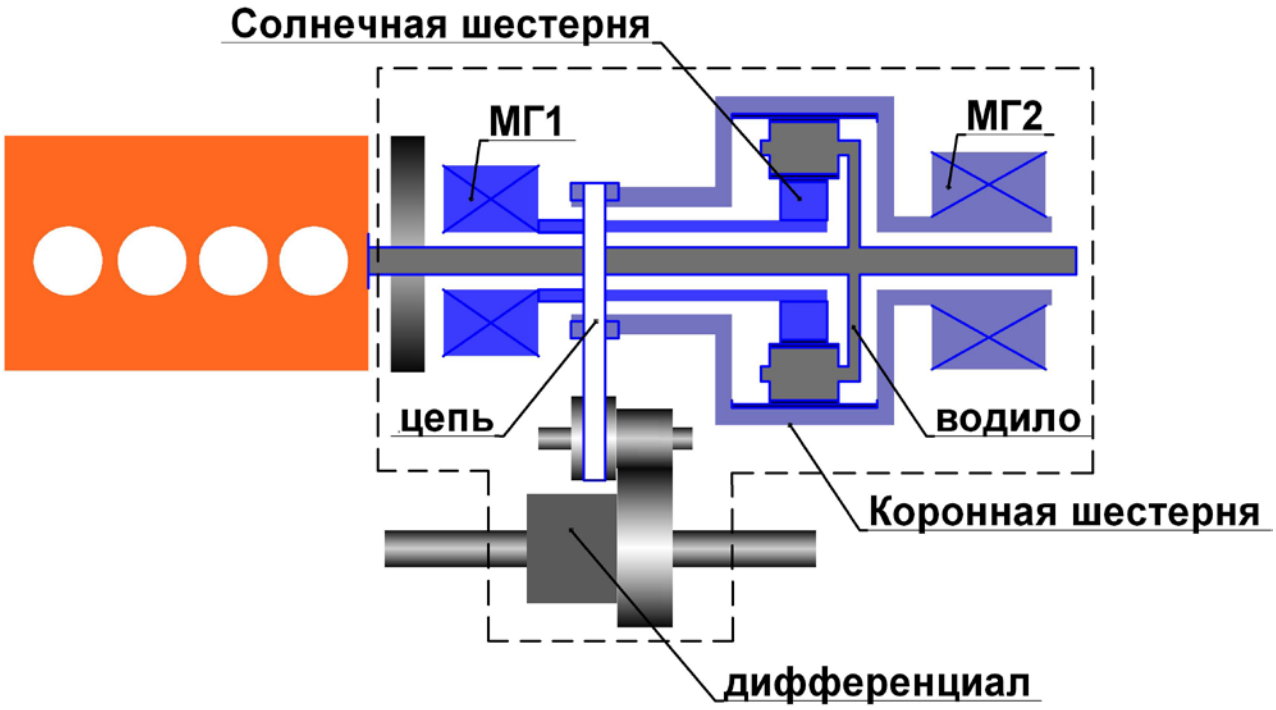



**Рис. 9. Схема расположения компонентов механической передачи**

Основой PSD является планетарная передача. ДВС жёстко подсоединяется к водилу сателлитов, МГ1 жёстко связан с солнечным зубчатым колесом, МГ2 жёстко связан с коронным зубчатым колесом и с помощью цепной передачи и редуктора с приводами колёс автомобиля.

## 2.3. Особенности работы ГСУ смешанного типа

1. Запуск двигателя. Для запуска двигателя МГ1, связанный с солнечным зубчатым колесом, вращается вперёд, используя электроэнергию ВВБ. Если автомобиль стоит, то коронное зубчатое колесо остается неподвижным. Вращение солнечного зубчатого колеса заставляет водило сателлитов вращаться, оно связано с валом ДВС и проворачивает его в 1/3,6 скорости вращения МГ1, при этом подача топлива и зажигание начинается после достижения 1000 об/мин, после чего двигатель запускается сначала лишь на 2-х, затем на всех цилиндрах, это обеспечивает очень плавный без дёрганий запуск.

2. Запуск холодного двигателя. Приоритет состоит в нагреве двигателя и каталитического нейтрализатора. Чтобы заработала система управления токсичностью выхлопа, двигатель будет работать в течение нескольких минут.

3. Тёплый запуск. Запущенный тёплый двигатель, будет работать в течение короткого времени, а затем останавливается. ЭСУД будет поддерживать скорость вращения вала ДВС на уровне 1000 об/мин. Возможен другой алгоритм запуска: если нажата педаль торможения, в ВВБ достаточно энергии, и отопитель салона не включён в положение обогрев – ДВС не запустится, но автомобиль будет готов к поездке.

4. Начало движения (трогание с места). ДВС всегда механически подсоединен к колёсам автомобиля, это означает, что он не может в одиночку выдать весь крутящий момент для обеспечения требуемого разгона. Крутящий момент в момент начального ускорения добавляется мотором МГ2, вращающим непосредственно коронное зубчатое колесо планетарного механизма, связанное с входом редуктора, выход которого связан с колесами. Электрические двигатели развивают лучший крутящий момент на низкой скорости вращения, поэтому идеально подходят для начала движения автомобиля.

В случае, когда ДВС работает и автомобиль неподвижен, мотор МГ1 вращается в том же направлении, что и ДВС, управляющая электроника отбирает энергию с генератора МГ1 и передает ее на мотор МГ2. Теперь появляется некоторая сила, которая замедляет вращение вала. Сопротивляясь этой силе "генераторной нагрузке", компьютер увеличивает обороты ДВС, чтобы добавить дополнительной энергии. ДВС вращает водило сателлитов планетарного механизма более сильно, а генератор МГ1 пытается замедлить вращение солнечного зубчатого колеса.

В планетарном механизме крутящий момент ДВС делится в соотношении 72% к 28% между коронным и солнечным зубчатым колесом. Пока не нажата педаль акселератора ДВС бездействует и не производит никакого выходного крутящего момента, после нажатия на педаль акселератора его обороты повышаются и 28% крутящего момента вращают МГ1 как генератор, другие 72% крутящего момента передаются механически на коронное зубчатое колесо и, следовательно, на колеса. Одновременно с этим энергия, вырабатываемая МГ1 передаётся на МГ2 и также на колёса автомобиля. Таким образом, вся энергия, вырабатываемая ДВС, передаётся на колёса автомобиля.

5. Ускорение и езда в гору. Когда требуется большая мощность, ДВС и МГ2 совместно передают крутящий момент на колёса. ДВС вращает водило

сателлитов планетарного механизма, 72% его крутящего момента поступает механически через коронное зубчатое колесо к колесам, а 28% его крутящего момента поступают в генератор МГ1 через солнечное зубчатое колесо, где он превращается в электричество. Эта электрическая энергия питает мотор МГ2, который добавляет некоторый дополнительный крутящий момент на коронном зубчатом колесе. Чем больше водитель нажимает на акселератор, тем больше крутящего момента производит ДВС. Он увеличивает как механический крутящий момент через коронное зубчатое колесо, так и количество электроэнергии, произведенной генератором МГ1 для мотора МГ2, используемой, чтобы добавить еще больше крутящего момента.

6. Равномерное движение с малой скоростью. Энергия расходуется на преодоление аэродинамического сопротивления, трение качения и механические потери. В табл. 5 указаны, мощности, необходимые на перемещения автомобиля на различной скорости по горизонтальному участку дороги [85].

Задача устройства распределения мощности состоит в том, чтобы при высокой скорости вал ДВС вращался с минимальным числом оборотов, для этого мотор МГ1 должен вращаться в противоположную сторону, заставляя ось сателлитов вращаться вперёд.

Таблица 5

Мощность, затрачиваемая на движение по данным производителя

| **Скорость автомобиля, км/ч** | **Необходимая для движения мощность, кВт** | **Обороты ДВС, об/мин** | **Обороты генератора МГ1, 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 ёще быстрее. Особенность состоит в том, что МГ1 при этом тоже участвует в создании крутящего момента для движения автомобиля. Для того чтобы МГ1 при равномерном движении длительное время мог обеспечивать работу с постоянной нагрузкой, энергия отбирается от МГ2, т.е. генератор МГ2 производит электроэнергию для электромотора МГ1.

7. Движение накатом. Когда водитель снимает ногу с педали акселератора, происходит движение накатом. В модели Prius ДВС не создаёт сопротивление вращению, он может быть совсем выключен. Для того чтобы оправдать ожидания водителя в этом режиме движения, замедление имитируется. МГ2 включается как генератор и заряжает батарею, его генераторная нагрузка имитирует торможение двигателем.

8. Торможение. Помимо обычной гидравлической системы торможения автомобиль Prius имеет рекуперативное торможение. Принимая во внимание то, что во время движения накатом МГ2 производит некоторую генераторную нагрузку, чтобы имитировать торможение двигателем, при нажатии на педаль

торможения увеличивается генерация электроэнергии МГ2, и намного большая генераторная нагрузка вносит свой вклад в замедление автомобиля. В отличие от тормозов трения, которые тратят впустую кинетическую энергию автомобиля на производство тепла, электроэнергия, произведенная регенеративным торможением, сохраняется в ВВБ и будет использована позже.

## 2.4. Описание диагностируемых элементов гибридного привода

### Двигатель

Prius имеет ДВС, объемом 1497 см$^3$. На версии 2009 года применяется другой двигатель объемом 1,8 литра. Обозначение компании Toyota для двигателя Prius: 1NZ-FXE.

В двигателе 1NZ-FXE реализован цикл Аткинсона–Миллера. В цикле Аткинсона–Миллера впускной клапан не закрывают в нижней мертвой точке, а оставляют открытым, в то время как поршень начинает подниматься. Часть смеси вытесняется во впускной коллектор (чтобы использоваться в другом цилиндре). Точка, в которой закрывается впускной клапан, является переменной. Объем смеси, которая будет использована для сжатия, может таким образом быть уменьшен, не используя принудительное закрытие дроссельной заслонки. С помощью этого возможно ограничивать выходную мощность двигателя без больших насосных потерь, это делает двигатель намного более эффективным, чем обычный в режимах частичной мощности, используемых в большинстве ситуаций. Тепловой КПД двигателя 1NZ-FE, работающего по циклу Отто, достигает 35% при максимальной мощности и уменьшается до 18% при $0{,}2N_{max}$. Аналогичный двигатель 1NZ-FXE, но работающий по циклу Аткинсона–Миллера, при $0{,}2N_{max}$ имеет КПД 34% [43, 84].

Гарантийный срок эксплуатации составляет 100 тыс. км или 5 лет, в зависимости от того, что наступит ранее.

### Высоковольтная аккумуляторная батарея

Наиболее дорогостоящим и трудно диагностируемым элементом силового электропривода является накопитель электрической энергии.

### ВВБ Toyota Prius

В ГСУ автомобиля Prius применяется никель-металлогидридная высоковольтная аккумуляторная батарея (Ni-MH ВВБ) компании Панасоник.

В табл. 6 приведены основные характеристики ВВБ, применяемой в моделях Prius 20 [27, 84].

Удельная мощность. Показывает, какую мощность способен отдавать аккумулятор при заданном весе. Это показатель способности автомобиля с ГСУ ускоряться и преодолевать подъем.

Таблица 6

Характеристики Ni-MH – аккумуляторов

| Параметр, ед. изм. | Величина параметра |
|---|---|
| Напряжение элемента, В | 1,2 |
| Плотность энергии, Вт ч/кг | 420 |
| Коэффициент использования энергии, % | 80-95 |
| Удельная мощность, Вт/кг | 100-500 |
| Срок службы, циклы заряда-разряда | Более 10 000 |
| Рабочая температура, ºС | -25/+50 |
| Обслуживание | Не требуется |

Плотность энергии. Показывает, сколько энергии запасается в единице объема аккумулятора. Применение батарей с высокой плотностью энергии аккумулятора экономит место в автомобиле и уменьшает его вес.

Число циклов «заряд-разряд» (ресурс). Цикл определяется, как один полный 100-процентный заряд и разряд на 80% емкости.

## Конструкция Ni-MH аккумуляторов

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 (рис. 10).

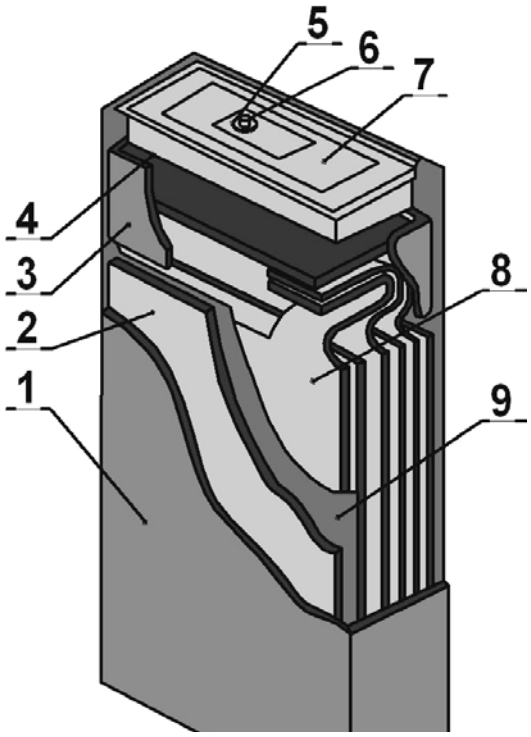



**Рис. 10. Конструкция (Ni-MH) аккумулятора:**
**1-корпус; 2-отрицательный электрод; 3-изолятор; 4-изоляционная прокладка; 5-колпачок клапана; 6-датчик давления; 7-крышка; 8-положительный электрод; 9-сепаротор**

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-никелевый пористый слой на пенополимерной основе.

Отрицательный электрод состоит из порошка или пасты активной массы, обладающей водород-абсорбирующими свойствами и нанесенной на токопроводящую сетку.

Характеристики Ni-MH-аккумуляторов.

Значение напряжения разомкнутой цепи Up.ц. заряженного Ni-MH-аккумулятора находится в интервале 1,50-1,35В.

Номинальное разрядное напряжение Up при нормированном токе разряда Ip = 0,1-0,2C (C - номинальная емкость аккумулятора) при 25°C составляет 1,2-1,25В, напряжение уменьшается с ростом нагрузки (рис. 11).

Конечное напряжение разряда аккумулятора Uк составляет - 1В.

Конструкция Ni-MH-аккумулятора обеспечивает замкнутый зарядно-разрядный цикл без выделения химических веществ в атмосферу.

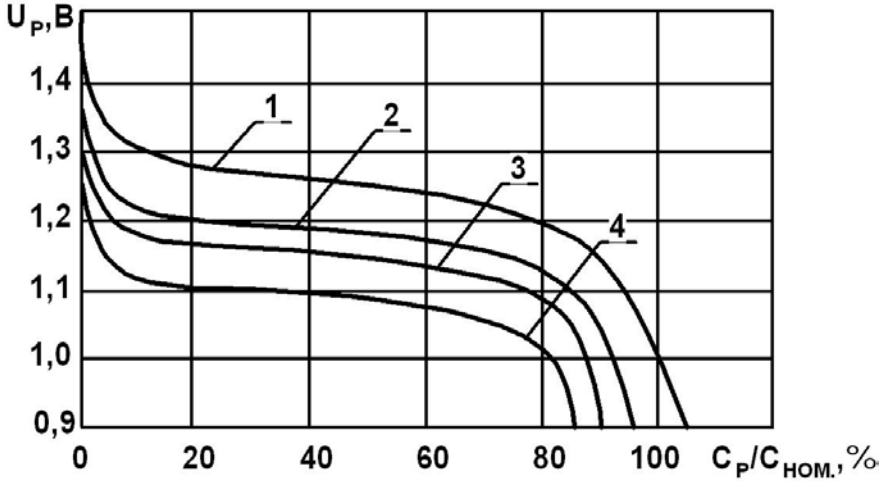



**Рис. 11. Разрядные характеристики Ni-MH-аккумулятора при температуре 20°C и разных нормированных токах нагрузки: 1 - 0,2C; 2 - 1C; 3 - 2C; 4 - 3C**

## Емкость аккумуляторов

С повышением нагрузки (уменьшение времени разряда) и при понижении температуры емкость Ni-MH-аккумулятора уменьшается (рис. 12). Особенно заметно действие снижения температуры на емкость при больших скоростях разряда и при температурах ниже 0°C.

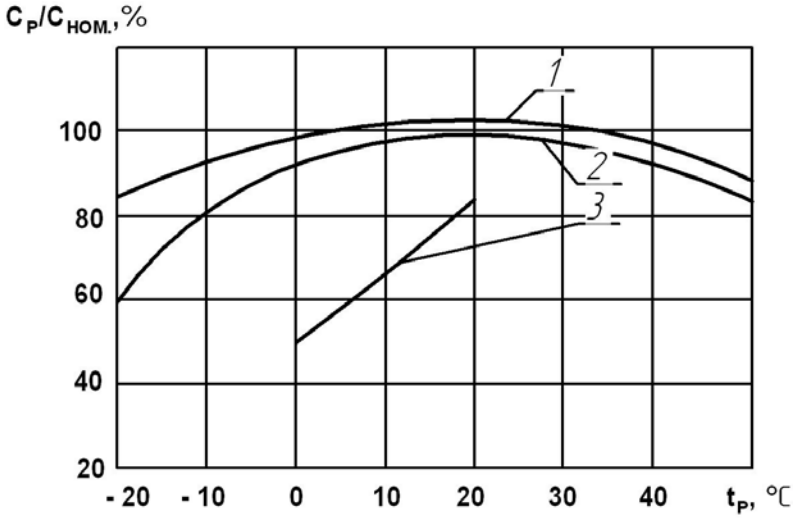



**Рис. 12. Зависимость разрядной емкости Ni-MH-аккумулятора от температуры при разных токах разряда: 1-0,2C; 2-1C; 3-3C**

## Сохранность и срок службы Ni-MH-аккумуляторов

При хранении происходит саморазряд Ni-MH-аккумулятора. По прошествии месяца при температуре 20 ºС потеря емкости составляет 20-30%, а при дальнейшем хранении потери уменьшаются до 3-7% в месяц. Скорость саморазряда повышается при увеличении температуры (рис. 13).

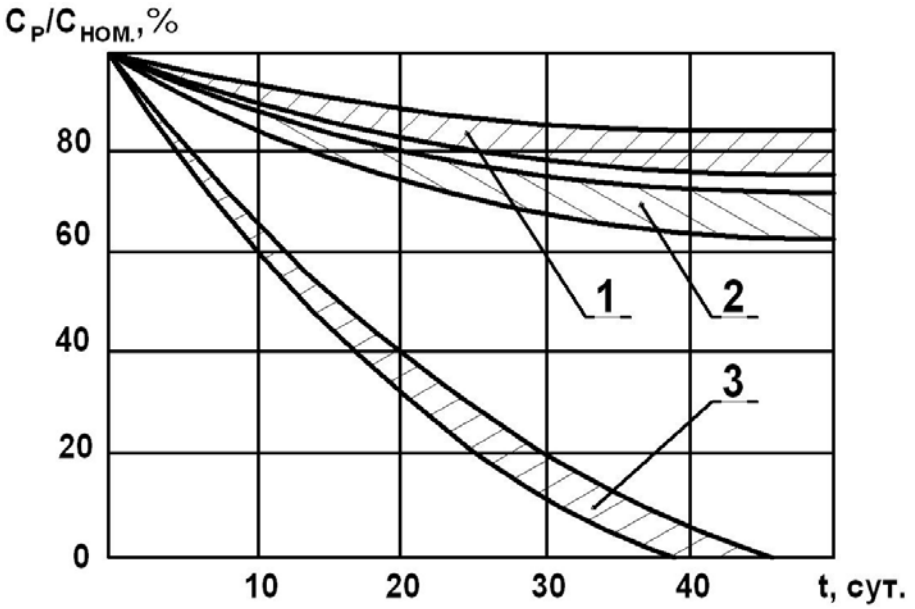



**Рис. 13. Зависимость разрядной емкости Ni-MH аккумулятора от времени хранения при разных температурах: 1 - 0°С; 2 - 20°С; 3 - 40°С**

## Зарядка Ni-MH аккумулятора

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

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

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 гидроксидов, которые повышают перенапряжение основной токообразующей реакции металлогидридного электрода. Образование продуктов коррозии происходит с потреблением кислорода и водорода из рас-

твора 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 и при выполнении ремонта наибольшее внимание следует уделять рекомендациям завода-изготовителя: соблюдать температурный режим заряда; избегать переразрядов (ниже 1В) 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. Зарядка, как правило, производится током Iз=0,1С на протяжении 15 часов. Компенсационный дозаряд производят током Iз=0,01-0,03С на протяжении 30 часов и более.

На ВВБ автомобиля Prius возможны режимы быстрого заряда током 7С (50А). При таких зарядах процесс контролируется по изменению температуры ΔТ, напряжения ΔU и другим параметрам. Зарядное напряжение Uз при Iз=0,3-1С лежит в интервале 1,4-1,5В. По причине выделения кислорода на положительном электроде и нагрева батареи, количество электроэнергии, преданной при заряде (Qз), больше отданного во время разряда (Qр). При этом КПД батареи (р/Qз х 100) составляет 80-95%.

Контроль заряда и разряда. Для исключения перезаряда Ni-MH аккумуляторных батарей применяется методы контроля заряда с датчиками, устанавливаемыми в аккумуляторные батареи и устройство 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 ΔТ/Δt. При применении этого метода скорость нарастания температуры аккумуляторной батареи 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 аккумулятора 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 0,05-0,8 МПа.

6. Метод прекращения заряда по максимальному напряжению $U_{max}$. Применяется для отключения заряда аккумуляторов с высоким внутренним сопротивлением, которое появляется в конце срока службы из-за недостатка электролита или при пониженной температуре.

При применении метода $T_{max}$ аккумуляторная батарея может быть слишком перезаряжена, если температура окружающей среды понижается, либо батарея может получить недостаточно заряда, если температура окружающей среды значительно повышается. Метод ΔТ/Δt может применяться очень эф-

фективно 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 ΔT/Δt для отключения. Для определенного значения ΔT/Δt может быть получена большая входная емкость при более низкой температуре окружающей среды, чем при более высокой температуре. В начале заряда аккумуляторной батареи (как и в конце заряда) происходит быстрое повышение температуры, что может привести к преждевременному отключению заряда при применении метода ΔT/Δt. Для исключения этого используется таймеры начальной задержки срабатывания датчика при методе ΔT/Δt.

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 кислород не успеет рекомбинироваться, что приведет к росту давления в аккумуляторе.

## Ni-MH высоковольтная батарея автомобиля Toyota Prius

Компания Toyota не регламентирует требования по обслуживанию ВВБ весь срок её службы. Производитель батарей - компания Панасоник гарантирует работу ВВБ без значительного снижения ёмкости в течение 10 лет эксплуатации.

На модели NHW-11 ВВБ состоит из 228 элементов 1,2В каждый, объединенных в 38 модулей по 6 элементов, с полным номинальным напряжением 273,6 В. Вся батарея установлена за задним сиденьем. При этом элементы представляют собой плоские модули в пластмассовых корпусах серого цвета. Максимальный ток батареи – 80 А при разряде и 50 А при заряде. Номинальная емкость батареи - 6,5 А-ч. Электроника автомобиля, в целях продления срока службы аккумуляторов, позволяет использовать только 55% этой емкости. Состояние заряда может изменяться только между 35% и 90% полного номинального заряда.

На модели NHW-20 количество элементов - 168, модулей - 28, но для использования в инверторе напряжение батареи повышается до 500В с помощью

специального устройства - «преобразователя». Увеличение номинального напряжения МГ2 в кузове NHW-20 позволяет повысить его мощность до 50 кВт без изменения габаритов (рис. 14).

**Рис. 14. Внешний вид никель-металлогидридной батареи Toyota Prius**

В автомобиле также имеется вспомогательная АКБ - это 12-вольтовая, свинцово-кислотная батарея емкостью 28 ампер-часов, которая находится в левой части багажника (в кузове NHW-20 – в правой). Ее цель состоит в том, чтобы запитать низковольтную систему электрооборудования и дополнительные устройства, когда ГСУ выключена, и главное реле батареи высокого напряжения выключено. Когда ГСУ работает, низковольтовым источником служит преобразователь постоянного тока высокого напряжения, поступающего от ВВБ, в постоянный ток 12 В. Он также подзаряжает вспомогательную батарею в случае необходимости.

Основные блоки управления обмениваются данными по внутренней CAN-шине. Оставшиеся системы общаются по внутренней сети Body Electronics Area Network.

В ВВБ имеется свой блок управления, который следит за температурой элементов, напряжением на них, внутренним сопротивлением, а также управляет встроенным в ВВБ вентилятором. На модели NHW11 были установлены 4 температурных датчика, представляющих собой терморезисторы на самих контейнерах, и 1 – общий датчик контроля температуры воздуха ВВБ, на модели NHW20 – 3 на контейнерах аккумуляторов и 1 – общий.

**Основные неисправности и существующие методы их выявления**

Основные неисправности ВВБ: недопустимо низкое напряжение; перегрев при заряде; потеря ёмкости; высокое внутреннее давление при заряде; быстрый саморазряд.

Основные причины неисправности ВВБ – это езда на автомобиле без бензина и длительное хранение автомобиля без запуска ДВС.

Общие проверки ВВБ заключаются в установлении причин неисправностей, считывании кодов неисправности из блока управления ВВБ, визуальном осмотре батареи, диагностике ДВС. Работоспособность ВВБ 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 ВВБ заключается в проведении восстановительного цикла заряда, замены повреждённых ячеек или всей батареи.

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

## ВВБ Mercedes-Benz

На автомобиле Mercedes-Benz S 400 BlueHYBRID впервые в мире на серийно выпускаемый автомобиль была установлена высоковольтная литий-ионная аккумуляторная батарея. Подобные аккумуляторные батареи широко применяются в мобильных телефонах, компьютерах и других мобильных устройствах. Главными преимуществами этой батареи над обычными никель-метал-гидридными (NiMH) батареями являются более высокая удельная энергоемкость и улучшенные электрические характеристики при одновременном снижении веса и уменьшении размеров.

Компактный блок литий-ионных аккумуляторных батарей, разработанных фирмами Continental и JCS Saft, состоит из 35 элементов, имеет ёмкость 6,5 А·ч и номинальное напряжение 120 В. Аккумуляторная батарея имеет высокую удельную объёмную мощность – 1,9 кВт/л, но общее количество хранящегося в аккумуляторной батареи небольшое, всего 0,8 кВт*часа. Блок аккумуляторных батарей встроен в систему кондиционирования воздуха автомобиля таким образом, что блок батарей может охлаждаться независимо от ДВС. Специальные клапаны позволяют водителю автомобиля выключать кондиционирование воздуха в салоне автомобиля без отключения охлаждения блока аккумуляторных батарей. При неработающем ДВС компрессор кондиционера с электрическим приводом не только обеспечивает кондиционирование воздуха в салоне, но и гарантирует, что температура блока аккумуляторных батарей не превысит установленного предела. Для исключения серьёзного повреждения аккумуляторных батарей внутренняя температура блока не должна превышать 50 $^0$C на любом режиме работы силовой установки. Оптимальная рабочая температура литий-ионной аккумуляторной батареи находится в диапазоне от 15 $^0$Сдо 35 $^0$C.

Полностью вновь разработанный блок высоковольтной батареи состоит из набора литий-ионных аккумуляторов, системы контроля состояния аккумуляторных элементов, системы управления аккумуляторной батареей, высокопрочного стального корпуса, охлаждающего геля, патрубков системы охлаждения и высоковольтных контактов.

Блок аккумуляторной батареи получился настолько компактным, что он умещается под капотом автомобиля на месте обычного 12-вольтового аккумулятора.

Высоковольтная литий-ионная аккумуляторная батарея не только обеспечивает энергией электрический двигатель, но и при помощи специального преобразователя заряжает стандартную 12-вольтовую аккумуляторную батарею, расположенную в багажнике автомобиля. В этом случае 12-вольтовая аккумуляторная батарея не используется для запуска двигателя и имеет уменьшенные размеры. Но емкости этой батареи вполне достаточно для обеспечения электрической энергией стандартного 12-вольтового электрического оборудования всего автомобиля, включая систему освещения. Поскольку запуск ДВС осуществляется мотор-генератором за счёт энергии высоковольтной аккумуляторной батареи.

На автомобилях с гибридной силовой установкой параллельного типа используются высоковольтные аккумуляторные батареи сравнительно небольшой ёмкости (0,5 – 2,0 кВт·ч), в то время как на автомобили с последовательной или комбинированной силовой установкой (полный гибрид) устанавливаются аккумуляторные батареи значительно большей ёмкости 5 – 7 кВт·ч.

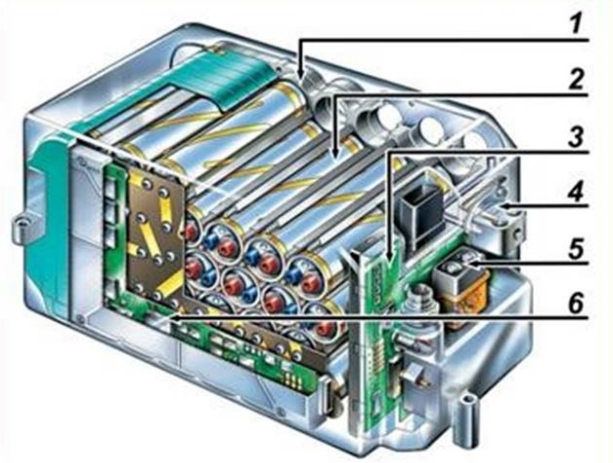



**Рис. 15. Блок аккумуляторной батареи автомобиля Mercedes-Benz S 400 BlueHybrid: 1 - модуль охлаждения, 2 - литий-ионный элемент, 3 - система управления, 4 - соединительный патрубок системы охлаждения, 5 - высоковольтная клемма, 6 - регулятор напряжения**

## ВВБ Honda Insight

На автомобиле Honda Insight 2010 модельного года в качестве высоковольтной аккумуляторной батареи используется блок плоских никель-металгидридных аккумуляторов. Собранная из 84 аккумуляторов высоковольтная батарея обеспечивает напряжение 100,8 вольт, при номинальной ёмкости 5,75 А·ч. Такая батарея способна сохранить приблизительно 0,7 кВт·ч электрической энергии. Энергоемкость новых батарей на 30% выше емкости батарей, устанавливаемых на предыдущее поколение автомобиля Honda Insight. Зарядка

высоковольтной аккумуляторной батареи происходит автоматически или за счёт энергии ДВС, при незначительной нагрузке двигателя внутреннего сгорания, или за счёт рекуперации энергии при торможении автомобиля. Электронный блок управления высоковольтной аккумуляторной батареи и система охлаждения расположены непосредственно в корпусе блока аккумуляторной батареи.

### Потери в электрических проводниках

При анализе потерь в тяговом приводе автомобилей с электроприводом нельзя не учитывать электрические соединения. Мощность, передаваемая между элементами тягового привода, может достигать 50 кВт, при этом потери в электрических соединениях могут достигать 30%. Целесообразно повысить напряжение силовой электросети, что приведёт к уменьшению тока, а значит и снижению потерь. Общая длина силовых проводов может достигать 10 метров. Силовые клеммы должны обеспечивать надёжное соединение. При напряжении цепи 310В ток может достигать максимального значения 200А.

Диагностика потерь в электрических проводах затруднительна. Основной метод - это визуальная проверка механических соединений на предмет ослабления контакта и следов перегревов [91, 95].

### Электромоторы и силовое управляющее устройство

Поскольку МГ работают от переменного трехфазного тока, а батарея, как и все батареи, производит постоянный ток, необходимо некое устройство, чтобы преобразовать один вид тока в другой [13]. Каждый МГ имеет "инвертор", который выполняет эту функцию. Инвертор узнает о положении ротора от датчика на валу МГ и управляет током в обмотках мотора так, чтобы поддерживать вращение мотора на требуемой скорости и с необходимым крутящим моментом. Инвертор изменяет ток в обмотке, когда магнитный полюс ротора проходит мимо этой обмотки и переходит к следующей, кроме того, инвертор подключает напряжение батареи на обмотки и затем выключает снова очень быстро (с высокой частотой), чтобы изменить среднее значение тока и, следовательно, крутящий момент. Используя "самоиндуктивность" моторных обмоток (свойство электрических катушек, которые сопротивляются изменению тока). Электромотор позволяет достигнуть очень большого крутящего момента на малых оборотах. Приблизительно до 11 км/ч, МГ2 способен создать крутящий момент 350 Нм (400 Нм для кузова NHW-20) на редукторе. Благодаря этому автомобиль может начать движение с приемлемым ускорением без использования коробки передач, которая обычно увеличивает крутящий момент ДВС. При коротком замыкании или перегреве инвертор отключает высоковольтную часть машины. В одном блоке с инвертором расположен и конвертер,

который предназначен для обратного преобразования переменного напряжения в постоянное - 13,8 вольт.

Основными неисправностями являются: повышенный шум, вибрация, неравномерность движения автомобиля, перегрев, замыкание на корпус, межвитковое замыкание, отсутствие контакта. Причинами неисправности являются: заводской брак; нарушение условий эксплуатации; естественный износ.

Нормативными документами, регламентирующими требования к электрооборудованию, в РФ является ГОСТ [91].

## Устройство распределения мощности

Крутящий момент и энергия ДВС и моторов/генераторов объединены и распределяются планетарным набором зубчатых колёс, названным Toyota (PSD, Power Split Device) "устройством распределения мощности". Оно позволяет ГСУ работать как в последовательном, так и в параллельном режимах работы одновременно и получать некоторые из преимуществ каждого. ДВС может вращать колеса непосредственно (механически) через PSD. В то же самое время переменное количество энергии может быть снято с ДВС и превращено в электричество. Оно может заряжать батарею или передаваться к одному из моторов/генераторов, чтобы помогать крутить колеса.

Prius, имеет CVT (Continue Variable Transmission) - бесступенчато-регулируемую или "постоянно переменную" трансмиссию, это и есть устройство распределения мощности. Валы планетарной и главной передачи связаны между собой цепью Морзе.

Основными неисправностями являются: повышенный шум, вибрация, неравномерность движения автомобиля, перегрев, утечка масла, антифриза. Причинами неисправности являются: заводской брак; естественный износ.

Профилактические осмотры: определение цвета масла и наличия в нём продуктов износа.

# ГЛАВА 3
# АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГСУ

## 3.1. Анализ возникающих отказов и неисправностей ГСУ автомобиля Toyota Prius

Оценка неисправностей ГСУ автомобиля Prius требует проведение объективного исследования. Существуют рекомендательные документы [32] и ГОСТ 27.310-95 «Надёжность в технике» [94], в котором описываются методики проведения испытаний на надёжность. Один из достоверных методов испытания машин на надежность является испытание в реальных условиях эксплуатации. Наиболее подходящим местом для полноты и достоверности получаемой информации являются предприятия, специализирующиеся на ремонте автомобилей с ГСУ, наиболее крупным из них является автотехцентр HYBRIDs.ru. Для получения объективных данных о неисправностях ГСУ отобраны автомобили, обслуживание которых выполнялось в соответствии с техническим бюллетенем. При проведения анализа использована база данных по ремонтируемым и обслуживаемым автомобилям марки Prius. Предприятие HYBRIDs.ru имеет собственную производственную базу с необходимым технологическим оборудованием, квалифицированным обученным персоналом, что позволяет выполнять все виды технических воздействий в соответствии с требованиями завода изготовителя.

Гарантийный срок эксплуатации элементов ГСУ для автомобилей с кузовом NHW-11 составляет 7 лет, с кузовом NHW-20 составляет 8 лет, или 160 тыс. км. Гарантия на ДВС: 5 лет или 100 тыс. км. С учётом этого срок службы автомобиля принимается равным максимальной гарантии на его элементы, т.е. 7 лет для модели с кузовом NHW-11 и 8 лет для моделей с кузовом NHW-20. Так как модели с кузовом NHW-11 закончили продавать в 2004 году, срок службы последних из них закончился в 2011 году. С учётом этого в выборке участвуют все автомобили марки Prius, срок службы которых закончился позже 2010 года. Распределение отказов и неисправностей силового агрегата приведено в табл. 7.

В соответствии с принятой методикой документом-носителем информации является заказ-наряд на выполнение работ с информацией о номере кузова, силового агрегата, пробеге автомобиля, информацией о владельце, видах заявленных и выполненных работ, использованными запчастями, а также датой заезда и выезда автомобиля. Анализ результатов эксплуатационных испытаний на надежность модели Prius содержит ведомость отказов и неисправностей, оценки количественных показателей надежности, перечень деталей, узлов, систем, лимитирующих надежность, выводы по наиболее проблемным элементам ГСУ.

Таблица 7

Распределение отказов силового агрегата [42]

| № п/п | Наименование агрегата и системы | Отказы по интервалам наработки, тыс. км* | | | | | | | Всего, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0-25 | 25-50 | 50-75 | 75-100 | 100-125 | 125-150 | 150-175 | |
| **1** | **Двигатель** | **0** | **0** | **6** | **14,5** | **16,5** | **16** | **18,0** | **71,0** |
| | - система зажигания | 0 | 0 | 6 | 13 | 12 | 10 | 10 | - |
| | - система управления двигателем, датчики | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1,5 | 2,0 | - |
| | - система питания | 0 | 0 | 0 | 1,5 | 3 | 4,5 | 6 | - |
| **2** | **Устройство распределения мощности (PSD)** | **0** | **0,5** | **0,5** | **2** | **4,5** | **5,5** | **8** | **21** |
| | - система охлаждения | 0 | 0 | 0 | 1 | 2,5 | 3 | 4 | - |
| | - зубчатые механизмы трансмиссии | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,5 | 1,5 | - |
| | - система смазки трансмиссии | 0 | 0,5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | - |
| **3** | **Электроника** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0,5** | **2** | **3** | **5,5** |
| | - неисправность силовых ключей инвертора | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | - |
| | - неисправность обмотки статора МГ2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1,5 | - |
| **4** | **Высоковольтная батарея (ВВБ)** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0,5** | **2** | **2,5** |
| | - недопустимый разряд батареи | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | - |
| | - закипание, выход из строя элементов батареи | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | - |
| | - потеря ёмкости батареи | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | - |
| | - другое | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,5 | 0,5 | - |
| | **Всего** | **0** | **0,5** | **3,5** | **8,5** | **20** | **29** | **38,5** | **100** |

* Рекомендованная производителем периодичность обслуживания составляет 10 тыс. км.

Таблица 8

Классификация отказов по видам

| Признак | Вид |
|---|---|
| 1. Влияние на работоспособность ГСУ | 1.1. Отказ элемента вызывает отказ автомобиля<br>1.2. Отказ элемента не вызывает отказ автомобиля |
| 2. Источник возникновения отказа ГСУ | 2.1. Конструктивные (недостатки конструкции)<br>2.2. Производственные (несовершенство или нарушение технологии изготовления)<br>2.3. Эксплуатационные (нарушение правил перевозки и технической эксплуатации, квалификация персонала) |
| 3. Связь с отказами других элементов ГСУ | 3.1. Зависимые – отказ одного элемента вызван отказом или неисправностью другого элемента.<br>3.2. Независимые – отказ вызван изменением технического состояния или внешними факторами. |
| 4. Характер изменения параметра технического состояния | 4.1. Постепенные<br>4.2. Внезапные |
| 5. Продолжительность устранения | 5.1. Устраняется в межсменное время<br>5.2. Устраняется при целодневных простоях |

*Описание отказов и неисправностей.* Для выявления источников происхождения отказов выполнен анализ причины и механизмы возникновения и проявления отказов, а также их влияние на надёжность и работоспособность

автомобиля в целом. Все неисправности для удобства их распознавания классифицированы по группам (табл. 8).

Исходя из принятой классификации все неисправности, возникающие с ГСУ автомобиля модели Toyota Prius можно расшифровать и анализировать (табл. 9).

Согласно имеющейся информации по распределению отказов и неисправностей ГСУ наибольшее их число (71%) непосредственно связано с двигателем внутреннего сгорания (рис. 16) Проблему вызывает диагностирование неисправности именно этого узла. Это объясняется тем, что проверить работу ДВС в данном случае затруднительно, его запуск и управление осуществляет ЭБУ и только в режиме потребления мощности.

Таблица 9

Расшифровка отказов по признакам и видам

| **Наименование агрегата и системы** | **Признак** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **1. Двигатель** | | | | | |
| - система зажигания | 1.1* | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.2 |
| - система управления двигателем, датчики | 1.1* | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.2 |
| - система питания | 1.1* | 2.1 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| **2. Устройство распределения мощности (PSD)** | | | | | |
| - система охлаждения трансмиссии | 1.1* | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 5.2 |
| - зубчатые механизмы трансмиссии | 1.2 | 2.3 | 3.2 | 4.1 | 5.1 |
| - система смазки трансмиссии | 1.2 | 2.2 | 3.2 | 4.1 | 5.2 |
| **3. Электроника** | | | | | |
| - выход из строя силовых ключей инвертора | 1.1* | 2.1 | 3.1 | 4.2 | 5.2 |
| - выход из строя обмотки статора МГ2 | 1.1* | 2.1 | 3.1 | 4.2 | 5.2 |
| **4. Высоковольтная батарея (ВВБ)** | | | | | |
| - недопустимый разряд батареи | 1.2 | 2.3 | 3.1 | 4.1 | 5.1 |
| - закипание, выход из строя элементов батареи | 1.2 | 2.3 | 3.1 | 4.1 | 5.1 |
| - потеря ёмкости батареи | 1.2 | 2.3 | 3.1 | 4.1 | 5.1 |

*Неисправности, возникновение которых вызывает отказ автомобиля.

Также существует связь между отказами двигателя и электронных компонентов системы. Отказы ВВБ в установленный период эксплуатации, вызванные нормальным её износом, составляют 2,5% от общего числа неисправностей. При анализе причин происхождения установлено следующее: причиной возникновения отказов является эксплуатация автомобиля с неисправным ДВС, что приводит к недопустимому разряду ВВБ и разрушению её элементов.

На надёжность элементов ГСУ оказывают влияние климатические условия эксплуатации. В соответствии с сервисным бюллетенем замена свечей зажигания регламентируется через каждые 100 тыс. км пробега, но исходя из проведённого анализа неисправностей срок их службы в климатических условиях РФ (умеренно-холодная климатическая зона) снижается до 50-75 тыс.км.

Таким образом, в результате анализа установлено следующее:

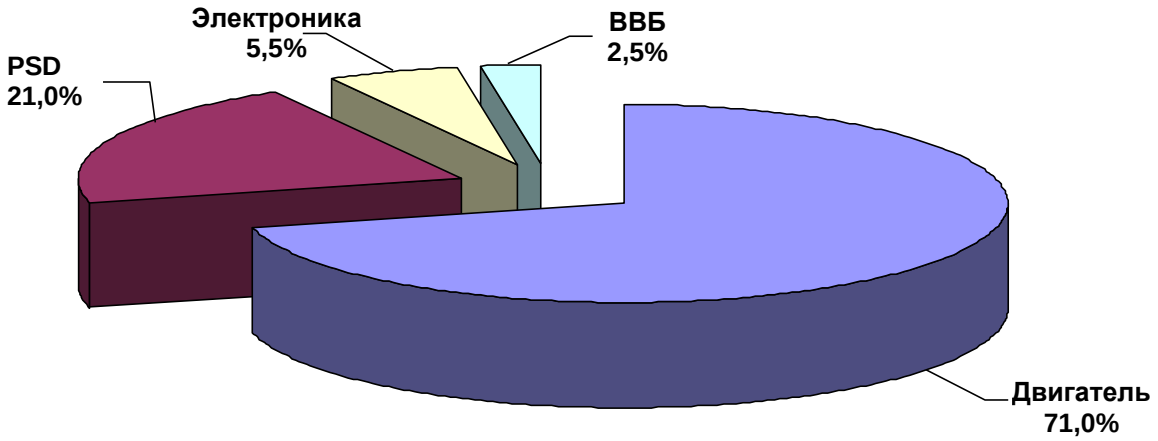



**Рис. 16. Диаграмма распределения отказов по элементам ГСУ**

Первое - стандартные методы диагностирования силового агрегата на неподвижном автомобиле не могут быть применены в полном объёме.

Второе - взаимовлияние неисправности одних элементов ГСУ на работоспособность других, что является причиной одной из самых распространенных ошибок при постановке диагноза.

Третье - влияние климата и условий эксплуатации. Эксплуатация показала необходимость коррекции периодичности межсервисных пробегов.

## 3.2. Оценка закономерности изменения технического состояния ГСУ по пробегу автомобиля

Характер изменения технического состояния в зависимости от пробега может быть различный, это может быть линейная, логарифмическая или полиномиальная зависимость. Распределение потока отказов систем ГСУ по интервалам носит нарастающий характер, который может соответствовать одной из зависимостей. Достоверность соответствия тому или иному закону оценена коэффициентом детерминации $R^2$, который показывает уровень соответствия выборки уравнению регрессии, чем ближе он к единице, тем выше уровень достоверности.

$$R^2 = SS_{РЕГ} / SS_{ОБЩ} .$$

Сумма квадратов, обусловленная регрессией ($SS_{РЕГ}$) равна сумме квадратов отклонений расчётных значений $\hat{y}_i$ переменной $Y$ от её выборочного среднего $\bar{y}$.

$$SS_{РЕГ} = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 .$$

Общая сумма квадратов ($SS_{ОБЩ}$)равна сумме квадратов отклонений фактических значений $y_i$ переменной Y от её выборочного среднего $\bar{y} = \sum y_i / n$

$$SS_{ОБЩ} = \sum (y_i - \bar{y}).$$

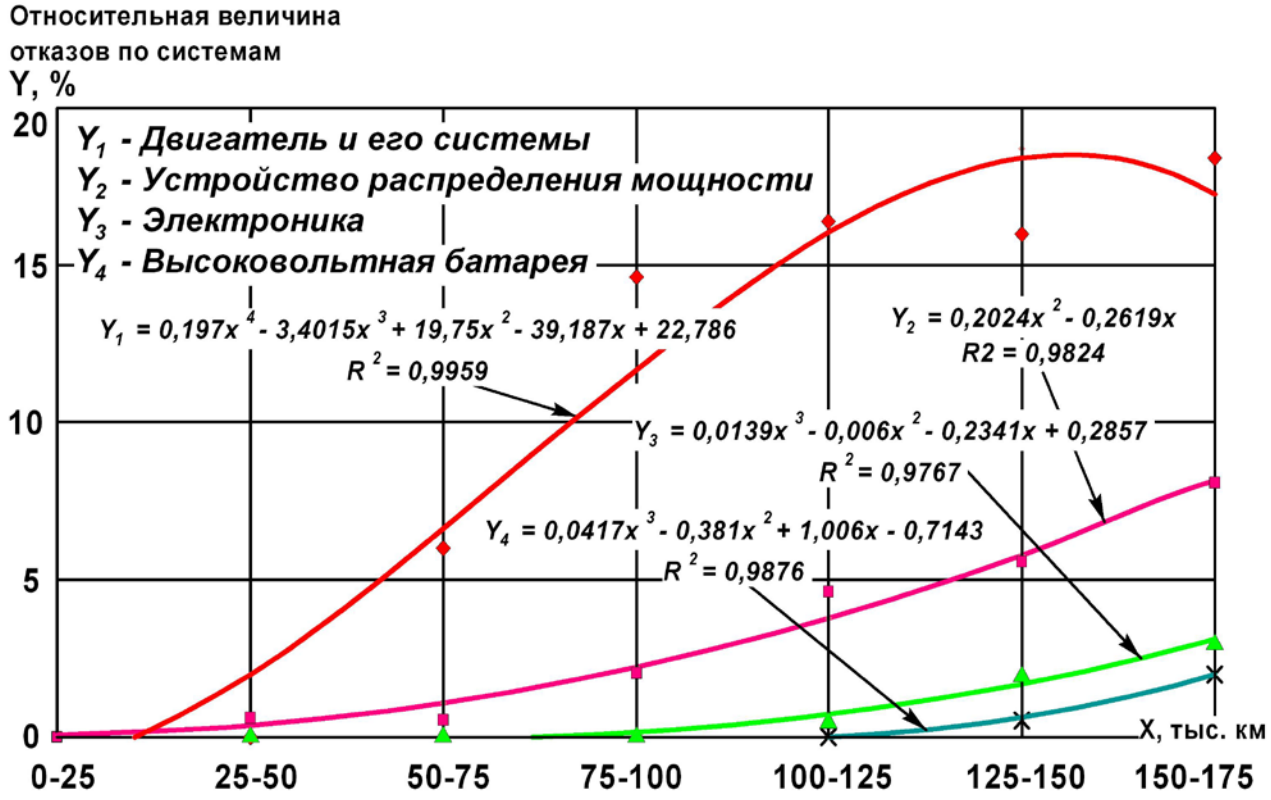



**Рис. 17. Закономерности изменения отказов в работе систем ГСУ в зависимости от интервалов пробега**

Для расчёта уравнений регрессии и $R^2$ использованы ресурсы Microsoft Excel. [15]. Приемлемый уровень коэффициента детерминации имеет полиномиальный закон распределения. На рис. 17 представлены аппроксимирующие кривые изменения закономерностей систем ГСУ по данным табл. 7.

Отбор автомобилей в выборку произведен с соблюдением ряда условий. В исследовании участвовали автомобили, эксплуатируемые на твёрдых дорожных покрытиях в условиях работы умеренно-холодной климатической зоны. В сервисном бюллетене нет ограничений по использованию автомобиля в режиме такси и условия климатической зоны, что также учтено в выборке.

Таблица 10

Законы регрессии по коэффициенту детерминации кривой

| № п/п | Наименование агрегата и системы | Коэффициент детерминации $R^2$ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Линейный закон | Логарифмический закон | Полиномиальный закон |
| 1 | Двигатель | 0,9372 | 0,7566 | **0,9959** |
| 2 | Устройство распределения мощности (PSD) | 0,9115 | 0,7334 | **0,9824** |
| 3 | Электроника | 0,729 | 0,4953 | **0,9767** |
| 4 | Высоковольтная батарея (ВВБ) | 0,5213 | 0,3216 | **0,9876** |

### 3.3. Вероятностная оценка отказов ДВС и его систем

Исходя из статистических данных наибольшее число отказов ГСУ связано с ДВС и его системами, остальные отказы чаще всего являются следствием его неисправности. Отказы происходят в межсервисных интервалах, по некоторым из них не предусмотрена проверка и обслуживание. Для определения целесообразности корректировки периодичности ТО произведена оценка вариации случайной величины отказов и неисправностей по ДВС и его системам [94].

1. Параметры выборки:

Число автомобилей: n = 143 ед.

Исходная величина: пробег до отказа, тыс. км.

2. Точечные оценки отказов по ДВС и его системам:

Средний пробег до отказа или неисправности ДВС

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \frac{(62{,}5 \times 12) + (87{,}5 \times 29) + (112{,}5 \times 33) + (137{,}5 \times 32) + (162{,}5 \times 37)}{143} = 121{,}77 \text{ тыс.км}$$

размах СВ: $z = x_{max} - x_{min} = 162{,}5 - 62{,}5 = 100 тыс.км$

среднеквадратичное отклонение, характеризующее вариацию:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{143} (62{,}5 - 121{,}77)^2 + (62{,}5 - 121{,}77)^2 + \ldots + (162{,}5 - 121{,}77)^2}{143 - 1}} = 32{,}32 тыс.км$$

коэффициент вариации

$$\upsilon = \sigma / \bar{x} = 31{,}93 / 123{,}7 = 0{,}26$$

3. Вероятностные оценки

Таблица 11

Вероятностная оценка отказов ДВС и его систем по интервалам

| **Номер интервала *j*** | **Интервал *Δx*, тыс. км** | **Середина интервала $x_j$, тыс.км** | **Число отказов $n_j$ в интервале** | **Частость (вероятность) $\omega_i \approx p_i$** | **Оценка накопленных вероятностей** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **отказ *F*** | **безотказность *R*** |
| 1 | 0-25 | 12,5 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 2 | 25-50 | 37,5 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 3 | 50-75 | 62,5 | 12 | 0,09 | 0,09 | 0,91 |
| 4 | 75-100 | 87,5 | 29 | 0,2 | 0,29 | 0,71 |
| 5 | 100-125 | 112,5 | 33 | 0,23 | 0,52 | 0,48 |
| 6 | 125-150 | 137,5 | 32 | 0,22 | 0,74 | 0,26 |
| 7 | 150-175 | 162,5 | 37 | 0,26 | 1,00 | 0 |
| Всего | - | - | 143 | 1,00 | - | - |

4. Гамма процентный ресурс $x_\gamma$

$$R = P(x_i > x_\gamma) \geq \gamma .$$

При технической эксплуатации автомобилей для двигателя и его систем обычно применяю $\gamma = 90\%$ [82]. Исходя из табл. 11 $x_\gamma$ составит *63,75 тыс. км.*

Данная величина может быть использована для корректировки периодичности ТО по заданному уровню безотказности

5. Интенсивность отказов $\lambda(x)$

$\lambda(x) = f(x) / R(x)$

1-й, 2-й интервал $\lambda(x) = 0$; 3-й интервал $\lambda(x) = 0{,}004$

4-й интервал $\lambda(x) = 0{,}0163$; 5-й интервал $\lambda(x) = 0{,}079$

6-й интервал $\lambda(x) = 0{,}103$; 7-й интервал $\lambda(x) \to \infty$

6. Графическое изображение СВ (рис. 17)

*Устройство распределения мощности.*

1. Параметры выборки:

Число автомобилей: n = 42 ед.

Исходная величина: пробег до отказа, тыс. км.

2. Точечные оценки отказов по устройству распределения мощности:

Средний пробег до отказа или неисправности ДВС

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} = \frac{(37{,}5\times 1)+(62{,}5\times 1)+(87{,}5\times 4)+(112{,}5\times 9)+(137{,}5\times 11)+(162{,}5\times 16)}{42} = 132{,}74\,тыс.\ км$$

размах СВ: $z = x_{max} - x_{min} = 162{,}5 - 37{,}5 = 125 тыс.км$

коэффициент вариации

$$\upsilon = \sigma / \bar{x} = 31 / 121{,}77 = 0{,}24$$

Таблица 12

Вероятностная оценка отказов PSD по интервалам

| **Номер интервала *j*** | **Интервал *Δx*, тыс. км** | **Середина интервала $x_j$, тыс.км** | **Число отказов $n_j$ в интервале** | **Частость (вероятность) $\omega_i \approx p_i$** | **Оценка накопленных вероятностей** | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | **отказ *F*** | **безотказность *R*** |
| 1 | 0-25 | 12,5 | 0 | 0 | 0 | 1,00 |
| 2 | 25-50 | 37,5 | 1 | 0,03 | 0,03 | 0,97 |
| 3 | 50-75 | 62,5 | 1 | 0,03 | 0,06 | 0,94 |
| 4 | 75-100 | 87,5 | 4 | 0,09 | 0,15 | 0,85 |
| 5 | 100-125 | 112,5 | 9 | 0,21 | 0,36 | 0,64 |
| 6 | 125-150 | 137,5 | 11 | 0,26 | 0,62 | 0,38 |
| 7 | 150-175 | 162,5 | 16 | 0,38 | 1,00 | 0 |
| Всего | - | - | 42 | 1,00 | - | - |

3. Плотность вероятности по интервалам $F(x) = \int_{-\infty}^{x} f(x)dx$

1-й интервал $F(1000 км) = 0$; 2-й интервал $F(1000 км) = 0{,}0012$;

3-й интервал $F(1000 км) = 0{,}0024$; 4-й интервал $F(1000 км) = 0{,}006$;

5-й интервал $F(1000 км) = 0{,}0144$; 6-й интервал $F(1000 км) = 0{,}0248$;

7-й интервал $F(1000 км) = 0{,}04$

Данная величина может быть использована для загрузки поста ТО и Р.

4. Гамма процентный ресурс $x_\gamma$

$$R = P(x_i > x_\gamma) \geq \gamma$$

При технической эксплуатации автомобилей для узлов, не влияющих на безопасность движения обычно принимают $\gamma = 85\%$ [75]. Исходя из табл. 12 $x_\gamma$ составит *87,5 тыс. км.*

Данная величина может быть использована для корректировки периодичности ТО по заданному уровню безотказности.

5. Интенсивность отказов $\lambda(x)$

$$\lambda(x) = f(x) / R(x)$$

1-й интервал $\lambda(x) = 0$; 2-й интервал $\lambda(x) = 0{,}0012$

3-й интервал $\lambda(x) = 0{,}0025$; 4-й интервал $\lambda(x) = 0{,}007$

5-й интервал $\lambda(x) = 0{,}0225$; 6-й интервал $\lambda(x) = 0{,}065$

7-й интервал $\lambda(x) \to \infty$.

6. Графическое изображение СВ (рис. 17).

## 3.4. Определение стратегии и тактики поддержания работоспособности элементов ГСУ

### Двигатель и его системы

Согласно проведённому анализу потока отказов и неисправностей в выборке высокий уровень отказов наблюдается по двигателю внутреннего сгорания. Система зажигания не обеспечивает надёжную работу в принятом заводом-изготовителем интервале ТО автомобиля. Основными элементами, выходящими из строя, являются свечи зажигания, уплотнительные колпачки свечей и провода зажигания. Как показывает график $Y_1$ (рис. 17) неисправности системы зажигания имеют стареющий характер с постепенным изменением технического состояния. При этом интенсивность старения может изменяться в зависимости от условий эксплуатации. Возможными стратегиями поддержания работоспособности системы зажигания является техническое обслуживание или ремонт (замена неисправных элементов). Согласно руководству по ремонту и обслуживанию [84] в системе зажигания двигателя применяются свечи зажигания с тонким иридиевым напылением, регулировка и очистка таких свечей зажигания запрещена инструкцией по ТО и Р. Резиновые колпачки при старении высыхают и трескаются, при этом нарушается герметичность, на наружном изоляторе свечи образуется тонкая токопроводящая плёнка. Высоковольтные провода имеют нормативное значение сопротивления токопроводящей жилы, со временем жила может выгореть, сопротивление повода увеличится. Таким образом стратегия поддержания работоспособности элементов системы зажигания заключается в их замене. Выяснено, что для исследуемой выборки автомобилей данные действия с вероятностью $\gamma = 90\%$ должны быть проведены на интервале пробега не более 63,75 тыс. км, или на каждом 6-м ТО.

Возможны следующие тактики поддержания работоспособности: замена комплекта свечей в установленный интервал 60 тыс. км. (ТО-6) либо определение их технического состояния каждое ТО, начиная с ТО-6. Для выявления экономически целесообразной стратегии использован ***технико-экономический метод***. При расчёте использованы следующие показатели: стоимость комплекта свечей зажигания (С1) - 2892 руб.; стоимость работ по замене комплекта - (С2) 250 руб.; диагностика снятого комплекта свечей зажигания - 200 руб.

Как определено ранее, замена свечей зажигания с $\gamma = 90\%$ для условий эксплуатации умеренно-холодного климата должна быть произведена не позже ТО-6 (60 тыс.км.). При увеличении периодичности стоимость операции обслуживания будет снижаться, как показано в табл. 13.

Расчёт приведённых затрат на операцию при замене *по пробегу*:

$$З_П = (C1 + C2) / X_i, руб./1000км.$$

Расчёт приведённых затрат на операцию при замене *по состоянию*:

$$З_C = \frac{C1 + C2 \times (n+1) + C3 \times n}{X_i}, руб./1000км,$$

где n – количество дополнительных операций.

Таблица 13

Сводная таблица сравнения затрат на поддержание работоспособности системы зажигания по пробегу и по фактическому состоянию

| **Периодичность замены, тыс. км.** | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** | **60** | **70** | **80** | **90** | **100** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Приведённые затраты на операцию при замене по пробегу, руб./1000км. | 314,20 | 157,10 | 104,73 | 78,55 | 62,84 | 52,37 | 44,89 | 39,28 | 34,91 | 31,42 |
| Приведённые затраты на операцию при замене по состоянию, руб./1000км. | - | - | - | - | - | 55,70 | 54,17 | 53,03 | 52,13 | 51,42 |
| Экономия, руб./1000. км. | - | - | - | - | - | -3,33 | -1,80 | -0,66 | 0,23 | 0,95 |

Экономия при замене по состоянию составит: $Э_i = З_П - З_C, руб./1000км$.

Как следует из представленных расчётов (табл. 13) затраты на замену по состоянию незначительно оправдывают себя и только в том случае, если операция будет произведена на ТО-9 или ТО-10, в связи с чем в данном случае рационально использование тактики по пробегу.

## Устройство распределения мощности и силовая электроника

Исходя из графика (рис. 17) основной причиной отказов PSD является неисправность циркуляционного насоса системы охлаждения обмоток МГ1, МГ2 и электронных ключей инверторов. Отказы данного типа носят внезапный характер, при этом может возникнуть полная потеря работоспособности автомобиля и повреждение дорогостоящих элементов электропривода.

Конструкция циркуляционного насоса системы охлаждения не предусматривает выполнение его ремонта и диагностики с целью определения остаточного ресурса работы, завод-изготовитель не регламентирует проверку данного узла. Отказ циркуляционного насоса приводит к повышению температуры охлаждающей жидкости. Тепло от обмоток электромоторов поднимется вверх к инвертору, в результате перегреваются и выходят из строя силовые транзисторы, а если они выдерживают - сгорают обмотки МГ. На 20-м кузове электроника при перегреве инвертора отключает его. Самые распространён-

ные ошибки по блоку управления ГСУ - P3125 и P3109 связаны именно с отказом циркуляционного насоса системы охлаждения.

Стратегия поддержания работоспособности в этом случае может заключаться в периодической замене циркуляционного насоса по определённой наработке, либо по работоспособному состоянию с проверкой перед каждой поездкой, но в этом случае при дальней поездке может наступить полный отказ автомобиля. Таким образом, тактика поддержания работоспособности с периодической заменой узла по определенному пробегу для установленной γ – вероятности может обеспечить надёжную эксплуатацию во всех условиях. Как было определено ранее периодичность замены циркуляционного насоса при $\gamma = 85\%$ должна составлять 87,5 тыс. км (ТО-9).

Примерная стоимость циркуляционного насоса (С1) составляет 6000 руб.; стоимость работ по замене (С2) – 800 руб.

### Высоковольтная батарея

Число отказов, связанных с ВВБ группы из 200 автомобилей минимально. Выявлены единичные случаи в послегарантийный период эксплуатации (пробег >160 тыс. км). Поддержание требуемого уровня заряда ВВБ, защиту от перезаряда, разряда, перегрузки осуществляет ЭБУ ГСУ. Проведён анализ существующих случаев по отказам ВВБ в период эксплуатации. Основными причинами неисправности или повреждения ВВБ является: нарушение рекомендаций по эксплуатации автомобиля, повреждение при выполнении ремонта. Основные рекомендации для поддержания технически-исправного состояния ВВБ завода-изготовителя: не ездить на автомобиле без бензина, при длительном хранении запускать двигатель на 30 минут минимум раз в месяц.

Таким образом, с точки зрения технической эксплуатации дополнительных работ, помимо соблюдения рекомендаций завода-изготовителя по поддержанию ВВБ в исправном состоянии в течение всего срока службы автомобиля, не требуется.

## 3.5. Формулировка задач

В результате проведённого исследования выяснено, что существующая инфраструктура обслуживания не способна выполнять задачи поддержания технически исправного состояния автопарка автомобилей с ГСУ. Наиболее значимые причины этого следующие: большие затраты на приобретение дорогостоящего диагностического оборудования; отсутствие квалифицированных инженеров со знаниями в области ГСУ; в рекомендованном заводом бюллетене на сервисное обслуживание не учтены более тяжелые условия эксплуата-

ции в РФ. Новые подходы к проведению технического обслуживания требуют специальной подготовки персонала. Начальные знания в области электрифицированных ТС могут быть даны в вузах на базе специальностей «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Эксплуатация автомобильного транспорта», путём обновления существующих дисциплин, добавления курса лекций по комбинированным приводам, а также создание экспериментальной лабораторной базы, что может быть достигнуто в рамках диссертационной работы.

С учётом определенных проблем и исходя из поставленных целей формулируются задачи исследования:

- разработка методик оценки технического состояния ГСУ автомобиля;
- исследование факторов, влияющих на периодичность выполнения ТО и Р ГСУ автомобиля;
- разработка методов экспериментальной оценки технического состояния ГСУ.

С учётом выбранной схемы ГСУ, в зависимости от типов и характеристик основных элементов, а также в зависимости от поставленных исследователями целей методика оценки технического состояния ГСУ должна быть применима к различным типам автомобилей с ГСУ, т.е. иметь возможность изменяться в зависимости от поставленной задачи.

Поставленные задачи могут быть достигнуты в рамках диссертационной работы.

## Выводы по главе

В легковом автопарке страны присутствует доля автомобилей с гибридными силовыми установками. По результатам информационного поиска автопарка автомобилей с ГСУ РФ и других стран установлено следующее: их количество ежегодно увеличивается более чем на 40%, большое число поддержанных автомобилей с ГСУ доставляется в Россию из Европы и США. Автопарк автомобилей с ГСУ представлен 16-ю различными моделями и их модификациями, 7 из которых продаются в России официально. В приложениях представлено подробное их техническое описание. Конструкция ГСУ автомобилей значительно отличается от традиционной схемы с ДВС, что приводит к дополнительным сложностям при эксплуатации и обслуживании. В результате информационного поиска и статистического анализа установлено: наиболее распространённым типом ГСУ является смешанная схема расположения элементов. Наиболее распространённая модель автомобиля с ГСУ - Toyota Prius.

Основными проблемами при эксплуатации и обслуживании ГСУ является:

1. Отсутствие возможности диагностирования элементов ГСУ на неподвижном автомобиле. Существующие методики не могут быть применены в полном объёме;

2. Взаимовлияние неисправностей одних элементов ГСУ на работоспособность других;

3. Существует взаимосвязь между климатическими условиями, возникающими отказами и неисправностями, в связи с чем необходима корректировка периодичности ТО;

4. Отсутствуют необходимые знания у обслуживающего инженерно-технического персонала, а также оборудование для оценки технического состояния и ремонта ГСУ.

Эти проблемы определяют дальнейшее направление исследований, основанное на использовании экспериментальных способов, возможностях вычислительной техники и электронного записывающего оборудования. Задача диагностирования элементов ГСУ может быть решена при разработке методики оценки работы ГСУ по выбранным диагностическим параметрам силового электропривода, таких как: потребление электрической энергии МГ1 (y1), возврат электрической энергии МГ1 (y2), потребление электрической энергии МГ2 (y3), возврат электрической энергии МГ2 (y4), потребление электрической энергии из ВВБ (y5), возврат электрической энергии в ВВБ (y6).

Таким образом, к мероприятиям, требующим научного подхода следует отнести разработку математического аппарата, методик, экспериментальной и технической базы, позволяющих оценить техническое состояние ГСУ и ключевых элементов: МГ1, ИН., МГ2, ВВБ.

Преимуществами выбранной методики оценки технического состояния является: отсутствие необходимости разборки агрегатов ГСУ; возможность определения состояния каждого узла ГСУ в отдельности, что будет способствовать решению проблем развития инфраструктуры обслуживания автомобилей с ГСУ.

# ГЛАВА 4
# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГСУ АВТОМОБИЛЕЙ

## 4.1. Общее описание разрабатываемой методики

На основании проведенного анализа причин неисправностей ГСУ и установленных закономерностей их возникновения определена уточненная цель работы – разработка методики оценки технического состояния ГСУ автомобилей, которая в отличие от уже известных методик учитывает взаимодействие двух потоков мощности. Методика относится к автоматизированным процессам диагностирования автомобилей, изложенным в книге Л.В. Мирошникова и др. авторов в 1977 году [30].

Эталонными параметрами, характеризующими работу ДВС и накопителя энергии, являются параметры рабочих процессов ГСУ, вычисляемые для заданных условий тестирования с помощью разработанной математической модели.

В качестве критерия оценки принята относительная величина отклонения $\Delta$ характеристики изменения фактического значения параметра $y_Ф$ от его теоретического эталонного значения $y_Т$.

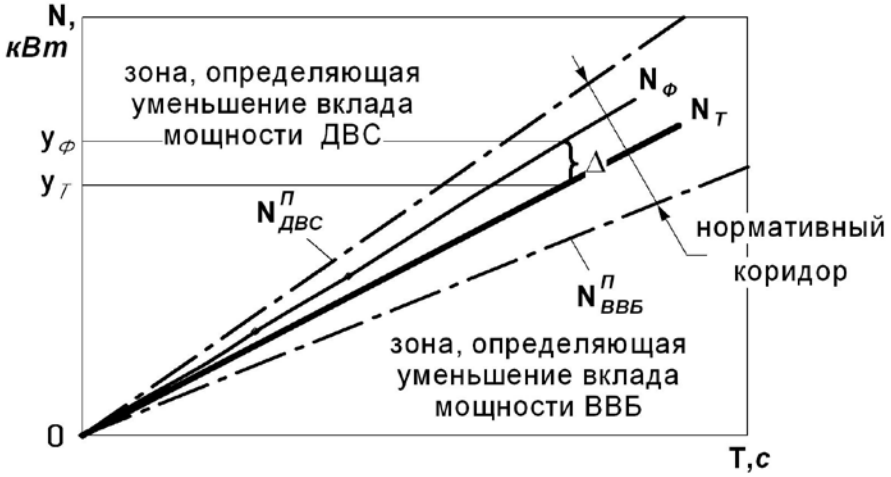



**Рис. 18. График зависимости изменения мощности в цепи высоковольтной батареи от времени, где $N^{П}_{ДВС}$ – граница допустимого технического состояния ДВС; $N^{П}_{ВВБ}$ – граница допустимого технического состояния высоковольтной батареи; $N_Ф$ – фактическое значение диагностического параметра; $N_Т$ – теоретическое значение диагностического параметра**

В аналитической форме критерий оценки имеет вид:

$$\pm \Delta = \sum_{i=1}^{n} ( y_Т - y_Ф ) \rightarrow min .$$

Диагностическим параметром «*y*» является временная зависимость изменения значений мощности в цепи высоковольтной батареи.

При исправном техническом состоянии ГСУ величина отклонения $\Delta$ должна быть минимальной. Отклонение диагностического параметра в сторону верхней границы свидетельствует о неисправности ДВС (рис. 18), в сторону нижней границы – о неисправности высоковольтной батареи.

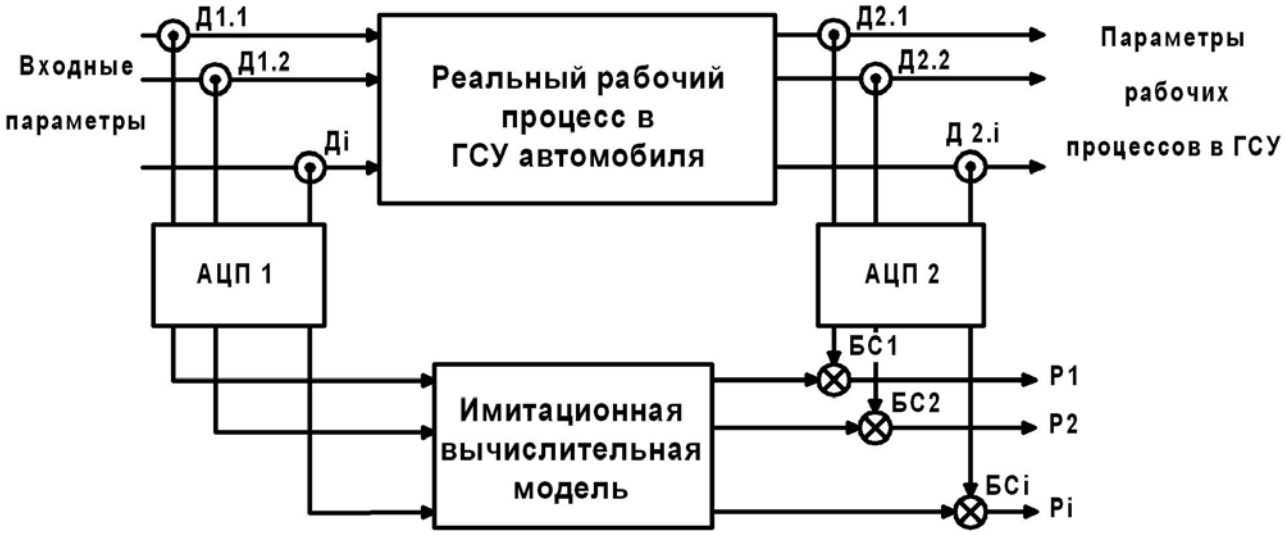



**Рис. 19. Функциональная схема методики оценки технического состояния ГСУ**

Работа автомобиля является системой технических процессов, взаимосвязанных между собой. Водитель (диагност) либо некое стимулирующее устройство воздействует на ГСУ посредством педали акселератора. Под данным воздействием происходит рабочий процесс (автомобиль ускоряется), при этом в элементах ГСУ изменяются диагностические параметры, измеряемые с помощью датчиков. Датчики на входе *Д1.1- Д1.i*, (рис. 19) отслеживают входные данные о состоянии объекта (мгновенная скорость автомобиля). Датчики бесконтактного типа *Д2.1- Д2.i*, установленные на силовых цепях ГСУ, воспринимают реакцию на воздействие (выходные данные), весь поток диагностической информации поступает в аналого-цифровой преобразователь. Значения оцифрованных диагностических параметров от наиболее важных датчиков выводятся на экран дисплея в виде диаграмм. Сигнал с датчиков *Д1.1- Д1.* поступает в копирующую систему, моделирующую рабочий процесс. Копирующая система, представляющая собой идеализированную модель процесса, вычисляет значения диагностических параметров и формирует опорный сигнал для блоков сравнения *БС1-БСi.* Аналогичные сигналы поступают в блоки сравнения с датчиков *Д2.1- Д2.i,* где сравниваются по принципу «меньше» - «норма» - «больше». Результат сравнения поступает на дисплей в виде стандартного сигнала.

Программа записывает результаты замеров для последующего логического анализа с переработкой всей поступающей информации от ГСУ автомобиля.

Разрабатываемая математическая модель воспроизводит режим движения автомобиля с ГСУ по входным значениям и заданным параметрам, которые

указаны ниже. Модель включает 2 раздела: тяговый расчёт; энергетический расчёт, включая расчёт потерь в электроприводе, расчёт потерь в трансмиссии, расчёт энергии от рекуперации торможения.

При разработке методики учтены особенности устройства и работы автомобиля с ГСУ, накопленный научный опыт, необходимые рекомендательные документы и литературные источники [55, 61,63, 73, 74].

Методика расчёта заложена в алгоритм программы *ГСУ-АВТО* [79].

В процессе измерения ГСУ выводится на заданный режим работы с помощью стимулирующего устройства, датчики в силовых электрических цепях воспринимают сигналы, характеризующие диагностические параметры $S_i$.

Эти сигналы преобразуются в электрические, улучшаются с помощью аналого-цифрового преобразователя и аналогового мультипликатора, после чего поступают на средства отображения информации и записывающее устройство, где с учётом информации, полученной от копирующей системы, осуществляется анализ.

## 4.2. Выбор параметров оценки технического состояния ГСУ

Выбор диагностических параметров для оценки технического состояния ГСУ является сложной задачей. Это связано, с тем, что в выполнении рабочего выходного процесса (создании силы тяги на ведущих колёсах) участвуют четыре самостоятельных узла: двигатель, мотор – генератор 1, мотор – генератор 2 и высоковольтная батарея. Каждый из элементов является самостоятельным, работающим отдельно узлом.

Для рассматриваемой системы при установлении неисправности одного из узлов наиболее интересны обобщающие параметры, относящиеся к элементам ГСУ. При оценке технического состояния ГСУ, достаточно иметь информацию об обобщающих параметрах выходных процессов, характеризующих техническое состояние агрегата в целом (например, расход топлива на 100 км пути, максимальная отдаваемая мощность мотора и др.). При оценке отдельного узла или элемента могут быть использованы частные параметры технического состояния конкретного механизма, системы (например, сопротивление обмотки, саморазряд батареи), и их эталонные значения. Методики оценки состояния ДВС аналогичны тем, что используются в настоящее время.

При диагностировании ГСУ автомобиля Toyota Prius могут быть использованы параметры рабочих процессов и параметры сопутствующих процессов функционирующих механизмов.

Параметрами рабочих процессов ГСУ являются: мощность, развиваемая ГСУ (S1), расход топлива ГСУ (S2) [57], коэффициент энергетической эффективности ГСУ (S3) [1,3]. Рабочими процессами (диагностическими признаками) являются: электрическая мощность МГ1 в режиме электродвигателя (y1); электрическая мощность МГ1 (y2) в режиме генератора; электрическая мощ-

ность МГ2 (y3) в режиме электродвигателя; электрическая мощность МГ2 (y4) в режиме генератора; электрическая мощность ВВБ (y5) при разряде; электрическая мощность ВВБ (y6) при заряде; саморазряд ВВБ (y7); емкость ВВБ (y8).

Параметрами сопутствующих процессов являются: шум (s1), вибрации (s2), тепловыделение двигателя (s3), тепловыделение PSD (s4); тепловыделение ВВБ (s5). Параметры рабочих процессов ГСУ являются диагностическими параметрами, каждый из которых характеризуется фактической величиной и темпом её нарастания.

Параметры выходного процесса выбраны в соответствии с критериями оптимальности. Оценка выбранных параметров произведена в табл. 14.

При проведённой оценке, исходя из необходимых требований, выбраны диагностические параметры y1-y6. Параметры y5-y6 могут быть использованы как диагностические, только в комплексе с другими. Параметры y7-y8 целесообразно использовать как частные при определении предельно-допустимого состояния ВВБ.

Таблица 14

Оценка диагностических параметров на предмет соответствия критериям

| **Критерий \ Параметр процесса** | **y1** | **y2** | **y3** | **y4** | **y5** | **y6** | **y7** | **y8** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Функциональная важность для оценки технического состояния автомобиля | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 2. Однозначность в зависимости от наработки автомобиля | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 3. Чувствительность (информативность) по отношении к структурному параметру. | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 1 | 1 |
| 4. Стабильность при многократных измерениях, характеризуется степенью рассеивания. | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 2 | 2 |
| 5. Способность разделять и выявлять неисправности по месту их возникновения. | ● | ● | ● | ● | 3 | 3 | ● | 3 |
| 6. Обеспечивать технологичность и экономичность при диагностировании | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 4 | 4 |

Примечание

1. Параметр может быть измерен только в течение длительного промежутка времени
2. Зависит от температуры батареи.
3. Может являться следствием разных причин.
4. Большие затраты времени и на подготовительные работы.

Между структурными (S1-S2) и диагностическими (y1-y6) параметрами существуют взаимосвязи (рис. 20), зависящие от функциональных и конструктивных особенностей ГСУ. МГ1 принимает участие в создании мощности ГСУ, потребление энергии происходит в режимах движения с постоянной нагрузкой и при запуске ДВС. Работа МГ2 в режиме электродвигателя происходит при разгонах, в режиме генерации энергии при движении с постоянной нагрузкой и рекуперативном торможении.

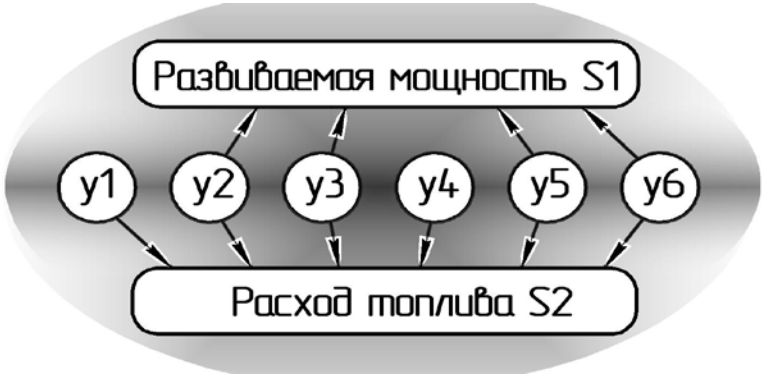



**Рис. 20. Связи между структурными и диагностическими параметрами: y1 - мощность МГ1 в режиме электродвигателя, кВт; y2 - мощность МГ1 в режиме генератора кВт; y3 - мощность МГ2 в режиме электродвигателя, кВт; y4 – мощность МГ2 в режиме генератора, кВт; y5 – мощность ВВБ в режиме разряда, кВт; y6 – мощность ВВБ в режиме заряда, кВт**

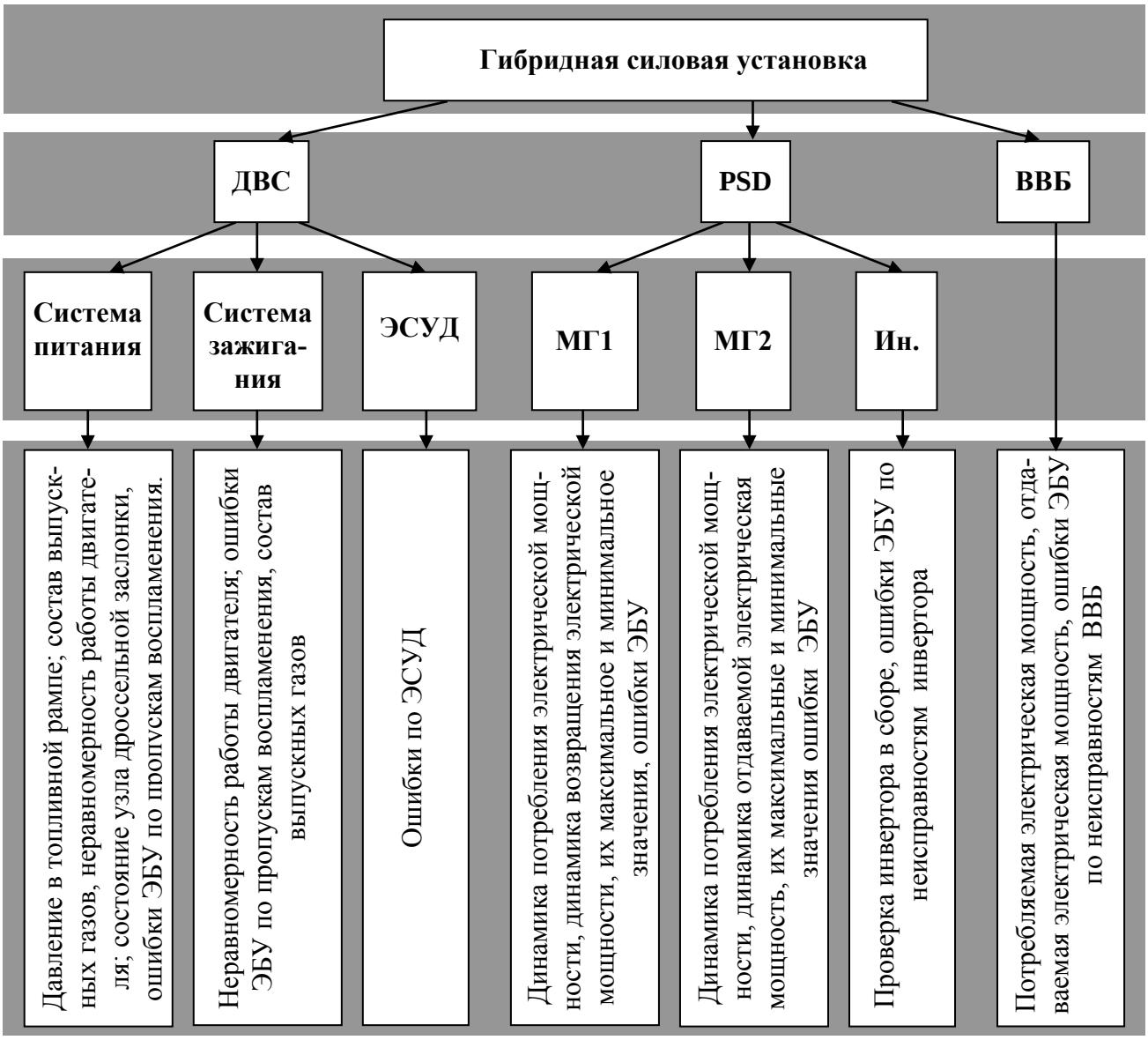



**Рис. 21. Структура отказов по узлам**

## 4.3. Разработка диагностических матриц выявления отказов и неисправностей элементов ГСУ

Важнейшим этапом процесса диагностирования является постановка диагноза. Ранее отмечалось, что ГСУ автомобиля состоит из основной силовой установки ДВС, электромоторов-генераторов МГ1 и МГ2 с инверторами и высоковольтной батареи, от каждого из элементов в определённой степени зависят параметры S1 и S2. Поставить диагноз в таком механизме с помощью использования одного параметра невозможно. Для решения задачи постановки диагноза в этом случае на основе данных о надежности объекта, структурно-следственной схемы объекта выявлены связи между его наиболее вероятными неисправностями и используемыми диагностическими параметрами. Для выявления этих связей построены диагностические матрицы, представляющие собой логическую модель, описывающую связи между диагностическими параметрами «у» и возможными неисправностями «А» объекта для нескольких режимов работы привода (табл. 15).

При диагностировании простой системы с однообразным режимом работы (например диагностика цилиндро-поршневой группы ДВС по одному из параметров), достаточно одной матрицы, однако для сложной системы этого может быть недостаточно. Например, в данном случае. Во время запуска ДВС выходе из допустимого предела параметра «у5 (цепь потребления ВВБ)» неисправность может быть вызвана нарушением работы нескольких узлов ($А_2$, $А_4$). Для выявления причины отказа понадобиться иметь диагностические матрицы для нескольких состояний системы.

Перечень возможных неисправностей ГСУ на основе имеющихся статистических данных (обобщённо по системам): ДВС ($А_1$); МГ1 ($А_2$); МГ2 ($А_3$); Ин. ($А_4$); ВВБ ($А_5$).

Перечень диагностических параметров, наиболее полно отражающих техническое состояние всех узлов ГСУ, их фактические величины и динамика изменения для модели с кузовом NHW20:

- мощность МГ1 (у1) в режиме электродвигателя (0÷33 кВт);
- мощность МГ1 (у2) в режиме генератора, (-33÷0 кВт);
- мощность МГ2 (у3) в режиме электродвигателя (0÷50 кВт);
- мощность МГ2 (у4) в режиме генератора (-5÷0 кВт);
- мощность ВВБ (у5) при разряде (0÷21 кВт);
- мощность ВВБ (у6) при заряде (-5÷0 кВт).

Нормативная величина динамики изменения параметров не постоянна, её характер изменения рассчитывается по заданным параметрам движения автомобиля, что делает данную методику универсальной.

Таблица 15

Матрица неисправностей ГСУ при углублённом диагностировании

| **Диагностические параметры** | **Возможные неисправности** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **ДВС ($A_1$)** | **МГ1 ($A_2$)** | **МГ2 ($A_3$)** | **Ин. ($A_4$)** | **ВВБ ($A_5$)** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| 1. Запуск двигателя | | | | | |
| y1+ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| y1- | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| y5+ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| y5- | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 2. Начало движения | | | | | |
| y2+ | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| y2- | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| y3+ | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| y3- | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| y5+ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| y5- | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| y6- | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 3. Ускорение, движение с большой нагрузкой | | | | | |
| y3+ | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| y5+ | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Y5- | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 4. Равномерное движение с малой нагрузкой | | | | | |
| y1+ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| y1- | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| y4+ | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| y4- | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 5. Движение накатом, торможение | | | | | |
| y4- | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| y6- | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |

(+) превышает нормативный коридор; (-) ниже нормативного коридора.

## Оптимизация совокупности диагностических параметров

Неисправности ДВС и ВВБ так же могут быть определены при упрощенной методике выявления неисправностей. Суть её в том, что каждый источник мощности вносит свой определённый вклад в процессе создания силы тяги на ведущих колёсах, такова особенность всех схем ГСУ (формула 4.1).

$$N_{\Sigma} = N_{ДВС} + N_{ВВБ} \tag{4.1}$$

Для того чтобы оценить вклад мощности двигателя $N_{ДВС}$ и накопителя энергии $N_{ВВБ}$ с помощью упрощённой методики, достаточно иметь информацию о характере изменения мощности одного из элементов.

Перечень диагностических параметров, необходимых для оценки технического состояния двигателя и накопителя энергии, их фактические величины для модели с кузовом NHW20:

- мощность ВВБ (у5) при разряде (0 ÷21 кВт);
- мощность ВВБ (у6) при заряде (-10÷0 кВт).

Конечно, существует вероятность того, что неисправным окажется, например, инвертор МГ1, МГ2. В этом случае конкретная причина неисправности может быть установлена системой самодиагностики ГСУ, что существенно сэкономит время диагностирования. Матрица неисправностей для упрощённой методики представлена в табл. 16.

Таблица 16

Матрица неисправностей ГСУ при упрощённом диагностировании

| **Диагностические параметры** | **Возможные неисправности** | |
|---|---|---|
| | **ДВС ($A_1$)** | **ВВБ ($A_5$)** |
| 1. Запуск двигателя | | |
| у5- | 0 | 1 |
| 2. Начало движения | | |
| у5+ | 1 | 0 |
| у5- | 0 | 1 |
| 3. Ускорение, движение на подъём | | |
| у5+ | 1 | 0 |
| у5- | 0 | 1 |
| 4. Движение накатом, торможение | | |
| у4- | 0 | 1 |
| у6- | 0 | 1 |

(+) превышает нормативный коридор; (-) ниже нормативного коридора.

Таким образом, параметры технического состояния ключевых узлов ГСУ в различных условиях работы, наиболее полно говорят об их техническом состоянии, что в совокупности с системой самодиагностики и сопутствующими параметрами выходных процессов улучшает показатели качества постановки диагноза при оценке технического состояния ГСУ.

## 4.4. Разработка способов определения параметров оценки технического состояния ГСУ на автомобиле

### Способ для углублённой оценки технического состояния

При более углублённой оценке технического состояния возможно узнать всю информацию как о мощности в отдельной цепочке, так и о суммарной мощности развиваемой ГСУ. Для этих целей в силовую часть электропривода устанавливаются 3 датчика тока и 2 датчика напряжения.

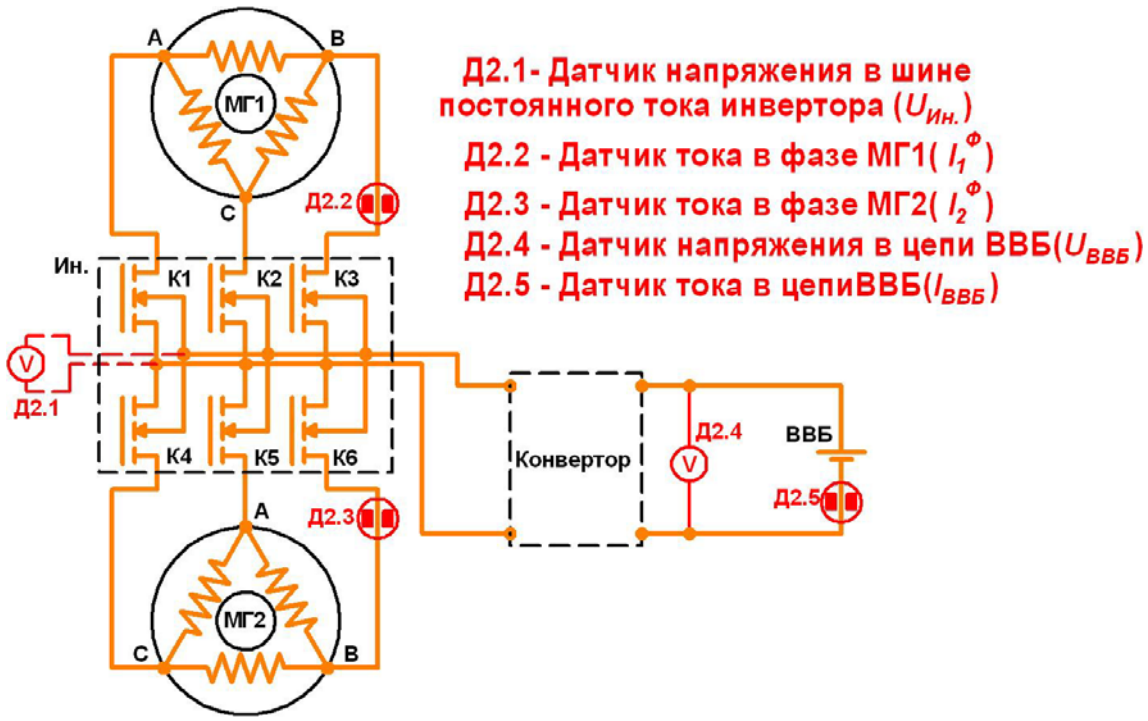



**Рис. 22. Схема подключения диагностических датчиков для углублённой оценки**

В некоторых типах электроприводов возможна установка датчиков тока в цепи постоянного тока инверторов управления МГ. В ГСУ автомобиля модели Toyota Prius для измерения доступны фазные токи, это необходимо учитывать при расчёте мощности. Если в инверторе напряжение постоянного конвертируется в более высокое, как на автомобилях Lexus, Toyota Prius NHW20, ZVW30, необходимо использовать оба датчика напряжения, тогда значение $U_1$ будет в пределах *500-650В,* значение $U_2$ будет в пределах 160-240 В, в других случаях возможна установка одного датчика напряжения, так как $U_1 = U_2$.

Для получения расчётного значения параметров электрической мощности из первичного оцифрованного сигнала используются следующие зависимости:

1. Электрическая мощность в цепи МГ1: $P_1 = 3 \times I_1^{Ф} \times U_{Ин.} \times cos\varphi_1$, *кВт.*

2. Электрическая мощность в цепи МГ2: $P_2 = 3 \times I_2^{Ф} \times U_{Ин.} \times cos\varphi_2$, *кВт.*

3. Электрическая мощность в цепи ВВБ: $P_3 = I_3 \times U_{ВВБ}$, *кВт.*

Для синхронных электродвигателей с ротором на постоянных магнитах, используемых в автомобилях с ГСУ $cos\varphi \approx 1$ для модели Prius NHW20, значение параметра $P_1$ будет находиться в пределах (*-33÷33 кВт*), $P_2$ – в пределах (*-5÷50 кВт*), $P_3$ – в пределах (*-21÷5 кВт*) согласно табл. 2 (прил.1).

Так как 1 Ватт электрической мощности эквивалентен 1 Ватту механической мощности [66], возможно сравнение расчётных и экспериментальных значений полученных параметров.

В блоках сравнения, куда поступают опорное значение параметров $N_1 - N_4$ и информация о расчётных значениях параметров $P_1 = P_3$, где происходит допусковый контроль по равенствам (4.2-4.5).

$$N_1 = P_1 \pm \Delta; \quad (4.2)$$

$$N_2 = P_2 \pm \Delta; \quad (4.3)$$

$$N_3 = P_3 \pm \Delta \text{ (при разгоне);} \quad (4.4.)$$

$$N_4 = P_3 \pm \Delta \text{ (при торможении),} \quad (4.5)$$

где $\Delta$ – допустимое расхождение в сигналах.

### Упрощённый способ оценки технического состояния

На практике углублённая оценка технического состояния не всегда оправдана, т.к. не отвечает критериям, таким как: минимальное время оценки, минимальная трудоёмкость; минимальное количество оценочных параметров. Данный способ целесообразно применять только при имеющейся необходимости уточнения неисправности. Для того, чтобы оценить работоспособность двигателя и электрической части, достаточно знать вклад каждого из ключевых элементов (ДВС и ВВБ). Например, если известен характер изменения мощности ГСУ ($N_{ГСУ}$) при разгоне и требуется узнать, какую часть энергии вложил ДВС при ускорении, то измерив характеристику вклада энергии ВВБ, возможно узнать значение мощности ДВС. При этом, если в процессе диагностирования установлено, что ВВБ отдала энергии больше норматива, то можно сделать вывод, о том, что ДВС не отдал её в необходимом количестве, значит он неисправен. Если ВВБ было отдано энергии меньше норматива, то наиболее вероятно, что неисправность в ней самой.

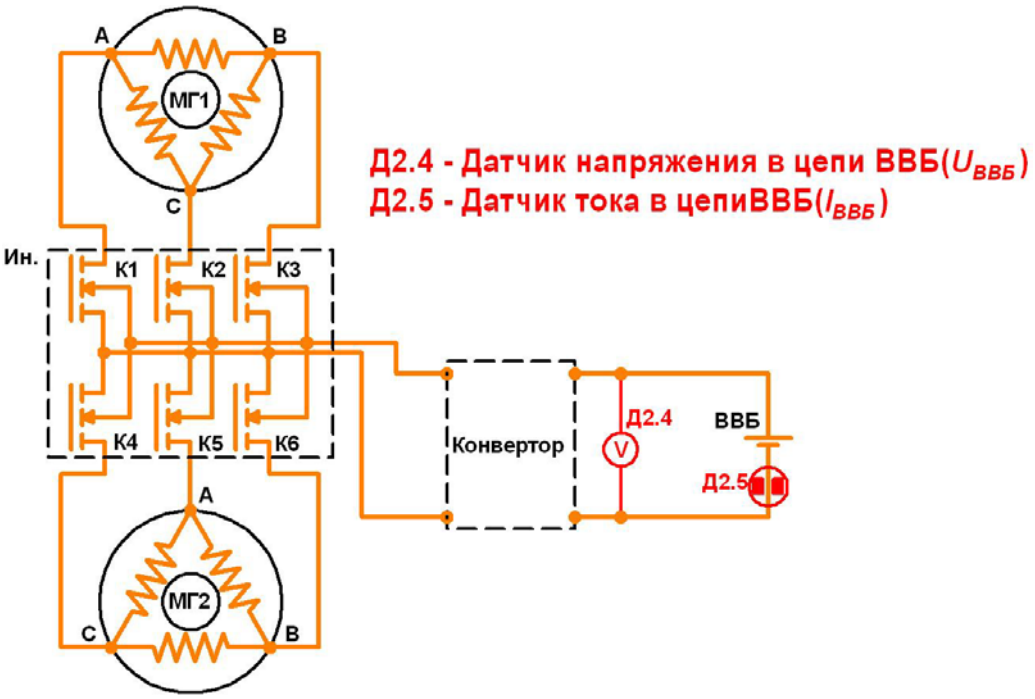



**Рис. 23. Схема подключения диагностических датчиков для упрощённой оценки**

Для использования данного способа достаточно иметь информацию только от датчика тока и напряжения в цепи ВВБ, что экономит время диагностирования, снижает трудоёмкость диагностирования.

*Д2.4.* Динамика изменения напряжения в цепи ВВБ – $U$ ;

*Д2.5.* Динамика изменения силы тока в цепи ВВБ – $I$.

Электрическая мощность в цепи ВВБ

$$P = I \times U \text{ , } кВт.$$

Мощность двигателя и ВВБ будет вычисляться следующим образом:

– энергия отданная ДВС: $N_{ДВС} = N_{\Sigma}$;

– энергия отданная ВВБ: $N_{ВВБ} = N_2$.

Опорным значением для блока сравнения будет характеристика изменения мощности в цепи ВВБ в динамике при разгоне (4.6).

$$N_{ВВБ} = N_2 \pm \Delta, \qquad (4.6).$$

где $\Delta$ – допустимое расхождение в сигналах.

Таким образом, найденная зависимость позволяет теоретическим путём находить и оценивать закономерности изменения мощности ГСУ со смешанной схемой соединения элементов. Результаты вычислений будут сравниваться с экспериментальными значениями, благодаря чему будут сделаны выводы о техническом состоянии ГСУ автомобиля.

## 4.5. Алгоритм расчёта параметров оценки технического состояния ГСУ

Алгоритм расчёта состоит из 2 основных частей: особенностей тягово-мощностного баланса автомобиля с ГСУ и анализа цепочек передачи мощности в элементах в приводе.

### Особенности тягово-мощностного баланса автомобиля с ГСУ

Исходными данными как для реальной системы «Работа автомобиля с ГСУ», так и для модели, копирующей систему, являются параметры маршрута движения. Вычислительный блок ГСУ узнаёт о них по сигналам с датчиков и измерительных алгоритмов блоков управлений, в модели они задаются массивом данных изменения скорости во времени на маршруте, а также другими вводными данными, характеризующими работу автомобиля и элементы ГСУ в первом приближении.

Программа позволяет вводить данные для расчёта ГСУ ТС с последовательной, параллельной и смешанной схемами передачи энергии. В качестве аналога (примера) в данном расчёте выбрана модель Toyota Prius, как один из самых распространённых автомобилей с ГСУ в РФ.

В данном случае использован стандартный городской цикл по протоколу испытаний легковых автомобилей (директива 80/1268 ЕС 2004 год, ГОСТ Р 41.84-99) [92].

Исходные данные:

1. Характеристика участка движения

– характеристика цикла движения: $V = f(t)$;

– характеристика продольных углов дороги: $\alpha = f(t)$.

2. Заданные технические показатели ТС

– масса ТС ($m$);

– коэффициент сопротивления качению ( $f_a$);

– площадь Миделя ($F$);

– коэффициент обтекаемости ($k_B$);

– коэффициент учёта вращающихся масс ($k_m$).

Основные зависимости

Тяговый расчёт основывается на общепринятых физических законах и зависимостях [71,81,98]. Ниже представлены формулы, используемые для расчёта.

1. Средняя скорость движения на всём участке

$$V_{CP} = \frac{\sum_{1}^{n} V_i}{n}, \text{ [м/с]}, \tag{4.7}$$

где $V_i$ – скорость в отдельно взятой точке, м/с;

$n$ – количество точек на участке.

2. Длина отдельно взятого интервала на участке

$$S_i = \frac{V_i \cdot t \cdot 1000}{3600}, \text{ [м]}, \tag{4.8}$$

где $t$ – время прохождения отдельного интервала (1 с.).

3. Длина испытуемого участка

$$S_{\Sigma} = \sum_{1}^{n} S_i, \text{ [м]}. \tag{4.9}$$

4. Ускорение движения на отдельно взятом участке

$$a_i = \frac{(V_{i-1} - V_i)}{(3{,}6 t_i)}, \text{ [м/с}^2\text{]} \tag{4.10}$$

5. Среднее ускорение на всём участке

$$a_{CP} = \frac{\sum_{1}^{n} a_i}{n}, [м/с^2] \quad (4.11)$$

6. Вес транспортного средства

$$G_a = M \cdot g, [H], \quad (4.12)$$

где $g$ - ускорение свободного падения.

7. Мощность силы сопротивления качения в отдельно взятой точке [28]

$$N_{Ki} = \frac{F_{Ki} \cdot S}{t \cdot 1000} = \frac{G \cdot f_a \cdot \cos\alpha \cdot t \cdot V_i}{t \cdot 3600} = \frac{G \cdot f \cdot \cos\alpha \cdot V_i}{1000}, [кВт] \quad (4.13)$$

8. Средняя мощность силы сопротивления качению на всём участке

$$N_{K.CP} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{Ki}}{n}, [кВт] \quad (4.14)$$

9. Мощность силы сопротивления воздушного потока в отдельно взятой точке

$$N_{Bi} = \frac{F_{Bi} \cdot S_i}{t \cdot 1000} = \frac{F \cdot k_B \cdot V_i^2 \cdot t \cdot V}{t \cdot 1000} = \frac{F \cdot k_B \cdot V_i^3}{1000}, [кВт] \quad (4.15)$$

10. Средняя мощность силы сопротивления воздушного потока на всём участке

$$N_{B.CP} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{Bi}}{n}, [кВт] \quad (4.16)$$

11. Мощность силы сопротивления инерции в отдельно взятой точке

$$N_{Ии} = \frac{F_{Ии} \cdot S_i}{t \cdot 1000} = \frac{F_{Ии} \cdot M \cdot a_i \cdot k_M \cdot t \cdot V_i}{t \cdot 1000} = \frac{M \cdot a_i \cdot V_i \cdot k_M}{1000} =, [кВт] \quad (4.17)$$

12. Средняя мощность силы инерции на всём участке

$$N_{И.СР} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{Иi}}{n}, [кВт] \quad (4.18)$$

13. Мощность силы сопротивления подъёму в отдельно взятой точке

$$N_{Пi} = \frac{G_a \cdot V_i \cdot \sin(\alpha_i)}{3600}, [кВт] \quad (4.19)$$

14. Средняя мощность силы сопротивления подъёму на всём участке

$$N_{П.СР} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{Пi}}{n}, [кВт] \quad (4.20)$$

15. Мощность силы тяги на ведущих колёсах в отдельно взятой точке

$$N_{Ti} = N_{Ki} + N_{Bi} + N_{Иi} + N_{Пi}, [кВт] \quad (4.21)$$

16. Средняя положительная мощность силы тяги на всём участке движения

$$N_{Т.ПОЛ.СР} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{Т.ПОЛ.СРi}}{n}, [кВт] \quad (4.22)$$

17. Средняя мощность отрицательной силы тяги (торможения) на всём участке

$$N_{Т.ОТР.СР} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{Т.ОТРi}}{n}, [кВт] \quad (4.23)$$

**Анализ цепочек передачи мощности в элементах в приводе**

Исходя из проведённого анализа (глава 1) выяснено, что схема ГСУ модели Toyota Prius может работать как последовательная и как параллельная одновременно, т.е. необходимо рассматривать оба варианта работы привода.

На рис. 24 представлена схема ГСУ со смешанной схемой соединения элементов:

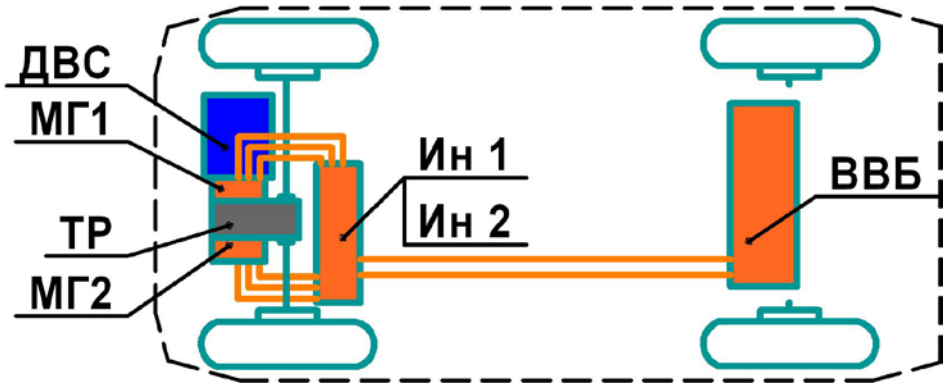



**Рис. 24. Смешанная схема**

Как было отмечено ранее, схема со смешанным соединением элементов наиболее выгодна при движении в условиях частых разгонов-торможений.

Согласно данным, приведённым в главе 1, энергия, вырабатываемая ДВС, разделяется на 2 потока. Доля 28% преобразуется в МГ1 в электрическую, оставшиеся 72% передаются через водило планетарной передачи на коронное зубчатое колсо, редуктор и на ведущие колеса автомобиля.

● Цепочка $N_1$. Мощность от ДВС преобразуется в МГ1 в электрическую, затем через инверторы Ин1,2 расходуется на движение с помощью МГ2.

● Цепочка $N_2$. Мощность от ДВС преобразуется в МГ1 в электрическую, затем расходуется на заряд ВВБ, откуда при необходимости подается на МГ2, где преобразуется в механическую и поступает на колеса автомобиля.

● Цепочка $N_3$. Мощность от ДВС передаётся на колеса автомобиля через водило планетарной передачи, коронное зубчатое колесо и редуктор.

● Цепочка $N_4$. При торможении энергия от колес автомобиля передается через редуктор на МГ2, инвертор Ин2 и накапливается в ВВБ, откуда повторно расходуется при необходимости.

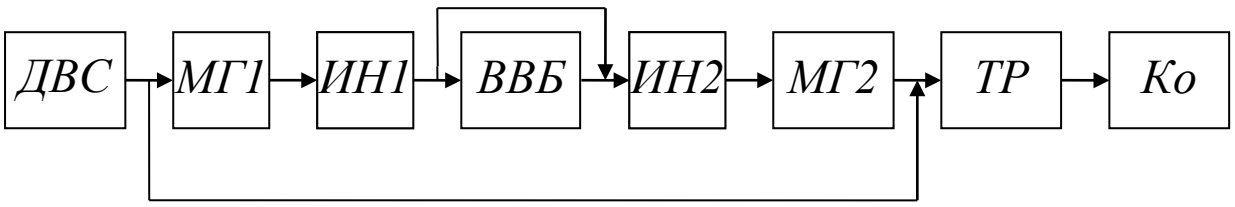



**Рис. 25. Блок-схема цепочки потерь в приводе**

ДВС со смешанной схемой не отвечает за изменение скорости движения автомобиля, а работает в стационарном режиме, постоянно отдавая всю вырабатываемую мощность на заряд ВВБ и колёса. При отсутствии нагрузки на колёсах и полном заряде батареи мощность, вырабатываемая ДВС, не может быть реализована, в этом случае при соблюдении определённых условий (раз-

дел 1.1) он выключается. Исходя из этого, можно сказать, что вся развиваемая ДВС мощность (вырабатываемая энергия) будет израсходована на движение и потери в приводе. Также можно сказать, что часть этой энергии вернётся благодаря рекуперации энергии при торможении. Отсюда выражение:

$$N_{ДВС} = \frac{N_{СР}}{К \times \eta_{П}} - N_{Т.СР} \times \eta_{Р} = \frac{N_{СР.ПР} + N_{СР.НЭ}}{К \times \eta_{П}} - N_{СР.Т} \times \eta_{Р}, \text{ кВт} \qquad (4.24)$$

где $N_{ДВС}$ - необходимая мощность *ДВС* с учётом потерь в приводе, *кВт*;

*К* – коэффициент, эффективного режима работы *ДВС* на данном участке, определён экспериментальным путём [6].

$\eta_{П}$ - *КПД* привода;

$N_{СР}$ - средняя мощность на ведущих колёсах автомобиля;

$N_{Т.СР}$ - средняя мощность торможения на маршруте, *кВт*;

$\eta_{Р}$ - *КПД* рекуперации на маршруте;

$N_{СР.ПР}$ - средняя мощность, потребляемая напрямую от генераторной установки на маршруте, *кВт*;

$N_{СР.НЭ}$ - средняя мощность, проходящая через накопитель энергии на маршруте, *кВт*.

Фактически $N_{СР}$ - это мощность *ДВС*, затраченная на движение автомобиля с учётом потерь в приводе и возвратом энергии при рекуперации. Известно, что часть энергии будет передана от ДВС на колёса по прямой цепочке, а часть через накопитель энергии, но вся энергия будет передана на колёса. В обоих случаях потери будут различны. Исходя из этого, каждую цепочку потерь нужно рассматривать отдельно.

**Передаваемая мощность в электроприводе с учётом потерь ($N_1$)**

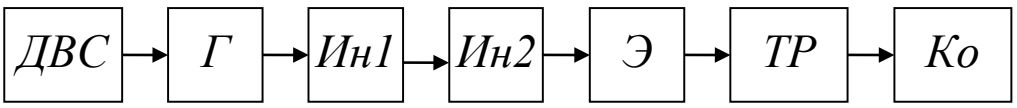



**Рис. 26. Блок-схема цепочки потерь при прямой передаче энергии**

Средняя мощность привода на участке, напрямую переданная на колёса автомобиля, будет равна всей средней мощности за вычетом той, которая передаётся через накопитель энергии.

$$N_{ПР.СР}(N_1) = N_{СР} - N_{СР.НЭ}, \text{ кВт} \qquad (4.25)$$

Мощность с учётом потерь в прямой цепочке привода

$$N_1 = \frac{N_{ПР.СР}}{K \times \eta_И^2}, \text{ кВт} \qquad (4.26)$$

с учётом КПД каждого из элементов привода

$$N_1 = \frac{N_{СР} - N_{НЭ.СР}}{K \times \eta_Г \times \eta_И^2 \times \eta_Э \times \eta_{ТР}}, \text{ кВт.} \qquad (4.27)$$

**Мощность с учётом потерь в электроприводе, передаваемая через накопитель энергии ( $N_2$ )**

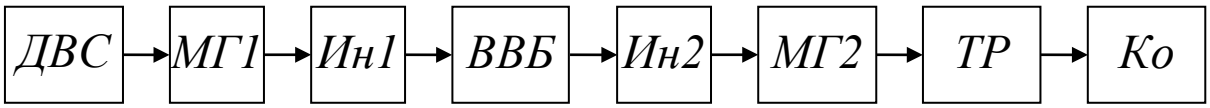



**Рис. 27. Блок-схема цепочки потерь при передаче энергии через ВВБ**

На графике (рис. 28) представлена кривая изменения средней мощности на участке.

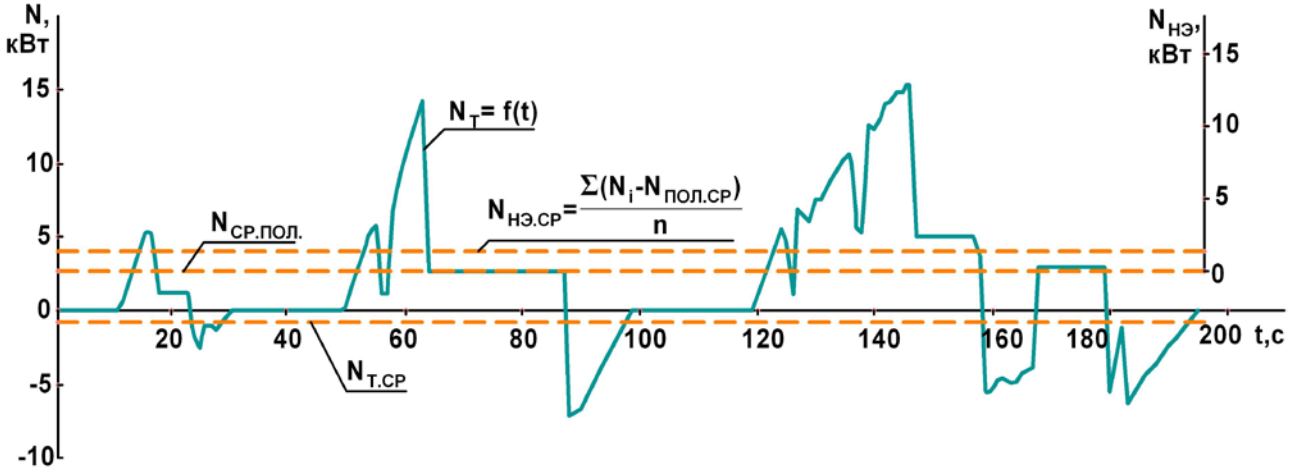



**Рис. 28. График мощности силы тяги на колёсах автомобиля в зависимости от времени, средней положительной, средней отрицательной и средней мощности накопителя энергии**

Среднее значение мощности между вершинами графика и прямой средней положительной мощности на участке $N_{СР.ПОЛ}$ (рис. 28) будет являться средней мощностью, тягового накопителя энергии ($N_{НЭ.СР}$) или проходящей через тяговый накопитель энергии в единицу времени на испытуемом участке.

$$N_{НЭ.СР} = \frac{\sum_1^n (N_i - N_{СР})}{n}, \text{ кВт (сумма если } N_i - N_{СР} > 0) \qquad (4.28)$$

В этом случае *n* – это общее количество точек на испытуемом участке.

$$N_2 = \frac{N_{НЭ.СР}}{К \times \eta_{ПР}}, кВт \qquad (4.29)$$

с учётом КПД каждого из элементов привода

$$N_2 = \frac{N_{НЭ.СР}}{К \times \eta_{Г} \times \eta_{ПР} \times \eta_{ТНЭ} \times \eta_{Э} \times \eta_{ТР}}, кВт. \qquad (4.30)$$

**Передаваемая мощность с учётом потерь в механической передаче ($N_3$)**

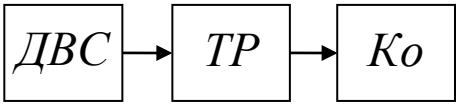



**Рис. 29. Блок-схема цепочки потерь при передаче энергии через механическую трансмиссию**

С учётом КПД трансмиссии:

.

$$N_3 = \frac{N_{ПР.СР}}{К \times \eta_{ПР}}, кВт \qquad (4.31)$$

**Средняя мощность рекуперации ($N_4$) с учётом потерь в приводе**

Часть энергия торможения возвращается в накопитель, после чего повторно расходуется на движение.

**Рис. 30. Блок-схема цепочки потерь при реализации мощности возвращённой при торможении**

Мощность, дополнительно получаемую благодаря рекуперации на участке, можно найти, зная среднюю отрицательную мощность на колёсах (из тягового расчёта), заданному КПД рекуперации и КПД элементов привода.

$$N_4 = N_{Т.ОТР.СР} \times \eta_{Р} \times \eta_{ПР}, кВт \qquad (4.32)$$

где $\eta_р$ - *КПД* рекуперации.

С учётом потерь в каждом из элементов

$$N_4 = N_{T.OTP.CP} \times \eta_P \times \eta_K \times \eta_{TP} \times \eta_{МГ2} \times \eta_И \times \eta_{ВВБ}, кВт \qquad (4.33)$$

Суммарная или необходимая мощность *ДВС* складывается из переданной на прямую механическим путём и электрическим путём, через накопитель энергии, потерь при передаче энергии в приводе, а также с учётом возврата энергии торможения:

$$N_{КСУ} = N_1 + N_2 + N_3 - N_4, кВт. \qquad (4.34)$$

## 4.6. Программа вычисления эталонных значений параметров оценки технического состояния ГСУ

*Описание*

ГСУ работает в оптимальном режиме работы, накопитель заряжается до достижения максимальной энергии, после чего происходит переход на холостой ход последующее отключение ДГУ. Возможна ручная установка требуемой ёмкости накопителя или автоматическая. Возможно задание режима работы ДВС (постоянно включён или отключён при заряде накопителя).

*Порядок вычислений*

1 – ввод значений: $K$, $\eta_Г, \eta_{ПР}, \eta_Э, \eta_{НЭ}, \eta_{ТР}, \eta_Р, I$.

2 – вычисление $N_{НЭi}$: логическое сравнение $N_{Ti} > N_{T.CP}$

2.1 – если «да»: по формуле $N_{НЭi} = N_{Ti} - N_{T.CP}, кВт$

2.2 – если «нет»: $N_{НЭi} = 0, кВт$

3 – вычисление $N_{НЭ.СР}$ по формуле 4.35

4 – вычисление $N_{ПР.СР}$ по формуле 4.36

5 – вычисление $N_1$ по формуле 4.37

6 – вычисление $N_2$ по формуле 4.38

7 – вычисление $N_3$ по формуле 4.39

8 – вычисление $N_4$ по формуле 4.40

9 – вычисление $N_{КСУ}$ по формуле 4.41

10 – построение графика $N_{КСУ} = f(t)$

11 – вычисление $N_{Эл.НОМ}$ по формуле 4.42

12 – вычисление $K_{НР}$ по формуле 4.43

13 – вычисление $\eta_{З.НЭ}$ по формуле 4.44

14 – вычисление $\eta_{П.НЭ}$ по формуле 4.45

15 – вычисление $\eta_{ПР.П}$ по формуле 4.46

16 – вычисление $\eta_{Р.\Sigma}$ по формуле 4.47

17 – вычисление $W_1$ по формуле 4.48

18 – ввод $N_{МАКС}$ (если «1»)

19 – вычисление $N_i$: логическое сравнение «0» или «1»

19.1 – если «1»: логическое сравнение $N_{Т.ПОЛi} - N_{ДВС} \cdot K \cdot \eta_{ПР.П} > 0$

19.1.1 – если «да»: логическое сравнение $N_{i-1} - \frac{N_{Т.ПОЛi} - N_{ДВС} \cdot K \cdot \eta_{ПР.П}}{\eta_{П.НЭ}} > N_{МАКС}$

19.1.1.1 – если «да»: $N_i = N_{МАКС}$

19.1.1.2 – если «нет»: логическое сравнение $N_{Т.ПОЛi} - N_{ДВС} \cdot K \cdot \eta_{ПР.П} > 0$

19.1.1.2.1 – если «да»: по формуле 4.49

19.1.1.2.2 – если «нет»: по формуле 4.50

19.1.2 – если «нет»: логическое сравнение

$$N_{i-1} - \left( - \left( N_{ДВС} \cdot K - \frac{N_{Т.ПОЛi}}{\eta_{ПР.П}} \right) \right) \cdot \eta_{З.НЭ} + \left| N_{Т.ОТРi} \cdot \eta_{Р.\Sigma} \right| > N_{МАКС}$$

19.1.2.1 – если «да»: $N_i = N_{МАКС}$

19.1.2.2 – если «нет»: логическое сравнение $N_{Т.ПОЛi} - N_{ДВС} \cdot K \cdot \eta_{ПР.П} > 0$

19.1.2.2.1 – если «да»: по формуле 4.49

19.1.2.2.2 – если «нет»: по формуле 4.50

19.2 – если «0»: логическое сравнение $N_{Т.ПОЛi} - N_{ДВС} \cdot K \cdot \eta_{ПР.П} > 0$

19.2.1 – если «да»: по формуле 4.49

19.2.2 – если «нет»: по формуле 4.50

20 – построение графика $N_i = f(t)$

21 – логическое сравнение: $N_{МИН} \geq 0$

21.1 – если «да»: «Емкости накопителя достаточно»

21.2 – если «нет»: «Мала емкость накопителя!»

22 – показатель работы двигателя $U_i$, ввод значения «0» - без отключений или «1» - автоматически отключается при отсутствии нагрузки

22.1 – если «0»: $U_i$ = «работает»

22.2 – если «1»: логическое сравнение $N_i < N_{МАКС}$

22.2.1 – если «да»: $U_i$ = «работает»

22.2.2 – если «нет»: $U_i$ = «отключён»

23 – вычисление $W_{ДВСi}$: логическое сравнение $U_i$ = «работает»

23.1 – если «да»: логическое сравнение $W_i < W_{МАКС}$

23.1.1 – если «да»: по формуле 4.51

23.1.2 – если «нет»: по формуле 4.52

23.2 – если «нет»: $W_{ДВСi} = 0$

24 – вычисление $W_{ДВС\Sigma}$ по формуле 4.53

25 – вычисление $B_i$ по формуле 4.54

26 – построение графика $B = f(t)$

27 – вычисление $B_\Sigma$ по формуле 4.55

28 – вычисление $B_{100}$ по формуле 4.56

Блок схема алгоритма расчёта представлена в прил.

*Используемые зависимости*

Средняя мощность, передаваемая через накопитель энергии:

$$N_{НЭ.СР} = \frac{\sum_{1}^{n} N_{НЭi}}{n}, \text{ кВт.} \quad (4.35)$$

Средняя мощность, передаваемая напрямую к колёсам автомобиля

$$N_{ПР.СР} = N_{Т.СР} - N_{НЭ.СР}, \text{ кВт.} \quad (4.36)$$

Средняя электрическая мощность, передаваемая напрямую

$$N_1 = \frac{N_{СР} - N_{НЭ.СР}}{K \times \eta_Г \times \eta_И^2 \times \eta_Э \times \eta_{ТР}}, \text{ кВт.} \quad (4.37)$$

Средняя электрическая мощность, передаваемая через накопитель энергии

$$N_2 = \frac{N_{НЭ.СР}}{K \times \eta_Г \times \eta_{Ин.} \times \eta_{ТНЭ} \times \eta_Э \times \eta_{ТР}}, \text{ кВт.} \quad (4.38)$$

Средняя мощность, передаваемая через механическую передачу

$$N_3 = \frac{N_{ПР.СР}}{K \times \eta_{ПР}}, \text{ кВт.} \quad (4.39)$$

Средняя мощность рекуперации

$$N_4 = N_{Т.ОТР.СР} \times \eta_Р \times \eta_К \times \eta_{ТР} \times \eta_{МГ2} \times \eta_{Ин.} \times \eta_{ВВБ}, \text{ кВт} \quad . \quad (4.40)$$

Средняя мощность ГСУ

$$N_{КСУ} = N_1 + N_2 + N_3 - N_4, \text{ кВт.} \quad (4.41)$$

Необходимая мощность электромотора

$$N_{Эл.НОМ} = \frac{[N_{Ti}]_{МАКС}}{1{,}6 \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_Э}, \text{ кВт.} \quad (4.42)$$

Коэффициент неравномерности нагрузки

$$K_{НР} = \frac{[N_{Ti}]_{МАКС}}{N_{Т.ПОЛ.СР}}. \quad (4.43)$$

КПД цепи заряда ВВБ

$$\eta_{З.НЭ} = \eta_Г \cdot \eta_{НЭ}. \quad (4.44)$$

КПД цепи потребления накопителя энергии

$$\eta_{П.НЭ} = \eta_{Ин.} \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_{Э}. \quad (4.45)$$

КПД прямого привода

$$\eta_{ПР.П} = \eta_{Г} \cdot \eta_{Ин.} \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_{Э}. \quad (4.46)$$

КПД цепи рекуперации

$$\eta_{Р.\Sigma} = \eta_{Р} \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_{Э} \cdot \eta_{Ин.} \cdot \eta_{НЭ} \quad . \quad (4.47)$$

Энергия в накопителе в начале испытания

$$W_1 = W_{НАЧ} + N_{ДВС} \cdot t \cdot К \cdot \eta_{НЭ} \cdot \eta_{Ин.} - \frac{N_{Т.ПОЛi=1} \cdot t}{\eta_{ТР} \cdot \eta_{Э} \cdot \eta_{Ин.}} + \left| N_{Т.ОТРi=1} \cdot t \cdot \eta_{Р.\Sigma} \right|, кДж. \quad (4.48)$$

Энергия в накопителе в текущей точке

$$W_i = W_{i-1} - \frac{N_{Т.ПОЛi} \cdot t - N_{ДВС} \cdot К \cdot \eta_{Ин.П} \cdot t}{\eta_{П.НЭ}}, кДж. \quad (4.49)$$

$$W_i = W_{i-1} - \left( - \left( N_{ДВС} \cdot К \cdot t - \frac{N_{Т.ПОЛi} \cdot t}{\eta_{ПР.П}} \right) \right) \cdot \eta_{З.НЭ} + \left| N_{Т.ОТРi} \cdot \eta_{Р.\Sigma} \right| \cdot t, кДж. \quad (4.50)$$

Энергия, вырабатываемая ДВС в текущей точке

$$W_{ДВСi} = N_{ДВС} \cdot t \cdot К, кДж. \quad (4.51)$$

$$W_{ДВСi} = \frac{N_{Т.ПОЛi} \cdot t}{\eta_{ПР.П}}, кДж. \quad (4.52)$$

Энергия, вырабатываемая ДВС за время испытания

$$W_{ДВС\Sigma} = \sum_{1}^{n} W_{ДВСi}, кДж. \quad (4.53)$$

Расход топлива в текущей точке

$$B_i = \frac{W_{ДВСi} \cdot I}{3600} \cdot 1000, мл. \quad (4.54)$$

Расход топлива за время испытания

$$B_\Sigma = \frac{\sum_{1}^{n} B_i}{1000}, л. \quad (4.55)$$

Приведённый расход топлива

$$B_{100} = \frac{B_\Sigma \cdot 100}{S_\Sigma}, л/100км. \quad (4.56)$$

## 4.7. Рекомендации по использованию методики

Независимо от характера изменения мощности (режима движения), а также от того, где снимаются показания (на стенде или в эксплуатации) модель вычисляет текущие значения выходных данных: теоретическое изменение энергии в накопителе, теоретическое изменение расхода топлива, теоретический приведённые расход топлива, средняя теоретическая мощность электропривода, интервалы включения и выключения двигателя.

Полученные значения должны совпадать с результатами замеров текущих параметров: динамики изменения мощности в цепи ВВБ, динамики изменения мощности МГ1, МГ2.

В соответствии с описанием возможных режимов работы двигателя, приведёнными в Главе 1 разгон до скорости 50 км/ч при уровне заряда накопителя энергии не менее 53% (1300кДж) может происходить в режиме с выключенным двигателем с последующим зарядом накопителя, или с работающим двигателем. Для удержания ДВС во включённом состоянии регулятор отопителя салона должен быть установлен в положение «горячий воздух».

Оценка технического состояния с выключенным ДВС осуществима при упрощённом способе, описанном в разделе 2.6, при этом в программе устанавливается значение $N_{ДВС} = 0$.

Для соблюдения условий достоверности проведения замеров необходимо выполнить следующие требования:

- ВВБ должна быть заряжена не менее чем до 50%;
- ДВС должен быть прогрет до рабочей температуры (замер температуры ДВС производится с помощью диагностического сканера);
- режим «без ДВС» должен быть выключен (автоматическое управление);
- давление в шинах должно соответствовать норме.

При проведении дорожных испытаний в программу заносят вес автомобиля с учётом имеющегося багажа и дополнительного пассажира с погрешностью не более 20 кг.

Во время испытания фиксируется мгновенная скорость. При пробных замерах показания изменения скорости снимались несколькими способами: по датчику положения ротора МГ2, с помощью спидометра на цифровом табло панели приборов. Наиболее удобными являются навигационные устройства, они же позволяют отследить изменение рельефа дороги.

Результаты испытаний не зависят от цикла движения, т.к. в теоретической модели используются именно фактические параметры маршрута и испытуемого автомобиля.

Дальнейшая работа связана с анализом полученных замеров и сравнения их с результатами теоретических расчётов. Результаты могут либо совпадать с допустимым интервалом, либо выходить за его пределы. В блоках сравнения БС, диагностической системы происходит сравнение реальных данных и полученных путём копирования. Положительным результатом является расхождение теоретических и экспериментальных исследований по параметру не бо-

лее 5%, это говорит о нормальном техническом состоянии ГСУ. При большем отклонении производят поиск причины расхождения.

Отклонение одного из параметров, например недозаряд ВВБ можно проследить по диаграммам текущих значений выходных параметров. В главе 4 подробно описывается практическая часть проведения замеров и другие возможные методики поиска причин неисправностей.

## Выводы по главе

Разработана идеализированная модель, которая позволяет рассчитать с определённым уровнем достоверности выходные параметры оценки технического состояния ГСУ автомобиля по входной информации о параметрах маршрута, самого автомобиля и ГСУ.

Разработана методика оценки технического состояния ГСУ, основанная на аналитическом сравнении характера изменения выходных параметров с опорным значением этих же параметров, полученных в результате расчёта.

Рекомендованы способы определения и записи параметров ГСУ при испытании по углублённой и упрощённой оценке технического состояния.

Углублённый способ наиболее полно оценивает техническое состояние ГСУ, но обладает избыточностью параметров, что увеличивает общее время и трудоёмкость диагностирования, увеличивает количество измерительной аппаратуры, усложняется логический процесс постановки диагноза.

При упрощённом способе оценки технического состояния использовано минимальное количество параметров, в связи с чем трудоёмкость диагностирования и затраты на оборудование минимальны, что в совокупности с бортовой системой диагностики позволяет адекватно оценить техническое состояние ключевых элементов ГСУ двигателя и накопителя энергии.

Разработаны диагностические матрицы оценки технического состояния ГСУ.

Разработанная методика будет использована в теоретических исследованиях оценки технического состояния ГСУ автомобиля.

# ГЛАВА 5
# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГСУ АВТОМОБИЛЕЙ

## 5.1. Теоретические исследования с применением стандартного ездового цикла ЕС 2004

Целью данного теоретического исследования является разработка усовершенствованного алгоритма поиска неисправностей автомобилей с ГСУ. При оценке технического состояния ГСУ автомобиля используются диаграммы изменения оценочных параметров, записанных в процессе испытаний, что позволяет сравнить их с результатами расчёта теоретической модели. В целях обеспечения возможности проверки математической модели использован стандартный ездовой цикл ЕС 2004 по директиве 80/1268 ЕСЕ (1/4 городского цикла), аналогичный цикл использован в ОСТ 37.001.054-86. В реальных условиях может быть задан любой другой цикл, записанный в процессе оценочных испытаний автомобиля с ГСУ.

Задачами исследования является:

- установление теоретических эксплуатационных характеристик автомобиля с ГСУ с использованием программы ГСУ-АВТО [79];
- проведение анализа негативных факторов, действующих на автомобиль при эксплуатации в РФ;
- установление закономерностей изменения основных технических характеристик от величины действия негативных факторов;
- разработка рекомендаций по применению предлагаемой методики при диагностировании автомобилей с ГСУ.

*Расчёт параметров ГСУ с использованием программы ГСУ-АВТО*

Расчёт произведён на стандартном программном обеспечении Microsoft Excel 2003. Математическим аппаратом является линейная математическая модель, описание алгоритма расчёта приведено в главе 2.

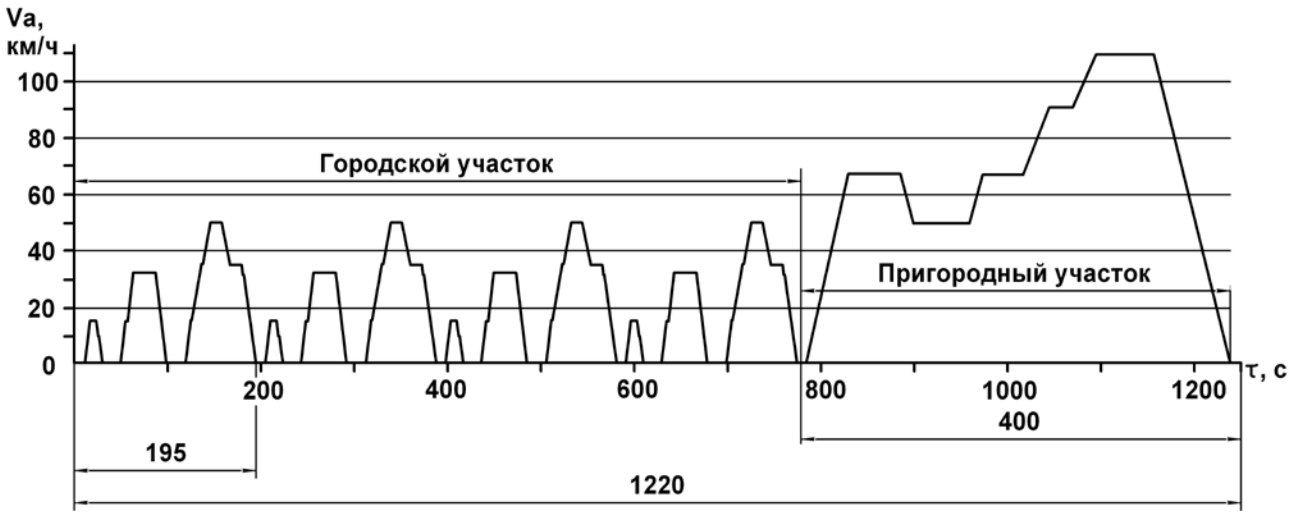



**Рис. 31. Полный стандартный Европейский ездовой цикл по директиве 80/1268 ЕС 2004 испытания автомобилей на токсичность**

Исходными данными по ТС являются: масса (м), кг; коэффициент сопротивления качению (fa); коэффициент обтекаемости (kв); площадь Миделя (F), м$^2$; коэффициент учёта вращающихся масс(kм).

**Исходные данные по тестируемому Европейскому городскому ездовому циклу ЕС 2004**

Наиболее интересен городской участок, состоящий из циклов с разгонами и торможениями до скорости 15, 32, 50 км/ч.

На рис. 32 представлена характеристика изменения скорости на участке.

**Рис. 32. ¼ городского цикла по директиве 80/1268 ЕС 2004 год**

Тягово-мощностной баланс показывает, как изменяются мощности сил сопротивления, действующих на ТС при движении, что необходимо для вычисления суммарной мощности сопротивления при движении ТС. Результаты расчёта изменения сил сопротивления представлены на рис. 33.

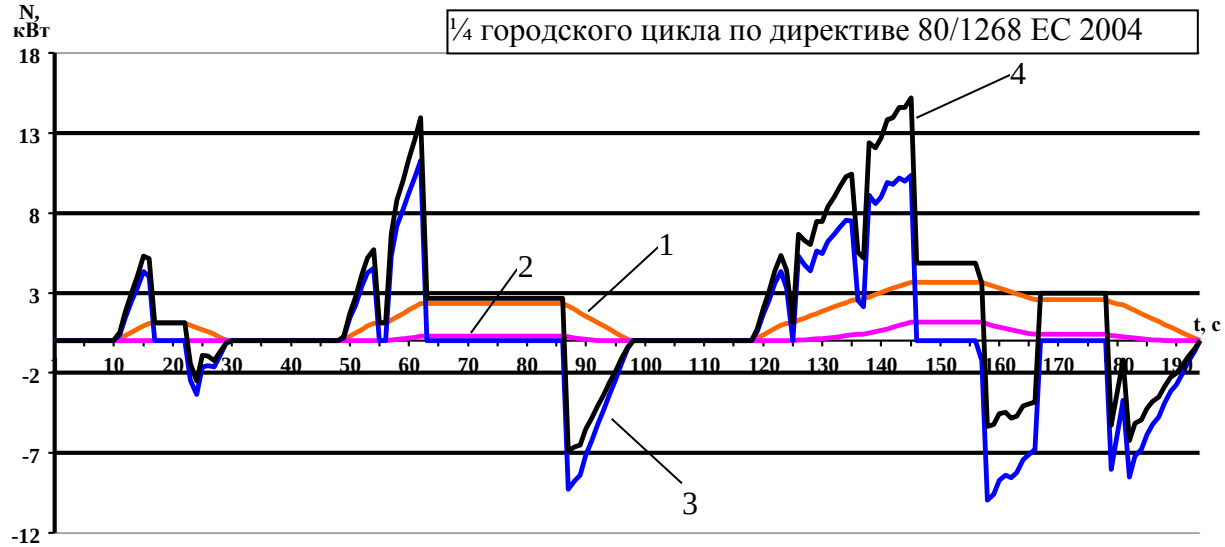



**Рис. 33. Результаты расчёта тягово-мощностного баланса:**
**1 – Кривая мощности сопротивления воздуха;**
**2 – Кривая мощности сопротивления качения;**
**3 – Кривая мощности сопротивления инерции;**
**4 – Кривая мощности на ведущих колёсах**

## Результаты вычисления

Расчёт выполнен с помощью программы ГСУ-АВТО по описанному в разделе 2.2 алгоритму

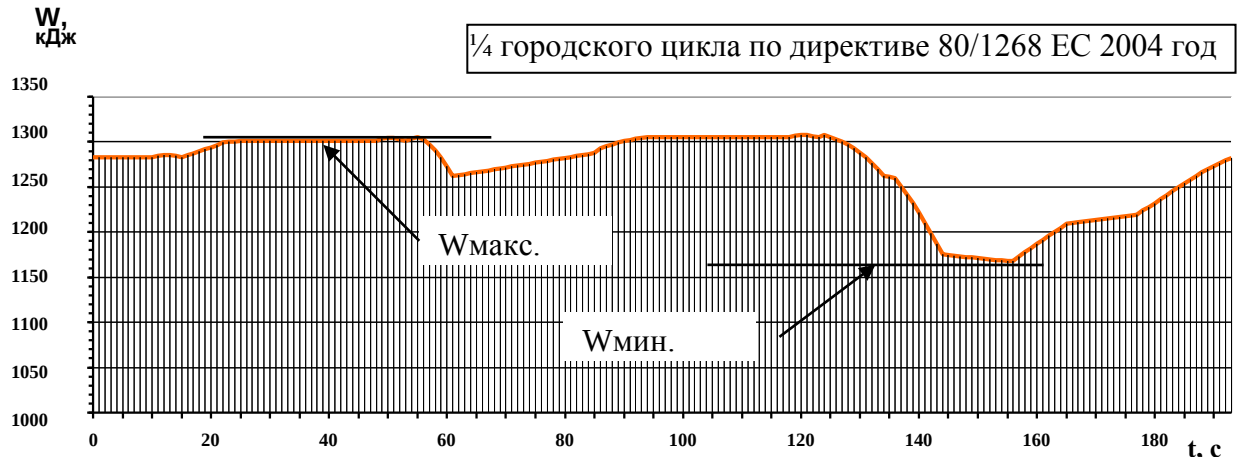



**Рис. 34. График изменения энергии в накопителе**

Как видно из графика (рис. 34) энергия в накопителе изменяется при движении и достигает 1330 кДж в самой максимальной точке, минимальное значение не падает ниже минимального значения, что говорит о достаточной ёмкости накопителя электрической энергии.

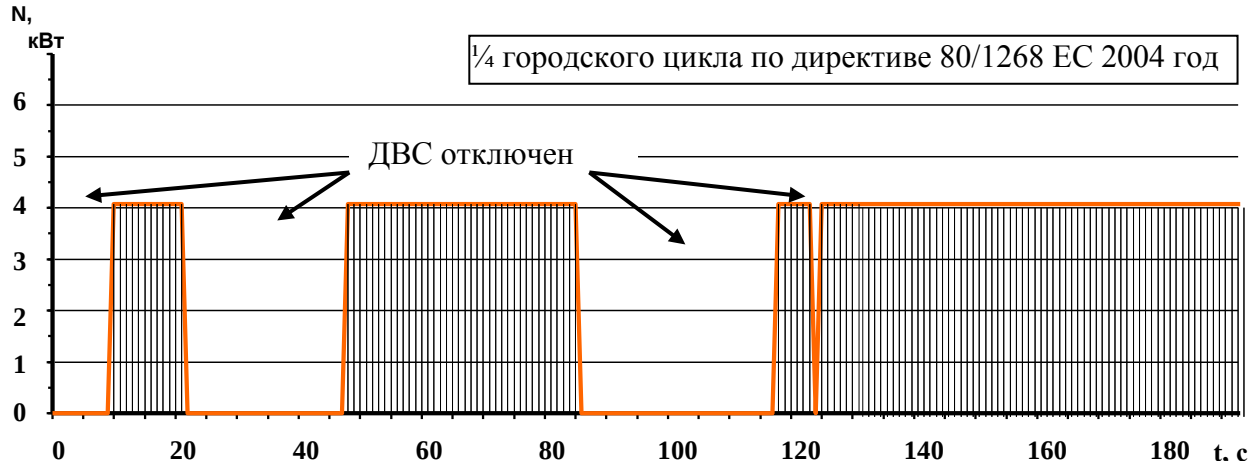



**Рис. 35. График изменения мощности на валу ДВС**

Полученная в результате вычислений временная зависимость (рис. 36) является эталонной для диагностических параметров **y5** и **y6** .

**Рис. 36. Временная зависимость изменения диагностического параметра в режиме разряда y5 (отрицательные значения) и режиме заряда y6 (положительные значения)**

| ГСУ-АВТО. Результаты энергетического расчёта | |
|---|---|
| Nпр.ср, кВт | 1,062 |
| Коэффициент использования двигателя, К | 1,0 |
| КПД генератора ηг | 0,9 |
| КПД инвертора, ηин.. | 0,98 |
| КПД электродвигателя, ηэ. | 0,9 |
| КПД накопителя энергии, ηнэ. | 0,8 |
| КПД трансмиссии ητр. | 0,92 |
| КПД рекуперации, ηр. | 0,6 |
| N1, кВт | 1,487 |
| N2,3 кВт | 2,04 |
| N4, кВт | 0,196 |
| Nдвс.макс., кВт | 4,08 |
| Nэл.дв.ном., кВт | 10,356 |
| Расчётный коэффициен неравномерности нагрузки | 6,024 |
| Начальная энергия в накопителе, кДж | 1280 |
| Максимальная энергия в накопителе (0-авто, 1-ручн.) | 1 |
| задать, если ручн., кДж | 2560 |
| Максимальная энергия накопителя если авто., кДж | 1308 |
| Емкости накопителя достаточно | 1167,8 |
| Режим работы ДВС (0-постоянно вкл., 1- полуавтомат.) | 1 |
| КПД заряда накопителя | 0,72 |
| КПД цепи потребления накопителя | 0,794 |
| КПД цепи при рекуперации энергии в накопитель | 0,381 |
| КПД прямого привода | 0,9 |
| Удельный расход топлива ДВС, (I) л/кВт*ч | 0,316 |
| Расход в л/100км | 4,268 |

ТС со смешанной схемой имеет расход топлива 4,268 л/100км, ёмкость накопителя изменяется от – 1,344 мДж до 1,168 мДж, средняя развиваемая ДВС мощность - 4,08 кВт.

## 5.2. Исследование факторов влияющих на периодичность технического обслуживания и ремонта ГСУ

В процессе эксплуатации автомобилей с ГСУ были выявлены факторы, влияющее на долговечность узлов ГСУ, а также периодичность проведения ТО и Р. Периодичность технического обслуживания, рекомендованная заводом изготовителем, составляет 10 тыс. км или указанный период в месяцах, в зависимости от того, что наступит ранее. Основными нормативными документами при проведении технического обслуживания являются: сервисная книжка на автомобиль; сервисный бюллетень; руководство по техническому обслуживанию и ремонту.

### Температурный режим

Подробно о влиянии температуры на срок службы Ni-MH ВВБ говорится в разделе 1.4. Представленные данные основываются на материалах сайтов http://www1.duracell.com/oem/Pdf/others/TECHBULL.pdf, https://panasonic.ca.

При понижении температуры увеличивается потребность в прогреве салона автомобиля, увеличивается время работы непрогретого двигателя, увеличивается общее время работы ДВС, т.е. он не выключается после полного заряда ВВБ. Данные факторы отражаются на экономичности автомобиля, расход топлива увеличивается на 15-30%. Также было замечено, что срок службы элементов системы зажигания при более низких температурах сокращается (табл. 7). Согласно сервисному бюллетеню периодичность их замены составляет 100 тыс. км, однако, в российских условиях умеренно-холодного, холодного климата отказы, связанные с работой свечей зажигания, возникают уже при 50-100 тыс. км, что составляет 23% от общего числа неисправностей.

При анализе работоспособности ВВБ (раздел 1.4) в условиях низких температур замечено следующее: емкость ВВБ при токах разряда 0,5-1С и температуре окружающей среды < -10ºС может упасть на 15-25%; саморазряд ВВБ при снижении температуры окружающей среды с 20ºС до -15ºС снижается с 3% до 1% в день. При сравнении гарантийных (рекомендуемых) сроков эксплуатации ВВБ в тёплом европейском климате и в реальных условиях Российского умеренно-холодного, холодного климата (согласно опыту работы автотехцентра GIBRIDs.ru) замечено следующее: номинальная емкость ВВБ к концу срока службы снижается менее чем на 15%, по сравнению с заявленной (30%). Данные факты объясняются замедлением разрушающих химических реакций внутри батарее из-за более низких температурах (более качественное охлаждение ВВБ). ДВС работает более длительное время до окончания прогрева, и это позволяет ВВБ оставаться в заряженном состоянии чаще.

## Транспортные условия, воздействие низкокачественного топлива

Эксплуатация автомобиля в тяжелых дорожных условиях сопряжена со следующим: повышенные динамические нагрузки на подвеску и кузов автомобиля; высокое содержание пыли в воздухе; механические воздействия дорожного покрытия; частые разгоны-торможения, длительное движение с малой скоростью, частый запуск двигателя в условиях отрицательных температур воздуха, передвижение на расстояние менее 10 км, движение с непрогретым двигателем. Российскую Федерацию компания-производитель относит именно к тяжёлым условиям эксплуатации. Буксировка прицепа или багажник на крыше автомобиля также относится к таким условиям.

Воздействие данных условий на обслуживание силовой установки можно оценить путём анализа результатов статистического исследования неисправностей узлов, подверженных повышенному воздействию, к таковым можно отнести: ДВС и его системы; ВВБ; трансмиссию ГСУ.

Частые запуски холодного двигателя неблагоприятно сказываются на работе системе смазки. Детали двигателя изнашиваются интенсивнее, быстрее загрязняется масляный фильтр ДВС.

Пыльный воздух быстрее загрязняет воздушный фильтр двигателя. Необходимость его замены можно оценить визуально, осмотр предусмотрен действующим регламентом каждое ТО, или 40 тыс. км пробега. Одной из частых неисправностей ДВС является неправильная работа датчика массового расхода воздуха ЭСУД. Причиной данной неисправности являются мельчайшие частицы пыли, не задержанные воздушным фильтром, попадающие на датчик. Предупреждение данной неисправности возможно путём своевременной проверки и промывки датчика. Все отказы, связанные с данной неисправностью, произошли после пробега 130 тыс. км. С учётом этого целесообразно введение дополнительной операции по проверке работы датчика или его промывке при пробеге 130 тыс. км, а периодичность замены воздушного фильтра увеличить до 30 тыс. км пробега с контролем его состояния при каждом ТО.

Практика показывает, что эксплуатация на низкокачественном бензине приводит к более интенсивному загрязнению топливного фильтра и форсунок подачи топлива. Данная неисправность проявляется в потере мощности двигателя, неравномерности работы на низких оборотах, ухудшении экономичности, более частым разрядам ВВБ и снижении её срока службы. Посторонние частицы в баке повреждают датчик уровня топлива, автомобиль может ехать без бензина, но на расстоянии всего несколько километров. Повышенный разряд ВВБ может стать причиной её повреждения.

Сложные условия эксплуатации оказывают меньшее отрицательное влияние на автомобиль с ГСУ, чем на любой другой автомобиль, более того сама концепция гибридного привода направлена на улучшение эксплуатационных показателей именно в таких условиях. Несмотря на это, возрастающие динамические нагрузки при разгонах-торможениях вызывают усиленный износ деталей трансмиссии ГСУ, в связи с этим требования к качеству применяемого

масла более высоки, и период его замены должна быть меньше. Рекомендованная изготовителем периодичность замены трансмиссионного масла составляет 80 тыс.км. Признаки ухудшение параметров работы трансмиссии (повышенный шум, вибрации, металлическая стружка в масляном поддоне) наблюдаются уже при пробеге от 50 до 80 тыс.км.

К более тяжёлым транспортным условиям следует отнести также буксирование прицепа автомобилем или езда с багажником на крыше.

## Дорожные условия

К дорожным условиям можно отнести качество дорожного покрытия, тип покрытия, горную местность, расположение дороги над уровнем моря.

Качество дорожного покрытия напрямую влияет на экономичность автомобиля, непрерывные динамические нагрузки вызывают усталостные разрушения, ослабление крепёжных элементов, расшатывание, повышенный износ ходовой части. В условиях горной местности возрастает нагрузка на электрическую часть ГСУ, происходит интенсивное выделение тепла мотор-генераторами, силовым инвертором и ВВБ, повышается нагрузка на систему охлаждения. Особенность системы охлаждения ГСУ такова, что циркуляция охлаждающей жидкости осуществляется с помощью электрического циркуляционного насоса, при его поломке работа системы охлаждения становится невозможной. Для эксплуатации в условиях горной местности этот вопрос наиболее актуален.

С учётом вышесказанного в сервисный бюллетень технического обслуживания целесообразно внести операции по проверке исправности системы охлаждения при каждом ТО, наличие повреждений от дорожного покрытия на кузове автомобиля и деталях ходовой части при каждом ТО.

Влияние качества дорожного покрытия на экономичность и расход топлива можно оценить с помощью разработанной математической модели и программы ГСУ-АВТО.

Коэффициент трения качения для различных покрытий указан в таблице 17.

Таблица 17

Коэффициенты сопротивления качения шин при различных типах покрытий согласно автомобильному справочнику [71, 66]

| **Дорога** | **Коэффициент сопротивления качения, *f*** | |
|---|---|---|
| | **При скорости 50 км/ч** | **Среднее значение** |
| С асфальтобетонным или цементно-бетонным покрытием в отличном состоянии | 0,014 | 0,014-0,018 |
| С асфальтобетонным или цементно-бетонным покрытием в удовлетворительном состоянии | 0,018 | 0,018-0,020 |
| Булыжная мостовая | 0,025 | 0,023-0,030 |
| Укатанный снег | – | 0,070-0,100 |

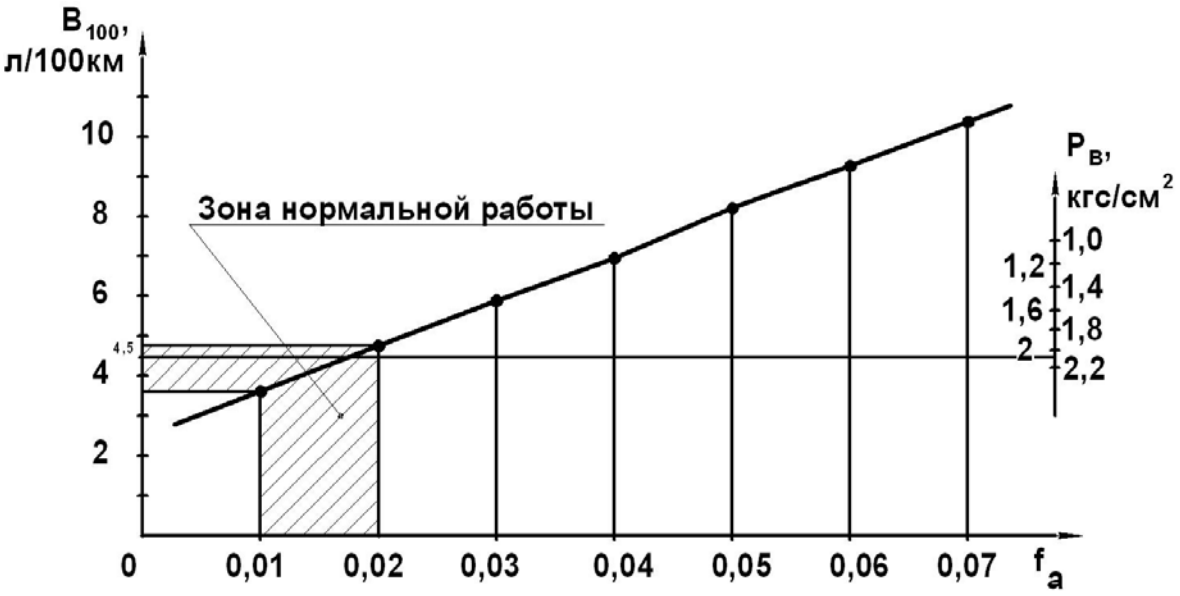



**Рис. 37. График изменения экономичности автомобиля в зависимости от коэффициента сопротивления качения и давления воздуха в шинах. Результаты расчёта по ГСУ- ВТО**

На рис. 37. представлена зависимость изменения экономичности автомобиля в зависимости от качества дорожного покрытия. Экспериментальным путём определено влияние давления воздуха в шинах на экономичность автомобиля. При давлении 1,5 кгс/см$^2$ средний приведённый расход топлива увеличился до 6,2 л/100 км. При нормальном давлении 2,1 кгс/см$^2$ расход топлива составил 4,5 л/100 км.

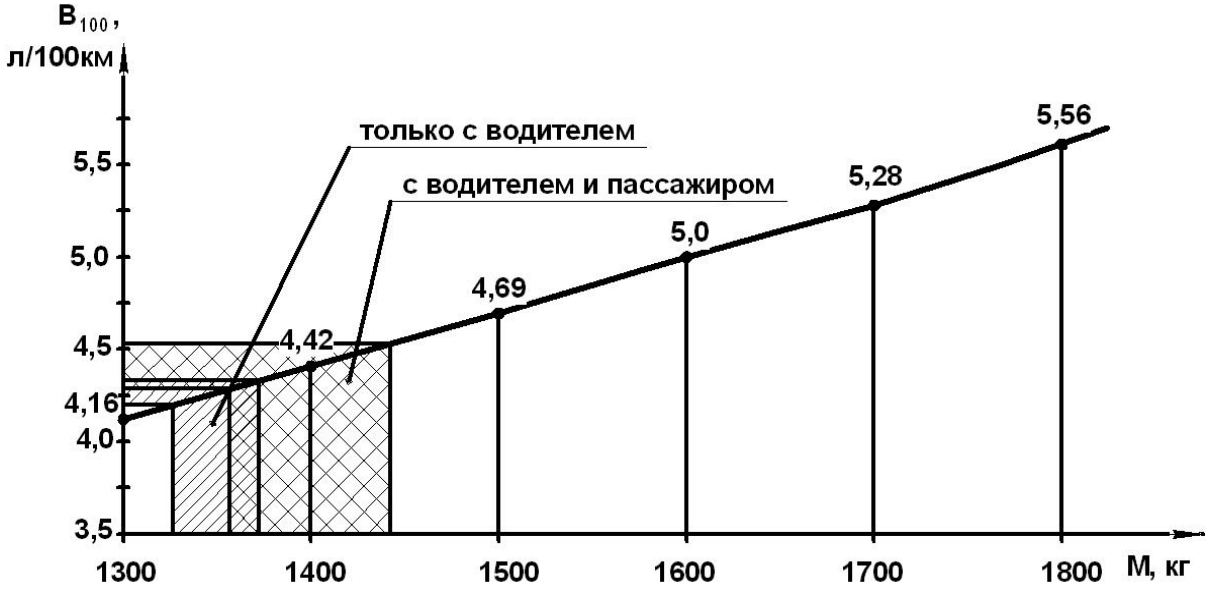



**Рис. 38. График изменения экономичности автомобиля в зависимости от полезной нагрузки Результаты расчёта по ГСУ-АВТО**

### Загрузка автомобиля

Между массой перевозимого груза и расходом топлива существует зависимость (рис. 38), она установлена расчётным путём. Данную характеристику нужно учитывать при оценке экономичности транспортного средства во время проведения диагностики ГСУ. Инженер-диагност перед началом эксплуатационных испытаний должен достаточно точно оценить загрузку автомобиля. При максимальной загрузке автомобиля расход топлива в режиме городской эксплуатации увеличивается до 5,6 л/100 км.

### Влажный климат

Влажный воздух негативно влияет на электрооборудование автомобиля. Особо уязвимые элементы электрооборудования окисляются, что приводит к ухудшению электрического контакта. Больше всего окислению подвержены элементы ВВБ, т.к ее элементы охлаждается воздухом, забираемым из салона автомобиля.

Перемены температур вызывают конденсацию влаги на поверхностях, со временем это приводит к отложению налёта на медных контактах, появлению токов утечки между контактами, более быстрому разряду ВВБ. Компанией Toyota не предусмотрено обслуживание высоковольтной части ГСУ. При её обслуживании необходимо принимать особые меры предосторожности. С точки зрения Российских требований по электробезопасности технический персонал, работающий с электроустановками напряжением до 1000 В должен иметь 3-ю группу допуска по электробезопасности. Дополнительно к этому необходимо иметь знания в области автоэлектрики и пройти курс обучения по ГСУ автомобиля Prius.

### Выводы по главе

Определены опорные (эталонные) значения диагностических параметров ГСУ автомобиля, с использованием программы ГСУ-АВТО. Представлены результаты вычислений по исходным данным стандартного ездового цикла испытаний автомобиля в городском режиме движения. Результаты расчёта также позволяют получить сопутствующие параметры, например расход топлива. Определены факторы, влияющие на периодичность проведения ТО и Р автомобиля Prius, приведены рекомендации для корректировки плана периодичности технического обслуживания. Представлена аналоговая модель процесса диагностирования автомобиля с использованием методики оценки технического состояния. Представлены рекомендации для укомплектования участка по диагностированию автомобилей с ГСУ необходимым диагностическим оборудованием. Дальнейшие исследованию будут направлены на разработку экспериментальных методов оценки технического состояния отдельных узлов и изучению протекающих в ГСУ процессов.

# ГЛАВА 6
# ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ И СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГСУ

## 6.1. Аналоговая модель оптимизации процесса диагностирования автомобиля с ГСУ

При проведении диагностических и ремонтных работ на станциях технического обслуживания решающим фактором является быстрота и правильность проведения работ. Для этих целей может быть использована разработанная методика.

Экспериментальные исследования были произведены на лабораторной установке, к которой был подключен ряд датчиков, измеряющих энергетические параметры, на практике это может быть затруднено. Для этих целей был исследован электропривод автомобиля Toyota Prius, составляющего основу большей части парка автомобилей с ГСУ в РФ на данный момент.

Разработанная методика рекомендована при проведении работ по определению технического состояния автомобиля с ГСУ, в результате составлена блок-схема дерева определения неисправности с использованием данной методики (рис. 39).

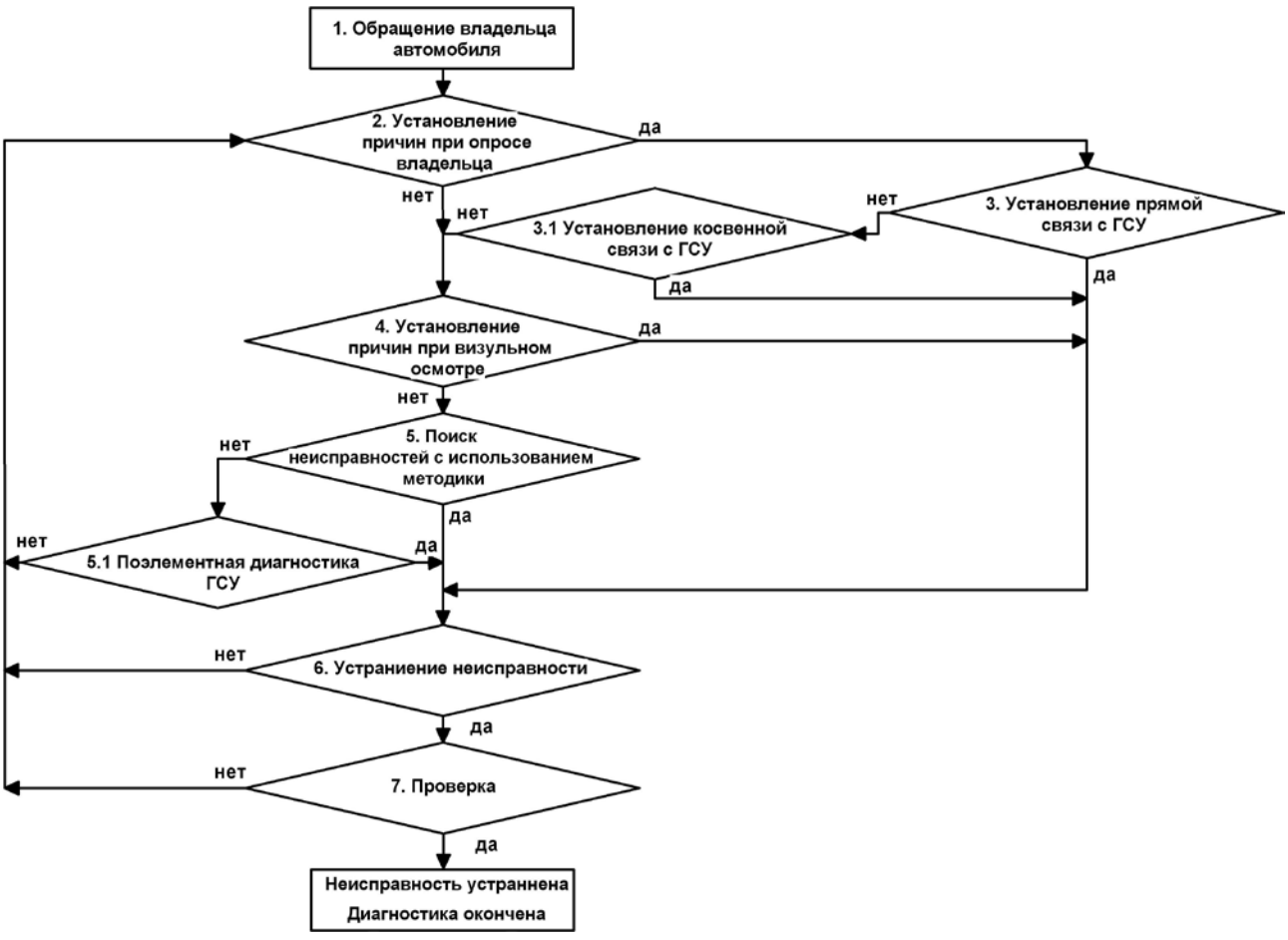



**Рис. 39. Блок-схема определения неисправности при использовании методики**

Сервисный бюллетень на обслуживание автомобилей предусматривает проведение диагностических проверок и выявление неисправностей [105], при этом учитываются перечень заявленных владельцем работ. Диагностика предполагает выявление неисправностей на раннем этапе, что позволит избежать наступления отказа во время эксплуатации и более серьёзных неисправностей [26].

Описание алгоритма поиска неисправностей при обращении владельца автомобиля представлено ниже.

*1. Обращение владельца автомобиля.* Осуществляется мастером приёмщиком. Владелец автомобиля указывает перечень неисправностей в заказ-наряде.

*2. Установка прямой связи с работой ГСУ.*

Инженер-диагност логическим путём определяет прямую связь жалобы владельца с неисправностью ГСУ. При отсутствии прямых связей устанавливаются косвенные, не относящиеся на прямую к ГСУ.

*3. Установка неисправности при опросе владельца.*

Как характеризуется неисправность, условия её появления?

Какие воздействия на автомобиль происходили до появления неисправности?

Это может быть предшествующий ремонт, установка доп. оборудования, авария, мойка, условия эксплуатации.

Какова периодичность проявления неисправности?

*4. Установка неисправности при визуальном осмотре.*

Замер уровня заряда ВВБ и АКБ. Внешний осмотр ДВС, уровня масла в агрегатах, наличие повреждений.

Считывание кодов неисправности блока управления ГСУ.

Замер CO, HC, N0. выпускных газов двигателя (требования согласно техническому регламенту, предъявляемые к автомобилям с 3-компонентным катализатором).

*5. Оценка технического состояния методом испытаний и анализ результатов.* Комплекс мероприятий включает в себя следующие работы:

- регулировка давления воздуха в шинах;
- подключение диагностического сканера;
- прогрев ДВС до рабочей температуры;
- подключение датчика тока и напряжения на силовую цепь ВВБ (рис. 40);
- подключение датчика тока и напряжения на шину постоянного тока инвертора МГ1, МГ2 (рис. 41) (только для углублённого способа оценки);
- подключение датчика скорости автомобиля;
- подключение измерительной системы;
- запись загрузки автомобиля (число дополнительных пассажиров и груза с точностью ±20 кг);

- пробный выезд на испытуемом участке или испытание на стенде тяговых качеств [62]. Во время испытания записывается мгновенная скорость и показания датчиков тока и напряжения;

- после испытаний данные заносятся в программу анализа результатов.

Процесс записи данных контролируется с помощью диалогового окна L-Graph (рис. 42). При проведении испытаний инженер-диагност визуально может контролировать работу элементов электропривода. Например провалы в цепочке заряда ДВС→МГ1→Ин, как показано на рис. 42. Аналогичным образом возможно контролировать другие параметры работы привода: давление в системе подачи топлива, состав выпускных газов, мгновенный расход топлива и т.д.

*6. Анализ полученных результатов*

Результаты диагноза, поставленные логическим устройством отображаются на мониторе или отправляются для печати на принтер.

При расхождении $\Delta \leq 5\%$ состояние ГСУ удовлетворительное. При расхождении $\Delta \geq 5\%$ производится диагностирование конкретного узла. Заниженная мощность ВВБ ($N_{ВВБ}$) говорит о её неисправности, завышенная $N_{ВВБ}$ говорит о неисправности ДВС и недозаряд ВВБ свидетельствует о неисправности ДВС.

Ниже показаны наиболее доступные места, где могут быть установлены датчики. Рис. 40 - цепь ВВБ, рис. 41 - цепь шины постоянного тока инвертора управления МГ1, МГ2.

**Рис. 40. Аккумуляторная батарея, расположенная за спинкой заднего сидения. Участок подсоединения датчиков тока и напряжения высоковольтной батареи**

**Рис. 41. Шина постоянного тока в инверторе МГ1, МГ2 моторного отсека. Участок подсоединения датчиков напряжения инвертора**

Отсутствие рекуперации энергии при торможении или её недостаточная эффективность говорит о неисправности цепи рекуперации энергии (МГ2, инвертор МГ2, ВВБ, блок управления и датчик положения педали торможения). Чаще всего это неисправность ВВБ.

*7. Причина обращения найдена.* На любом из этапов проведения диагностики причина обращения может быть найдена.

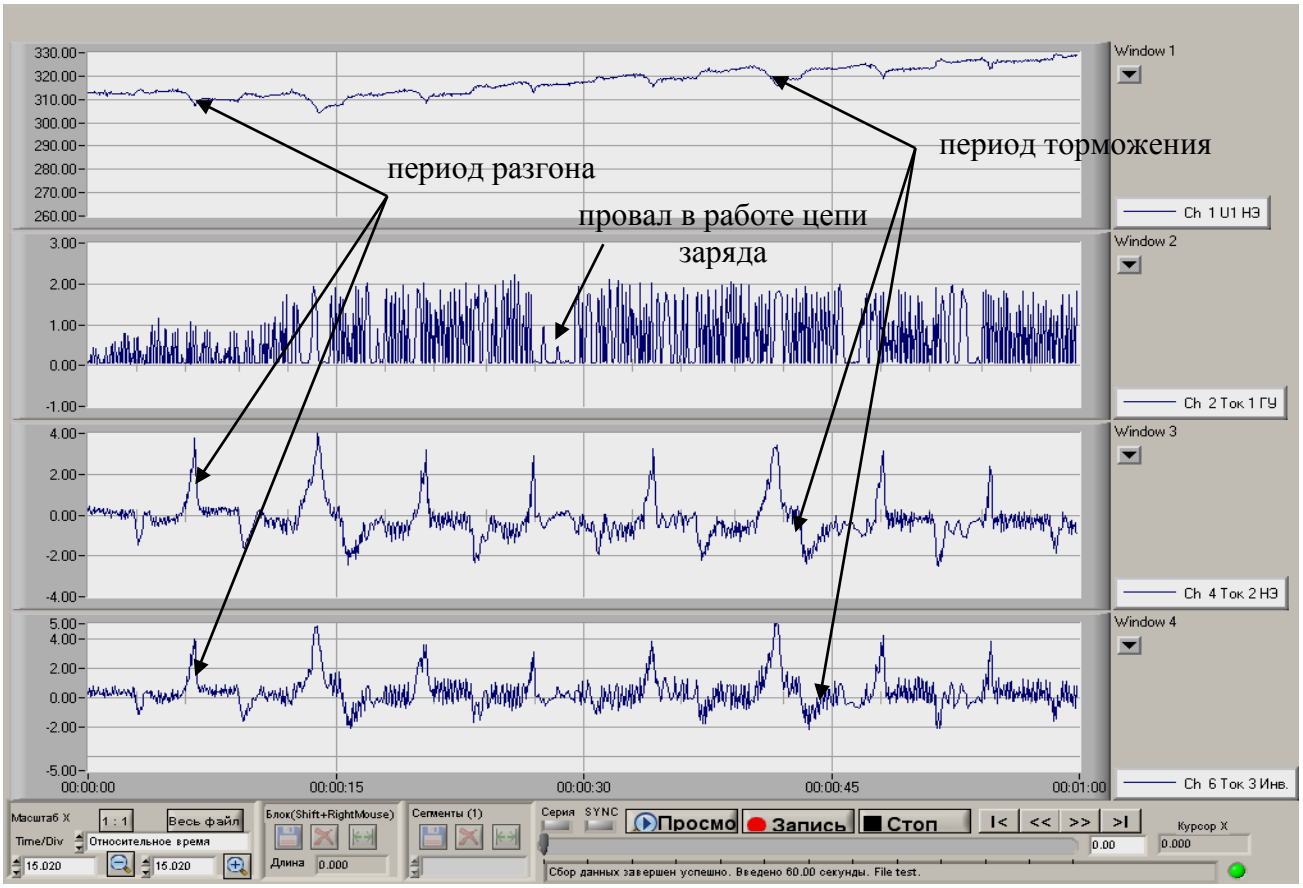



**Рис. 42. Запись цикла разгонов торможений в режиме тестирования:**
**Канал 1 - изменение напряжения в накопителе;**
**Канал 2 - изменение тока в цепи генераторной установки;**
**Канал 4 - изменение тока в цепи накопителя энергии;**
**Канал 6 - изменение тока в цепи силовой части инвертора**

*8. Устранение.* Инженер-диагност принимает решение о проведении ремонта, при необходимости ставит в известность мастера.

*9. Контрольная проверка.* После завершения ремонта мастер смены проверяет техническое состояние автомобиля после ремонта.

## 6.2. Средства диагностирования для оценки технического состояния ГСУ

Основным средством технического диагностирования (СТД) автомобиля Toyota Prius, как и любого современного автомобиля, является бортовая система диагностирования, диагностический сканер для считывания информации о неисправностях и текущих значений параметров элементов ГСУ.

При разработке полноценного поста для обслуживания автомобилей с ГСУ должны быть учтены особенности диагностирования узлов ГСУ (таких,

как электромоторы, инверторы, высоковольтные накопители энергии, трансмиссия, электронная система управления).

***1-й тип СТД для оценки работы ГСУ по выходным параметрам в целом.*** Наилучший вариант – это стенд для испытания тягово-скоростных качеств [69], но для общедоступной СТО данное оборудование весьма дорого (более 1,5 млн. руб.), на данный момент имеется лишь в нескольких городах в России. В работе предлагается использование методики выездных испытаний по заданному циклу. Методика базируется на имитации скоростных и нагрузочных режимов работы автомобиля, определении выходных параметров и сравнении их количественных значений с эталонными, полученными расчётным путём. Диагностирование проводится непосредственно в процессе работы автомобиля или с использованием стенда с беговыми барабанами [112]. Методика широко применяется для общей оценки технического состояния автомобилей и агрегатов с использованием (СТД) следующих типов:

1. Средства для измерения количественных значений диагностических параметров: датчики, воспринимающие диагностические параметры, преобразующие их в сигнал, удобный для обработки или использования. Переносные приборы: цифровые датчики силы тока и напряжения в цепи МГ1, МГ2, ВВБ. Встроенные приборы: устройство для считывания скорости автомобиля в динамике, устройство для считывания расхода топлива ГСУ в динамике.

2. Измерительные устройства и устройства отображения и записи результатов (цифровая индикация, экран монитора ЭВМ). Реализовано в виде электронной записывающая система параметров датчиков тока, напряжения, скорости автомобиля.

3. Устройство автоматизированной обработки данных испытательного режима, формирующее заданный режим. Устройство представляет собой программу, обрабатывающую входные данные и формирующую задающий сигнал для логического оценивающего устройства.

4. Автоматизированное логическое устройство, осуществляющее постановку диагноза.

Собранные данные от датчиков и результаты расчётов программы сравниваются в логическом устройстве и оцениваются по достоверности.

$$y_i - y_{H.i} \le \Delta \qquad i = 1 \ldots n,$$

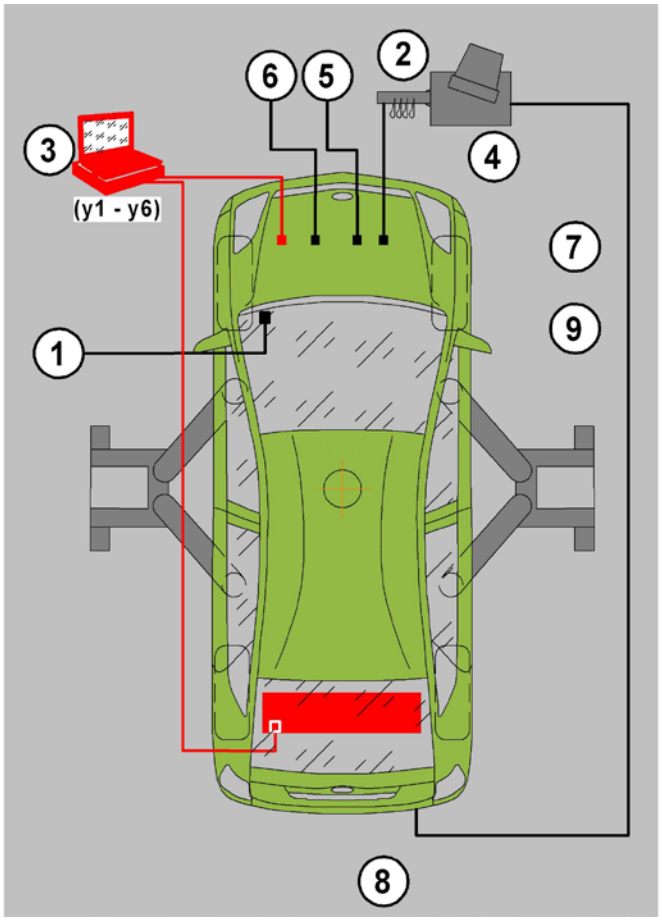
где $n$ – количество, а $y_i$ и $y_{Hi}$ – текущие и номинальные значения оцениваемых параметров, а также допуски на характеристики:

$$y_{H.i}(x) - y_i(x) \le \delta_i \qquad i = 1 \ldots m,$$

где $m$ – количество точек, в которых оценивается характеристика $y(x)$, а $y_i(x)$ и $y_{ні}(x)$ – текущее и номинальное значения характеристики в $i$-й точке.

СТД, используемые на автомобиле в движении являются переносными в соответствии с ГОСТ 25176-82 к ним предъявляются следующие требования: электропитание СТД должно осуществляться от источников постоянного тока напряжением 12 и 24 В; масса оборудования, не более 25 кг; требования к надёжность и условия работы по ГОСТ [90].

***2-й тип СТД для диагностирования отдельных элементов ГСУ.*** Вольтметр, омметр, бесконтактный датчик тока в цепи, прибор для измерения внутреннего сопротивления источников тока, прибор для измерения ёмкости элементов и секций ВВБ, многоканальный осциллограф, зарядное устройство для ВВБ, описание которого приведено в главе 2.4.




**Список оборудования**

1. Диагностический сканер
2. Мотор-тестер ДВС
3. Мотор тестер высоковольтной системы
4. Газоанализатор
5. Компрессометр
6. Манометр топливной системы
7. Установка для проверки и промывки топливных форсунок
8. Установка для вытяжки ОГ
9. Набор инструментов электрика

**Рис. 43 Схема поста диагностики ГСУ**

## 6.3. Обоснование конструкции экспериментального стенда для моделирования работы ГСУ

Исходя из поставленных в исследовании целей теоретическая модель оценки технического состояния ГСУ транспортного средства с ГСУ должна быть подкреплена экспериментальными исследованиями. Для этих целей возможно использование макетной лабораторной установки. Макетная установка позволит разработать экспериментальные методы оценки технического состояния ГСУ, оценить достоверность применяемых методов, взаимодействие элементов при различных схемах передачи энергии, увидеть проблемы, возникающие в процессе работы, появляется возможность контролировать ход испытаний (многократное повторение циклов движения при одинаковых заданных условиях). Определение эксплуатационных характеристик ГСУ под нагрузкой

без дорожных испытаний и тягового нагрузочного стенда также становится возможным. На данном этапе внедрения методики решено разработать и сконструировать экспериментальную макетную установку, имитирующую работу ГСУ, что также способствует получению необходимых знаний и навыков по устройству и принципам работы ГСУ.

Экспериментальная ГСУ имитирует работу транспортного средства с гибридными силовыми установками различных типов схем по заданному циклу движения, производить замеры и запись входных и выходных параметров во время поведения испытаний ГСУ.

Основными компонентами ГСУ являются: ДВС; тяговый асинхронный электромотор-генератор (МГ1); синхронный генератор (Г1), частотный преобразователь для управления электромотором (ЧП); устройство распределения мощности (УРМ), узел нагрузки (УН); высоковольтная батарея (ВВБ). На рис. 44 показана кинематическая схема привода.

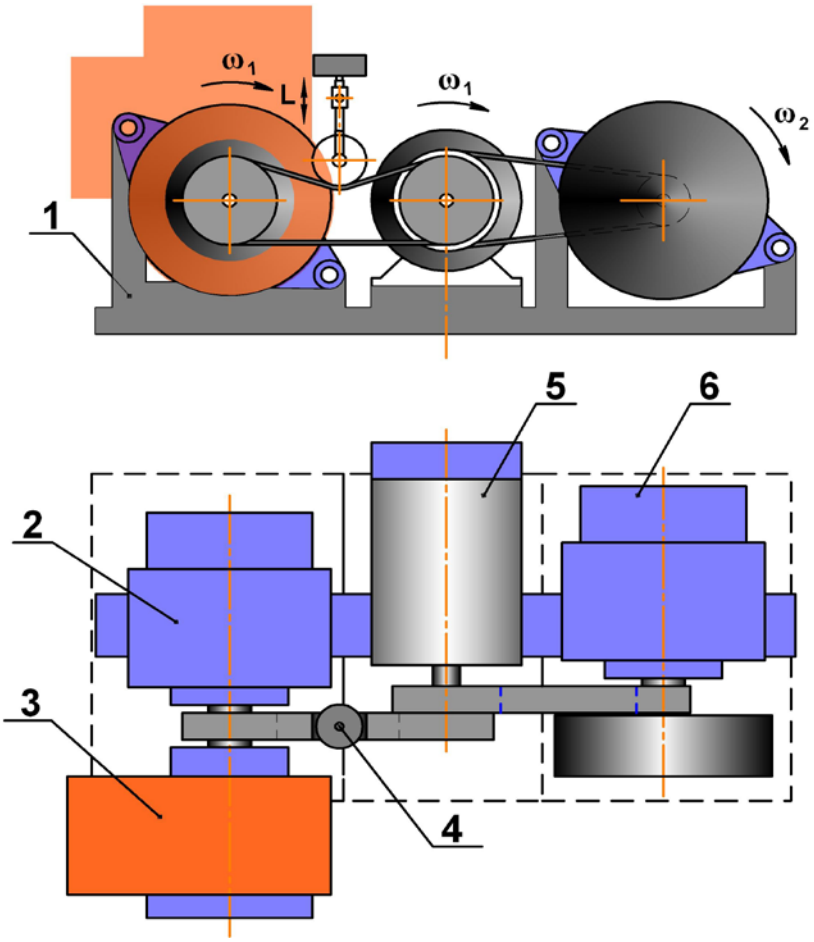



**Рис. 44. Кинематическая схема привода: 1 – рама; 2 – генератор (Г1); 3 – ДВС; 4 – устройство распределения мощности; 5 – МГ1; 6 – узел нагрузки (УН)**

Генераторная установка включает в себя двигатель внутреннего сгорания и генератор (рис. 45). Для стенда использован общепромышленный четырехтактный бензиновый двигатель Honda GX-35 максимальной мощностью 1,1 кВт при 8000 об/мин [70], приводящий в движение 3-фазный генератор (Г1) (рис.

44), статор которого приспособлен под генерацию напряжения 200-400 вольт, и узел имитации нагрузки (УН) через шкив мотор-генератора.

**Рис. 45. Генераторная установка в сборе**

Соединительный фланец жестко соединяет корпуса ДВС и Г1, центрируя валы относительно друг друга. Передача крутящего момента от двигателя на генератор, а также при необходимости на вал электромотора осуществляется с помощью муфты-шкива. Мотор-генератор (рис. 46) – асинхронный 3-фазный 4-полюсный. Номинальная мощность - 1,5 кВт. Рабочее напряжение - 220/380В управляется частотным преобразователем Omron V1000. Весь тяговый привод связан с электрогенератором нагрузки и инерционными массами, установленными на валах, благодаря такой конструкции возможна имитация квадратичной, линейной и инерционной характеристики возрастания сопротивления движению. Активную квадратичную нагрузку создаёт генератор мощностью 1,1 кВт. Нагрузка регулируется ступенчато: 0,25 кВт; 0,5 кВт; 0,75 кВт; 1,0 кВт; 1,25 кВт с помощью отдельного регулятора, представляющего собой электрический регулятор сопротивления. Регулятор изготовлен из проволоки NiCr, охлаждаемой водой.

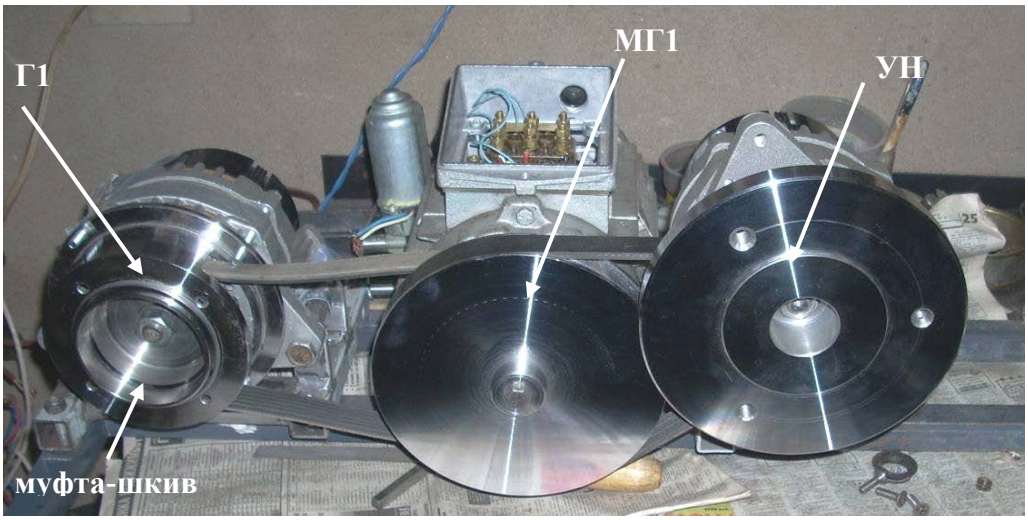



**Рис. 46. Основные компоненты гибридного силового привода**

Ремённые передачи и подшипниковые узлы создают линейно возрастающую нагрузку. Маховик с регулируемой массой, закрепленный на валу генератора, имитирует инерцию массы кузова при разгонах-торможениях привода. Инерционная нагрузка меняется с помощью добавления или уменьшения вращающихся маховичных масс. Таким образом, узел имитирует нагрузки, возникающие при движении автомобиля.

Система питания двигателя включает в себя топливоподающую, топливоотводящую магистрали и измерительную систему. Взамен бака установлена измерительная колба с топливом. Цена деления измерительной колбы составляет 0,1 мл. Топливо – бензин Аи-95.

Электрические провода напряжения 220 – 310В имеют двойную изоляцию. Укладка силовых цепей высокого, низкого напряжения производится отдельно (рис. 47). Провода датчиков блоков управления экранированы от помех.

На экспериментальной установке применены накопители на основе двух сверхвысокоёмких конденсаторов, соединённых последовательно, суммарная запасаемая энергия 48 кДж.

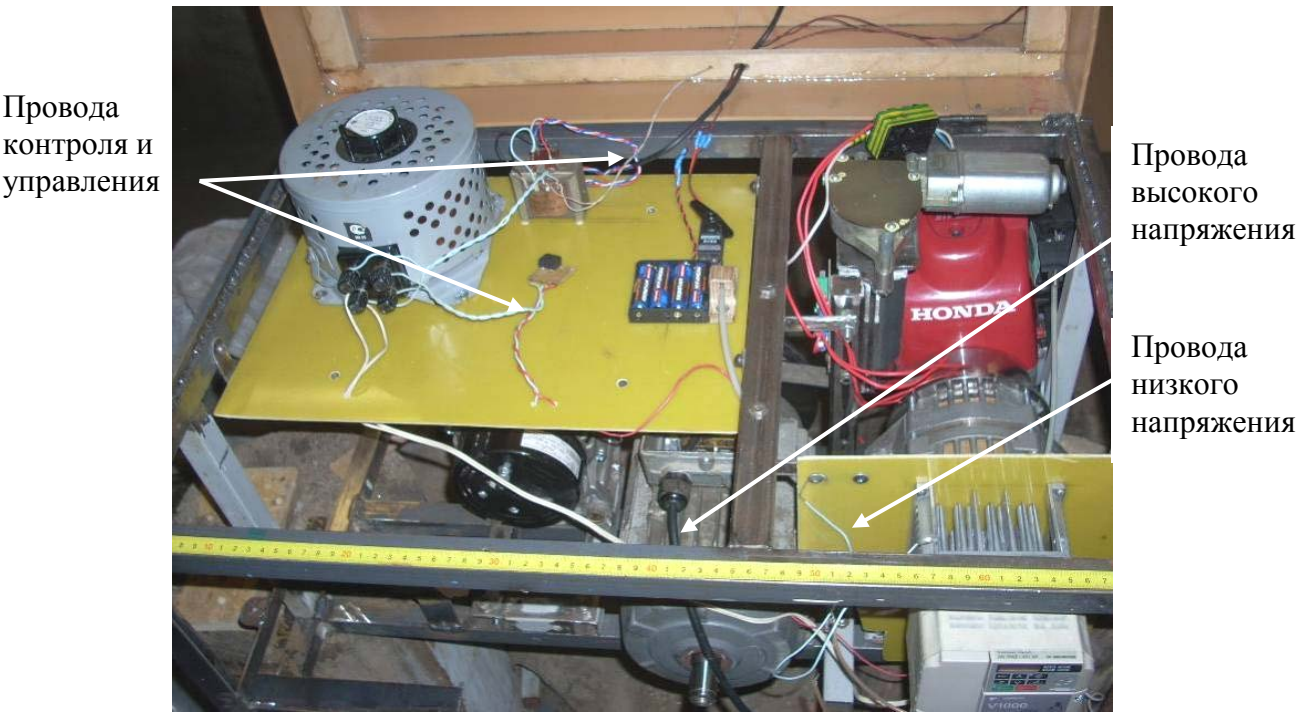



**Рис. 47. Расположение проводки**

Натяжной механизм ролика с электроприводом (рис. 48) предназначен для ослабления и натяжения поликлинового ремня муфты – шкив. Узел состоит из винтовой пары; вилки с роликом; направляющей рамы, совмещенной с основанием; крепежной платформы; электрифицированного редуктора и коммутационной развязки. Питание натяжного механизма осуществляется от бортового источника питания. Коммутационная развязка предотвращает самозаклинивание механизма в крайних положениях.

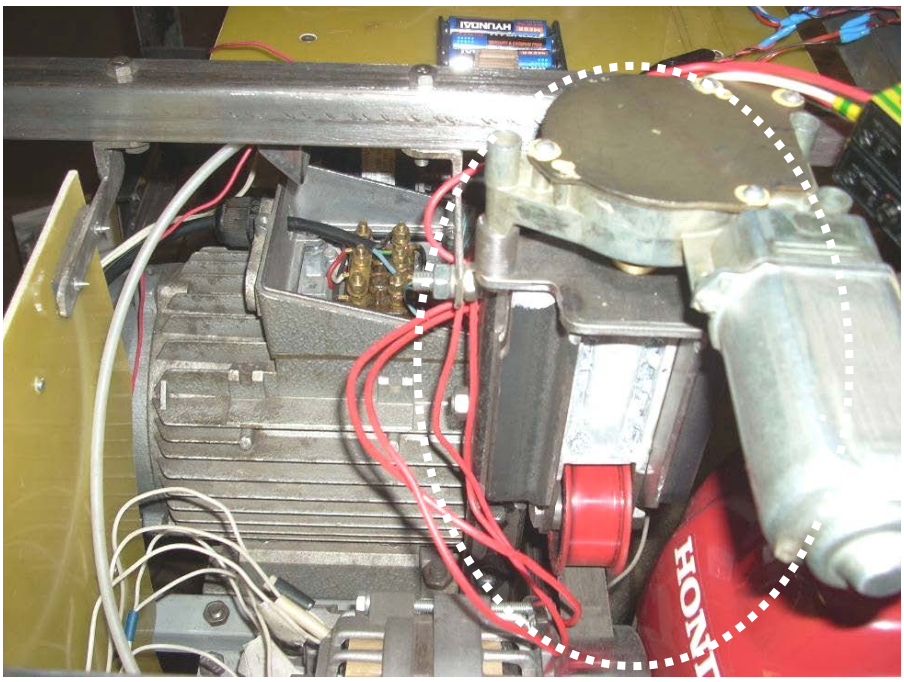


**Рис. 48. Механизм натяжения**

Ниже представлены основные технические характеристики изготовленной макетной установки:

- максимальная мощность двигателя внутреннего сгорания – 1,1 кВт;
- максимальная мощность генератора – 0,3 кВт;
- номинальная мощность электромотора – 1,5 кВт;
- максимальная поглощаемая мощность реостата нагрузки – 1,0 кВт;
- коэффициент трансформации напряжения генератора – 11,9;
- емкость конденсаторного накопителя С = 1,6 Фарада.

Контроль параметров работы установки осуществляется с помощью панели приборов:

- аналоговые датчики тока и напряжения на выходе генератора (0 – 30 В, 0 – 75 А);
- аналоговые датчики тока и напряжения в цепи постоянного тока преобразователя (0 – 500 В; 0 – 10 А);
- аналоговые датчики тока и напряжения в цепи накопителя энергии (0 – 500 В; 0 – 10 А);
- аналоговые датчики тока и напряжения в цепях питания электродвигателя (0 – 500 В; 0 – 10 А);
- датчики тока и напряжения в цепи генератора блока имитации нагрузки;
- тахометр оборотов двигателя 0 – 10000 об/мин.
- цифровые датчики тока и напряжения на любом из участков силового привода.

Конструкция отличается рядом особенностей:

- реализована возможность имитации работы последовательной, параллельной или смешанной схем передачи энергии;

- установка имеет узел имитации нагрузки, что позволяет задавать линейную, квадратичную и инерционную характеристику изменения сопротивления на валу электромотора как и при движении реального автомобиля.

**Рис. 49. Внешний вид макетной установки**

Основные силовые цепи установки привязаны к электронной измерительной системе и L-Card и продублированы аналоговыми приборами на панели управления. Тяговый привод связан с программным комплексом CX-Drive, что позволяет задавать любые циклы движения, благодаря этому становится возможным многократное повторение одного и того же цикла движения и запись основных параметров в режиме реального времени (рис. 49-50).

**Рис. 50. Проведение экспериментальных исследований**

Благодаря экспериментальной макетной установке становиться возможным проведение исследований ГСУ в лабораторных условиях. Дальнейшее исследование будет направлено на разработку методики испытаний, определение основных технических характеристик привода и его эффективных показателей.

### 6.4. Методика проведения стендовых исследований

Проведение стендовых испытаний осуществляется с целью определения основных параметров привода в различных режимах движения. Применяемая система управления CX-Drive позволяет задавать параметры разгона, торможения привода, количество циклов повторения с помощью компьютера. Заданы наиболее характерные для движения автомобиля циклы движения.

Режим Р4. 4-кратное повторение разгонов и торможений по методике испытаний Европейского ездового цикла (рис. 51).

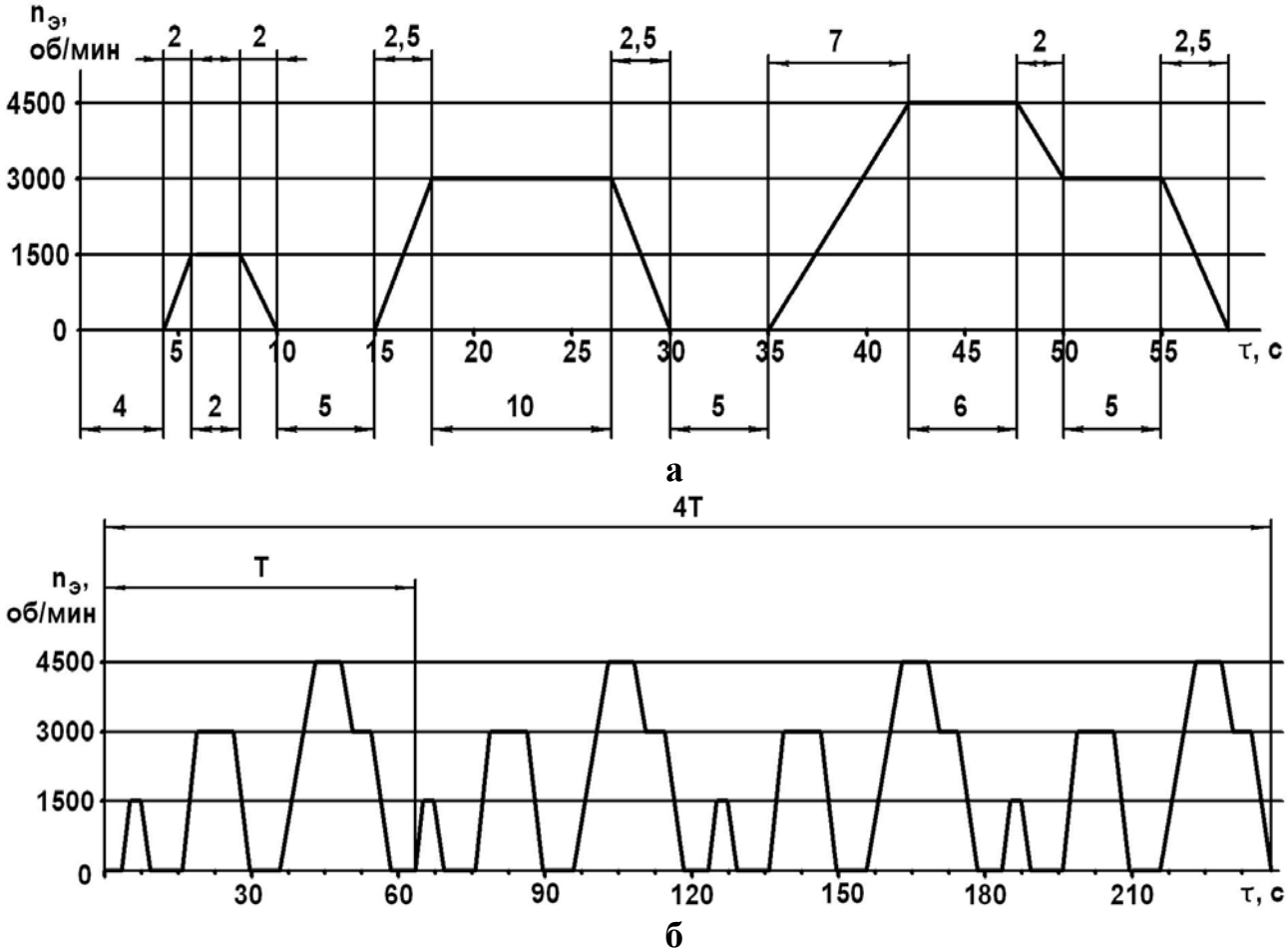



**Рис. 51. Нагрузочный цикл по режиму 4:**
**а – в увеличенном виде; б – в общем виде**

Режим Р6. Шестикратное повторение разгонов и торможений с максимальным ускорением по S образной характеристике (рис. 52).

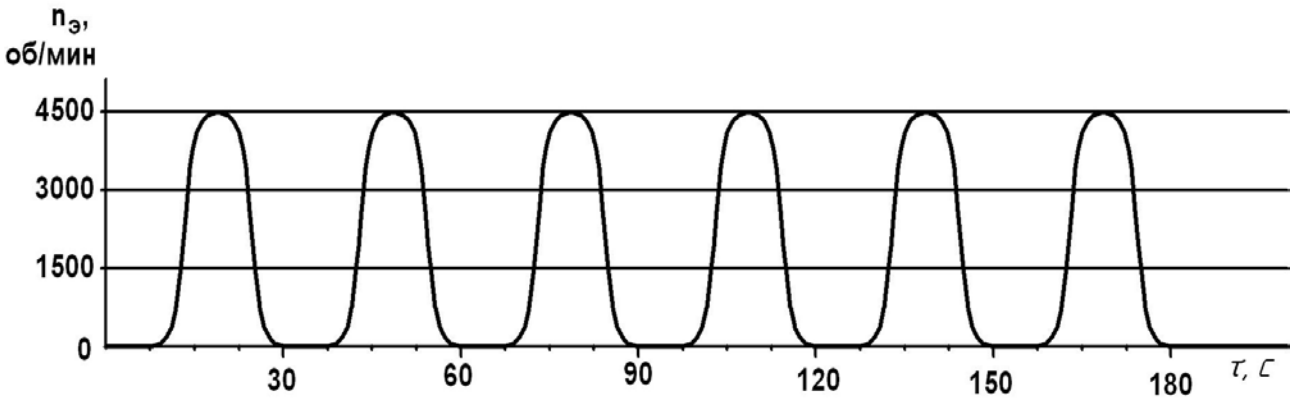



**Рис. 52. Нагрузочный цикл по режиму 6**

Режим 1.0. Устойчивая работа при постоянной нагрузке на генератор: 0,25 кВт; 0,5 кВт; 0,75 кВт; 1,0 кВт; 1,25 кВт. Скорость электромотора выставляется на уровень 4,5 тыс. об/мин (рис. 53).

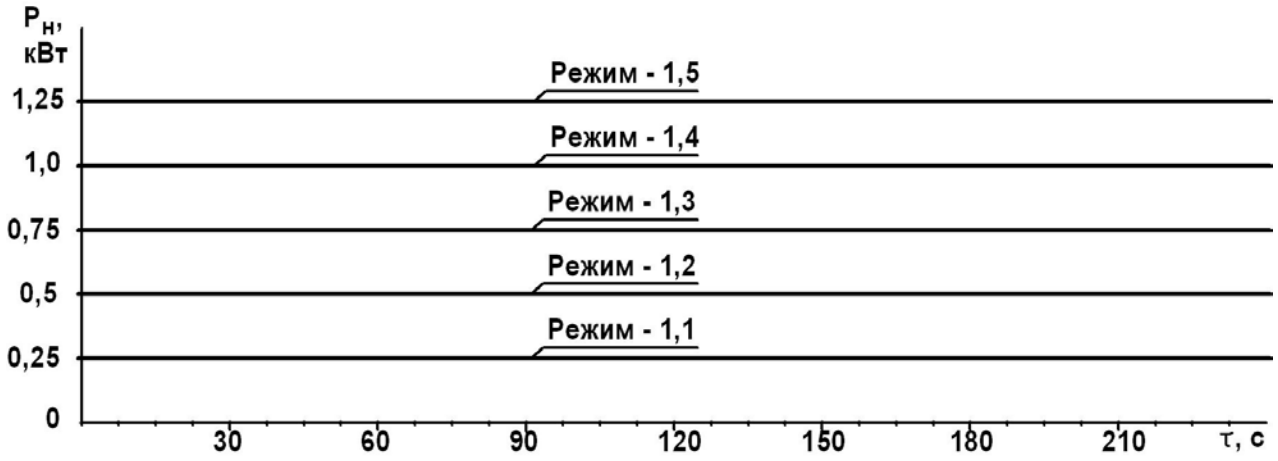



**Рис. 53. Постоянные нагрузочные режимы**

Величина параметров потребляемой мощности и скорости движения привода выбраны исходя из характеристик экспериментальной установки.

Задаваемыми параметрами служат: время разгона – $t_{разг.}$; время устойчивого движения – $t_д$; время торможения – $t_{торм.}$(с). Могут быть заданы параметры сглаживания переходных участков и количество повторяющихся циклов движения.

## 6.5. Определение эффективных показателей с помощью экспериментального стенда

### 6.5.1. Определение потерь в механической передаче экспериментальной ГСУ

Механическая передача экспериментальной установки имеет двойное назначение. Первое – это имитация сил сопротивления трансмиссии и трения-качения. Второе – это передача крутящего момента на генератор нагрузки. Вся механическая система состоит из двух поликлиновых передач с передаточным

отношением 1:1, одна из которых может отключаться, за счёт изменения положения прижимного ролика рассоединяются валы ДВС и электромотора, другая передаёт крутящий момент от электромотора к узлу нагрузки.

При определении КПД механической передачи использован способ статического прокручивания передачи в прямом и обратном направлении, описанный в патенте на изобретение [74].

*Первый случай – передача от шкива ДВС к генератору нагрузки*

Определение силы сопротивления прокручиванию трансмиссии.

Для проведения измерений ДВС отсоединен от приводного вала, его шкив при этом вращается только на подшипниках генератора. Элементы, создающие сопротивление прокручиванию: 2 подшипника шкива ДВС, сдвоенный подшипник натяжного ролика, подшипники генератора нагрузки, 2 сальника электромотора и 2 поликлиновых ремня. Величина потерь и КПД в этом случае зависит в основном от качества работы ремённых передач, для уменьшения потерь произведена их регулировка.

Натяжение ремённой передачи от двигателя к электромотору регулируется крайним положением натяжного механизма, за это отвечает концевой выключатель. Установлено такое положение концевого выключателя, при котором сила сопротивления прокручиванию $F_1$ будет минимальна, а сила $F_2$ будет максимальна, затем точно так же регулировочным винтом подбирается оптимальное натяжение второй поликлиновой передачи.

Для проведения испытаний за шкив генератора нагрузки подвешиваются грузы массой $M_1$, подъём и отпускание груза осуществляется за ведущий шкив (рис. 54), при этом при поднятии груза динамометр показывает силу поднятия груза с учётом силы сопротивления прокручиванию, а при отпускании груза силу поднятия за вычетом сил сопротивления прокручиванию.

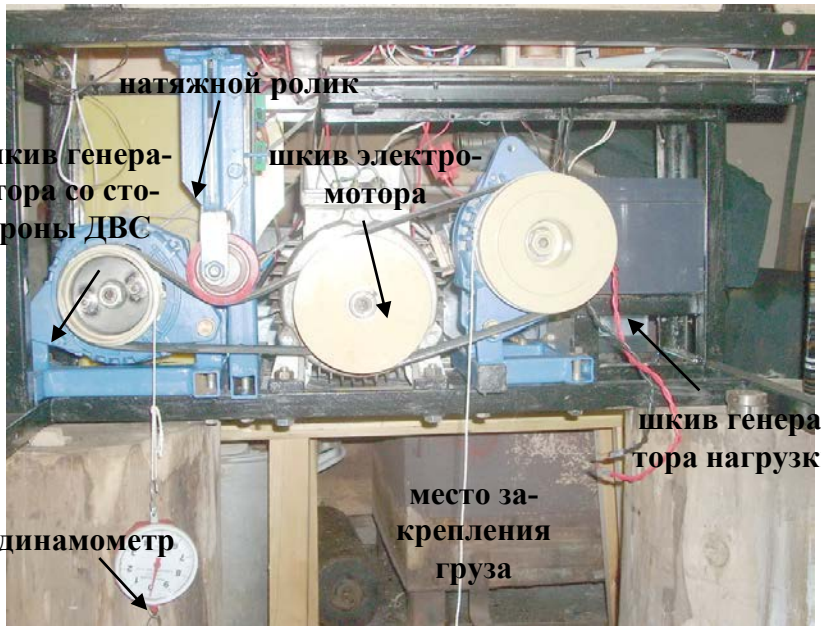



**Рис. 54. Механический привод**

$$F_{1под.} = F_{Г} + F_{ТР}$$
$$F_{2отп.} = F_{Г} + F_{ТР}\,.$$

Результаты расчётов механической передачи вал ДВС – вал генератора нагрузки представлены в прил. 3., табл. 1.

1. Определение момента М относительно шкива ДВС (рис. 55).

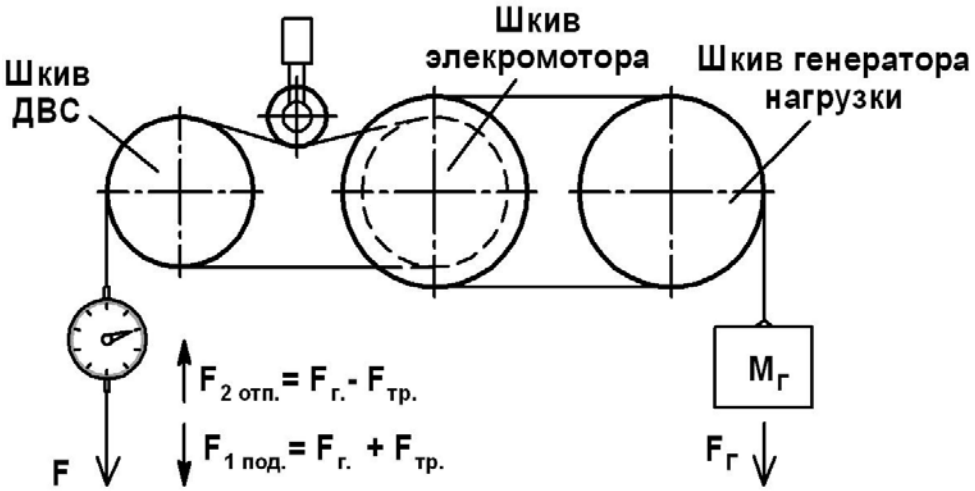



**Рис. 55. Схема загрузки при определении потерь в передаче ДВС – узел нагрузки**

$M_1$ – момент, передаваемый при поднятии груза

$M_2$ – момент, передаваемый при отпускании груза

$$M_{1,2} = \frac{G \times F_{1,2} \times R_1}{1000}, \text{Н·м} \qquad (6.1)$$

где G – ускорение свободного падения (9,81м/с$^2$),

$R_1$ – радиус шкива ДВС (0,042м).

2. Определение момента сопротивления

$$M_C = \frac{M_1 - M_2}{2}, \text{ Н·м} \qquad (6.2)$$

3. Аппроксимация экспериментальных значений функции $M_C = f(M_1)$.

Для схемы (рис. 55) в результате аппроксимации получена функциональная зависимость следующего вида:

$$M_C = -0{,}0212414 M_1 + 0{,}222709\text{, Н·м}$$

Для схемы (рис. 54) в результате аппроксимации получена функциональная зависимость следующего вида:

$$M_C = 0{,}078365 M_1 + 0{,}132769\text{, Н·м}$$

4. Определение экспериментального КПД механической передачи

$$\eta_Э = \frac{M_1 + M_2}{2M_1} \tag{6.3}$$

5. Определение теоретического КПД механической передачи

$$\eta_Э = \frac{M_1 + M_C}{2M_1} \tag{6.4}$$

6. Определение момента холостого хода механической передачи

$$M_X = \frac{B}{1 - A}, \text{ Н·м} \tag{6.5}$$

где А – первая константа функции $M_C = f(M_1)$

В – вторая константа функции $M_C = f(M_1)$

Согласно техническим характеристикам [70], крутящий момент двигателя внутреннего сгорания в рабочем скоростном диапазоне от 3 до 7 тыс. об/мин меняется от 1.0 до 1,6 Н·м. Учитывая тот факт, что в определённых условиях (смешанная схема передачи энергии) часть момента будет расходоваться на вращение генератора, рабочий диапазон нагрузок исследуемой механической передачи составит от 0 до 1,6 Н·м.

Как видно из графика (рис. 56) момент холостого хода составил 0,218 Н·м, КПД механического привода в рабочем диапазоне нагрузок будет меняться от 0 до 88%.

Ошибка измерений по теоретической кривой $\eta_T = f(M_1)$ составила 0,77%.

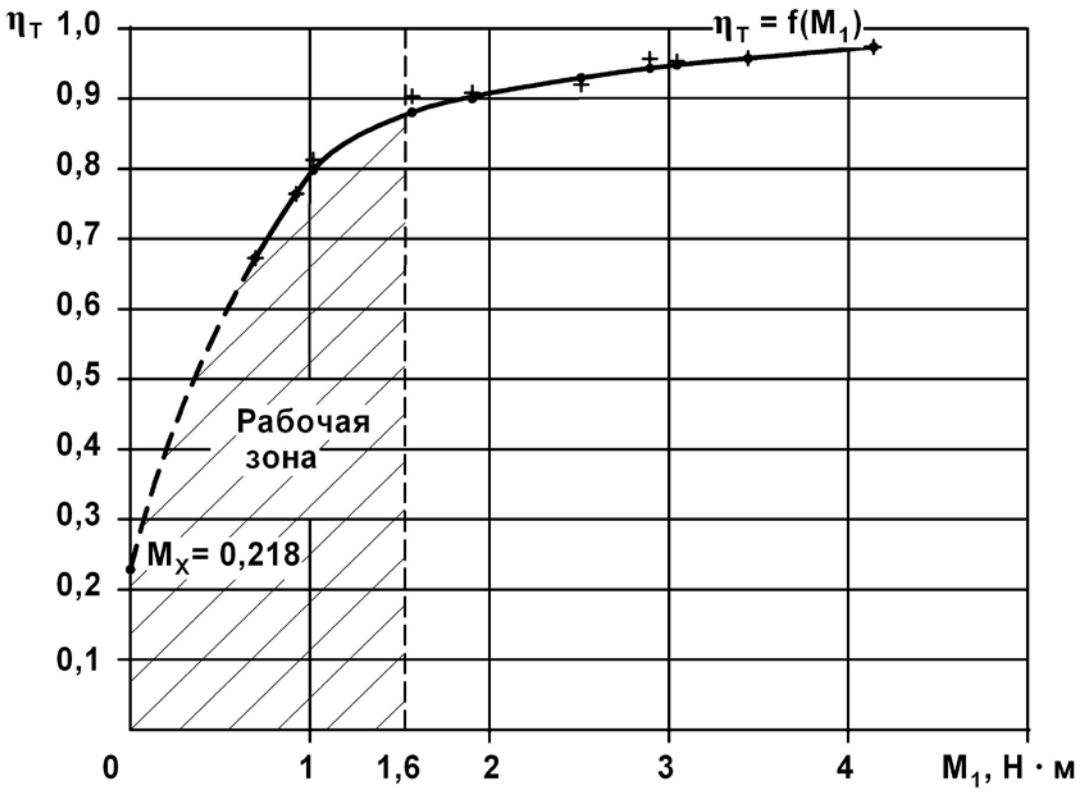



**Рис. 56. Изменение КПД привода ДВС – генератор нагрузки в зависимости от передаваемого момента**

*Второй случай – передача электромотор  узел нагрузки*

Результаты расчётов механической передачи вал электромотора – вал генератора нагрузки представлены в прил. 3, табл. 2.

Расчёт производиться по алгоритму, описанному в первом случае.

Для проведения измерений по второму случаю (рис. 57), ременная передача от ДВС к электромотору отсоединяется, сопротивление прокручивания при этом зависит от подшипников качения электромотора и генератора, сальников вала электромотора и ремённой передачи.  Момент, передаваемый электромотором, может достигать 3,5 Н·м, величина относительных потерь меньше, чем в первом случае, что положительно сказывается на КПД передачи.

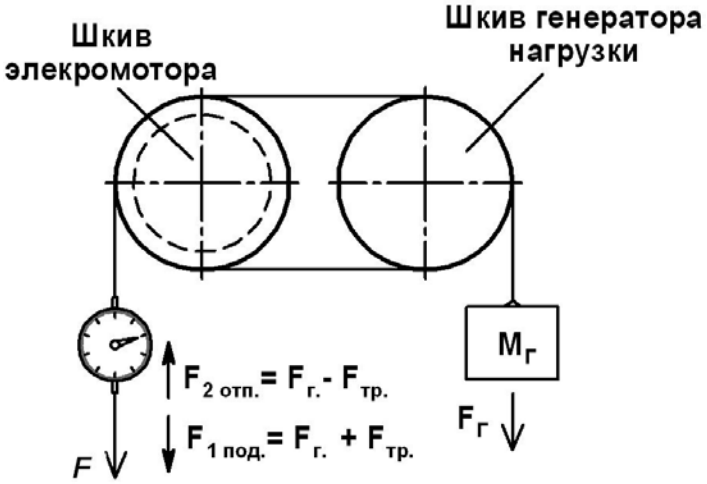



**Рис. 57. Схема загрузки при определении потерь в передаче электромотор – генератор нагрузки**

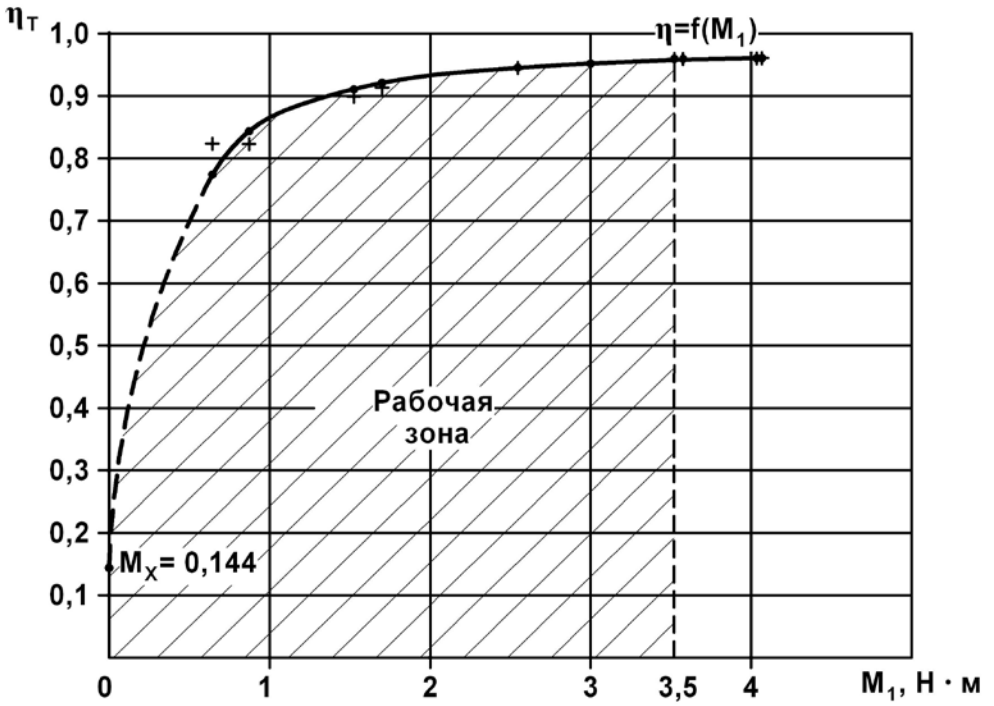



**Рис. 58. Изменение КПД привода электромотор – генератор нагрузки в зависимости от передаваемого момента**

Крутящий момент, развиваемый электромотором, в рабочем диапазоне меняется от 0 до 3,5 Н·м. Как видно из графика (рис. 58) момент холостого хода составил 0,144 Н·м, КПД механического привода в рабочем диапазоне нагрузок будет меняться от 0 до 96%, а при аналогичной нагрузке 1,6 Н·м составляет ~ 92%.

Ошибка измерений по теоретической кривой $\eta_T = f(M_1)$ составила 1,17%

**Общие выводы по испытаниям**

Определёны интервалы значений КПД механической передачи ДВС – генератор нагрузки и электромотор – генератор нагрузки. Величина КПД при нагрузке 1,6 Н·м в первом случае составляет 88%, во втором случае 92%, что на 4% больше. Так как при сравнении энергозатрат в нескольких схемах передачи энергии, для чистоты эксперимента, условия должны быть одинаковыми, это следует учитывать в расчётах.

### 6.5.2. Определение эффективности рекуперации

Экспериментальная установка и способы исследования позволяют проводить исследовательскую работу по изучению и оптимизации процессов рекуперации. Процесс рекуперации позволяет возвращать часть кинетической энергии движения автомобиля, тем самым повысить энергетическую эффективность привода. Теоретическое обоснование влияния рекуперации на энергетический КПД описано в научной литературе [2].

*Цель работы*: создать условия рекуперации энергии в приводе, снятие показаний электрических параметров и вычисление расчетным путем КПД рекуперации.

*Методика*

1. Зарядить накопитель энергии.

2. Разогнать привод до скорости 1500, 3000 и 4500 об/мин, замеряя точное значение напряжения в накопителе в начале и конце рекуперации.

3. Остановить привод, замеряя точное значение напряжения в накопителе в начале и в конце остановки. Повторить эксперимент несколько раз.

4. Рассчитать энергию, произвести расчёт коэффициента возврата энергии:

*Датчики:* вольтметры в цепи генератора нагрузки.

*Приборы:* измерительная система L-Card; тахометр (частотомер); часы.

Расчёт энергии в накопителе.

В экспериментальной ГСУ применяются сверхвысокоёмкие конденсаторные накопители 200ПП-28/026, со следующими техническими характеристиками:

Номинальное напряжение – 200 В;

Электрическая ёмкость – 1,4 Ф;

Запасаемая электрическая энергия при номинальном напряжении – 28 кДж.

Количество используемых конденсаторов – 2 шт. (последовательное соединение).

Энергия в конденсаторе рассчитывается по формуле

$$W = \frac{C \times U^2}{2}, \text{ Дж}, \tag{6.6}$$

где С- электрическая ёмкость, Ф;

U – напряжение на клеммах конденсатора, В.

Энергия последовательно соединенных конденсаторов в начале разряда равна

$$W_1 = \frac{C/n \cdot (U_{max} n)^2}{2000}, \text{ кДж}, \tag{6.7}$$

где n – количество последовательно соединенных конденсаторов, шт.

Энергия конденсаторов в конце разряда

$$W_2 = \frac{C/n \cdot (U_{min} n)^2}{2000}, \text{ кДж}. \tag{6.8}$$

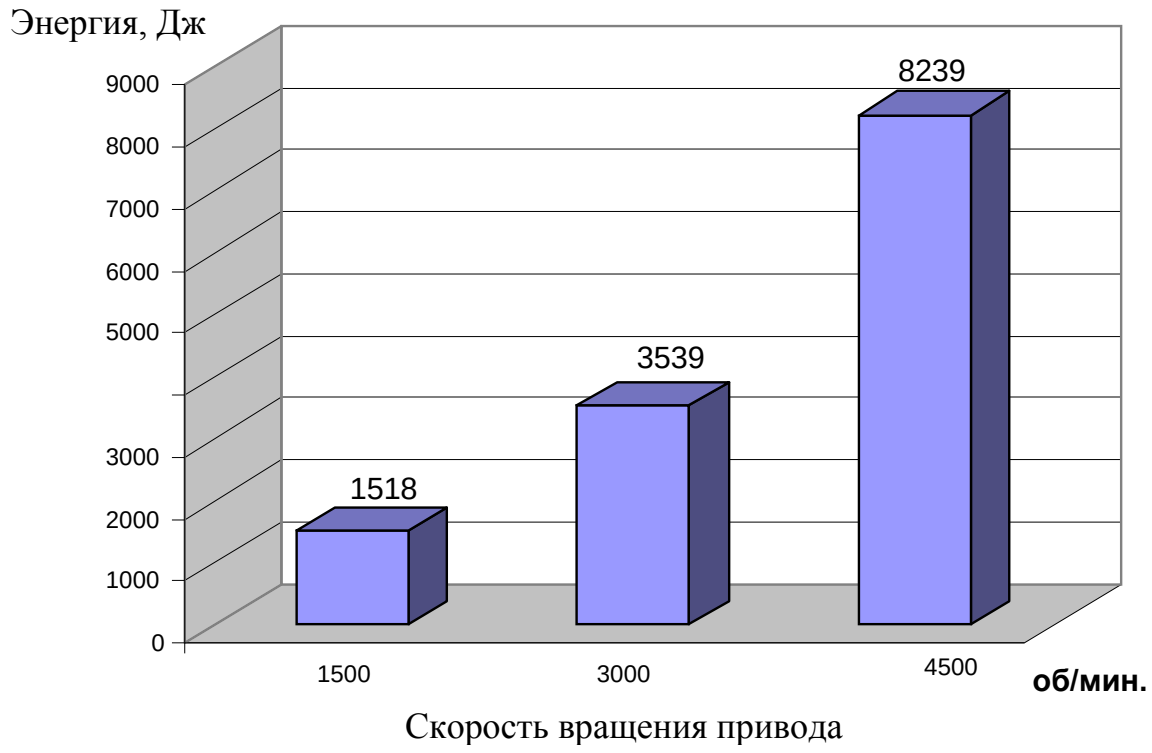



**Рис. 59. Гистограмма энергозатрат при разгоне привода**

Энергия, отданная конденсаторами за время разряда, равна

$$W = W_1 - W_2, \text{ кДж.} \qquad (6.9)$$

Разгон осуществляется до момента достижения скорости вала электромотора - 3000 об/мин.

Торможение осуществляется с начальной скорости вала электромотора - 3000 об/мин, до момента завершения рекуперации.

Таблица 18

Исследование эффективности рекуперации энергии

| № п/п | Разгон | | | | Торможение | | | | Кр |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Uн, В | Uк, В | Разница напряжений, В | Затраченная энергия, Дж | Uн, В | Uк, В | Разница напряжений, В | Возвращённая энергия, Дж | |
| 1 | 325 | 308,3 | 16,7 | 4230 | 309 | 313,5 | 4,5 | 1121 | 0,26 |
| 2 | 323 | 306,1 | 16,9 | 4253 | 307 | 311,5 | 4,5 | 1113 | 0,26 |
| 3 | 313 | 295,7 | 17,3 | 4212 | 295 | 299,5 | 4,5 | 1070 | 0,25 |
| 4 | 309 | 292 | 17 | 4087 | 291 | 295,1 | 4,1 | 961 | 0,24 |
| 5 | 295 | 279,7 | 15,3 | 3517 | 279 | 283 | 4 | 899 | 0,26 |
| 6 | 284 | 268,2 | 15,8 | 3490 | 268 | 271,9 | 3,9 | 842 | 0,24 |
| 7 | 271 | 255,6 | 15,4 | 3244 | 255 | 259 | 4 | 822 | 0,25 |
| 8 | 258 | 241 | 17 | 3393 | 241 | 244,8 | 3,8 | 738 | 0,22 |
| 9 | 245 | 229,6 | 15,4 | 2924 | 229 | 233 | 4 | 739 | 0,25 |
| 10 | 234 | 217 | 17 | 3067 | 218 | 222,2 | 4,2 | 740 | 0,24 |
| 11 | 231 | 214,6 | 16,4 | 2923 | 214 | 217,8 | 3,8 | 656 | 0,22 |
| 12 | 225 | 209,4 | 15,6 | 2711 | 209 | 212,7 | 3,7 | 624 | 0,23 |
| 13 | 206 | 190,1 | 15,9 | 2519 | 190 | 194,2 | 4,2 | 645 | 0,26 |
| **Среднее значение:** | | | | **3281** | **Среднее значение:** | | | **794** | **0,24** |
| | | | | | | | | **Разброс, %** | **4,72** |

Прирост напряжения на конденсаторном накопителе объясняется возвратом кинетической энергии вращающихся масс, соединенных с асинхронной машиной, в накопитель.

Величина рекуперации привода может быть интерпретирована по-разному.

Первое. Отношение энергии, полученной при торможении привода до остановки с постоянной скорости ω, к энергии, затраченной на разгон привода из состояния покоя до скорости ω.

Второе. Количество кинетической энергии движущегося привода, преобразованное при торможении до остановки в электрическую энергию и запасённое в накопителе энергии.

Для сопоставления энергозатрат проведена серия экспериментов, в которых измерено количество энергии $W_{P100}$ (табл. 18), затраченной на разгон привода до 3000 об/мин (100 Гц) и количество энергии, возвращённой в накопи-

тель энергии при торможении с этой же скорости, до остановки $W_{T100}$ (табл. 19).

Коэффициент возвращённой (рекуперированной энергии) для первого случая:

$$K_{P1} = \frac{W_{T100}}{W_{P100}} = \frac{794}{3281} = 0{,}242 . \quad (6.10)$$

Таким образом, в накопитель может быть возвращено в среднем 24,2% затраченной на разгон энергии.

Во втором случае для вычисления эффективности рекуперации должна быть известна кинетическая энергия движущегося привода.

Вычислить энергию движущегося привода можно, определив величину потерь энергии в процессе разгона, или вычислить энергию вращающихся масс привода при разгоне. Для определения величины потерь привода при разгоне записана характеристика потерь. Измерения производятся с помощью записывающей системы L-Card.

Таблица 19

Потери энергии в приводе при разгоне до 100 Гц за 7,1 сек.

| **Частота, Гц** | **I, A** | **U,B** | **P=IU, Вт** | **Время, с** | **W, Дж** |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1,20 | 45,8 | 54,96 | 0,5 | 27 |
| 20 | 1,15 | 85,1 | 97,87 | 1 | 49 |
| 30 | 1,12 | 123,6 | 138,43 | 1,5 | 69 |
| 40 | 1,12 | 162,4 | 181,89 | 2,1 | 109 |
| 50 | 1,12 | 201 | 225,12 | 2,7 | 135 |
| 60 | 0,94 | 201 | 188,94 | 3,4 | 132 |
| 70 | 0,82 | 201 | 164,82 | 4,2 | 132 |
| 80 | 0,74 | 200 | 148,00 | 5,1 | 133 |
| 90 | 0,7 | 202 | 141,40 | 6 | 127 |
| 100 | 0,66 | 202 | 133,32 | 7,1 | 147 |
| | | | | **Общая:** | **1061** |

Общие потери в приводе на разгоне $W_{П}$ составляют 1061 *Дж*.

Кинетическая энергия при движении с частотой 100 Гц (3000 об./мин) будет равна

$$W_K = W_{T100} - W_{П} . \quad (6.11)$$

Эффективность рекуперации, при этом может быть рассчитана по формуле

$$K_{P2} = \frac{W_{T100}}{W_{P100} - W_{П}} = \frac{794}{3281 - 1061} = 0{,}357 . \quad (6.12)$$

**Общие выводы по испытанию**

Эффективность рекуперации кинетической энергии движения привода составила 35,7%, в сравнении с реальными эксплуатационными показателями данная величина является достаточно высокой, как правило, в асинхронных тяговых приводах величина рекуперации составляет 15-35% [66].

Таблица 20

Прирост энергии в накопителе при торможении с 4,5 тыс. об/мин.

| **Uн** | **Uк** | **Прирост, В** | **Энергия, Дж** |
|---|---|---|---|
| 278 | 287 | 9 | 2034 |
| 242 | 251 | 9 | 1774,8 |
| 210 | 216 | 6 | 1022,4 |
| 181 | 187 | 6 | 883,2 |
| | | **Среднее:** | **1428,6** |

Испытания с рекуперативным торможением с более высокой скорости (4,5 тыс. об/мин. до остановки) показали низкий прирост энергии, что говорит об ограничении максимального тока инвертором и в соответствии с алгоритмом работы рекуперация ограничивается, остановка привода происходит подпиткой статора электромотора постоянным током. Данное обстоятельство необходимо учитывать в алгоритме расчёта теоретической модели.

### 6.5.3. Определение энергетического КПД при различных схемах передачи энергии

### Определение энергетического КПД по режиму 4

*Цель работы:* провести исследование последовательной схемы передачи энергии в гибридном приводе по режиму нагрузки 4.

*Методика*

1. Зарядить конденсаторный накопитель до максимального напряжения.
2. Провести испытания по режиму нагрузки 4. При этом записывать потребляемую мощность в цепи электромотора, замерять расход топлива двигателем.
3. Вычислить энергетический КПД двигателя.
4. Повторить режим 4 при различных положениях переключателя нагрузки 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5. Записать потребляемую электромотором мощность и расход топлива. Вычислить энергетический КПД.
5. Построить график зависимости расхода топлива и энергетического КПД привода от нагрузки.

*Датчики:* ток и напряжение в цепи генератора нагрузки, ток и напряжения в цепи электромотора.

*Приборы:* измерительная система L-Card; тахометр (частотомер); часы.

## Определение энергетического КПД по режиму 6

*Цель работы:* провести исследование энергетической эффективности ГСУ по режиму нагрузки 6.

*Методика*

1. Зарядить конденсаторный накопитель до максимального напряжения.
2. Провести испытания по режиму нагрузки 6. При этом записывать потребляемую мощность в цепи электромотора, замерять расход топлива двигателем.
3. Вычислить энергетический КПД привода.
4. Повторить режим 4 при различных положениях переключателя нагрузки 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5. Записать потребляемую электромотором мощность и расход топлива. Вычислить энергетический КПД.
5. Построить график зависимости расхода топлива и энергетического КПД привода от нагрузки.

*Датчики:* ток и напряжение в цепи генератора нагрузки, ток и напряжения в цепи электромотора.

*Приборы:* измерительная система L-Card; тахометр (частотомер); часы.

## *Определение энергетического КПД по режиму 1*

*Цель работы:* провести исследование последовательной схемы передачи энергии в гибридном приводе по постоянному режиму нагрузки.

*Методика*

1. Провести серию испытания по режиму нагрузки 1, при одном и том же значении создаваемой мощности сопротивления прокручиванию узла нагрузки. При этом записывать потребляемую мощность в цепи электромотора, замерять расход топлива двигателем.
2. Записать потребляемую электромотором мощность и расход топлива. Вычислить энергетический КПД привода.

*Датчики:* ток и напряжение в цепи генератора нагрузки, ток и напряжения в цепи электромотора.

*Приборы*: измерительная система L-Card; тахометр (частотомер); часы.

Используемые зависимости

1. Мощности сопротивления привода

$$P = I \times U \text{ , Вт.} \tag{6.13}$$

2. Энергия, потребляемая приводом

$$W_{ПОТ} = P \times T \text{ , Дж.} \tag{6.14}$$

где Т – время проведения испытания, сек.

3. Энергия израсходованного топлива

$$W_{ТОП} = Q/1000 \times \rho \times H_U \times 1000\text{, Дж,} \qquad (6.15)$$

где $\rho$ – плотность бензина марки А-95; $H_U$ – удельная теплота сгорания, *кДж/кг*.

4. Энергетический КПД привода

$$\eta = \frac{W_{ПОТ}}{W_{ТОП}}. \qquad (6.16)$$

Измерение проводится на постоянной частоте вращения привода 3000 об/мин, ДВС работает на режиме, приближенном к внешней скоростной характеристике. В табл. 21 представлены результаты эксперимента по определению энергетического КПД экспериментальной ГСУ.

Таблица 21

Результаты замеров энергетического КПД ГСУ

| № п/п | Уровень топлива | | T, с. | Нагрузка | | | Расход топлива, мл | Энергия топлива, Дж | Энергетический КПД, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | начало, мл | конец, мл | | I,A | U,B | W, Дж | | | |
| 1 | 15 | 5 | 114 | 0,93 | 209 | 22158 | 10 | 334950 | 6,62 |
| 2 | 18 | 8 | 123 | 0,93 | 209 | 23908 | 10 | 334950 | 7,14 |
| 3 | 20 | 10 | 115 | 0,93 | 209 | 22353 | 10 | 334950 | 6,67 |
| 4 | 15 | 5 | 117 | 0,93 | 209 | 22741 | 10 | 334950 | 6,79 |
| 5 | 15 | 5 | 121 | 0,93 | 209 | 23519 | 10 | 334950 | 7,02 |
| | | | | | | | | **Среднее значение** | **6,85** |

Средний энергетический КПД ГСУ с последовательной схемой передачи энергии экспериментальной установки по результатам серии испытаний составил 6,85%. Достаточно низкая эффективность объясняется масштабностью применяемого оборудования, высоким удельным расходом топлива бензинового ДВС, низкой эффективность применяемого синхронного генератора. Полученная величина будет сопоставлена с энергетическим КПД механической передачи, снятой при тех же условиях.

## Определение энергетического КПД механической передачи по режиму 1

*Цель работы:* провести исследование механической схемы передачи энергии в приводе при фиксированной нагрузке.

*Методика*

Отключить нагрузочную цепь и цепь возбуждения генераторной установки.

1. Ролик натяжного механизма установить в положение «механическая передача».
2. Установить на инверторе обратное направление вращения.
3. Запитать преобразователь от внешней электрической сети.
4. Включить привод, разогнать электромотор до 100 Гц.
5. Убедившись в том, что ДВС запустился, отключить электромотор кнопкой «Стоп» преобразователя.
6. Убедиться в том, что ДВС вышел на устойчивый режим работы.
7. Произвести серию замеров расхода топлива ДВС
8. Отключить
9. Вычислить энергетический КПД привода.
10. Сравнить с результатами испытаний последовательной схемы передачи энергии.

*Датчики:* ток и напряжение в цепи генератора нагрузки.

*Приборы:* измерительная система L-Card; тахометр (частотомер); часы.

Таблица 22

Результаты замеров энергетического КПД механической передачи

| № п/п | Уровень топлива | | T, сек. | Нагрузка | | | Расход топлива, мл | Энергия топлива, Дж | Энергетический КПД, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | начало, мл | конец, мл | | I,A | U,B | W, Дж | | | |
| 1 | 15 | 5 | 155 | 0,93 | 209 | 30127 | 10 | 334950 | 8,99 |
| 2 | 15 | 5 | 160 | 0,93 | 209 | 31099 | 10 | 334950 | 9,28 |
| 3 | 15 | 5 | 181 | 0,93 | 209 | 35181 | 10 | 334950 | 10,50 |
| 4 | 15 | 5 | 171 | 0,93 | 209 | 33237 | 10 | 334950 | 9,92 |
| 5 | 15 | 5 | 170 | 0,93 | 209 | 33043 | 10 | 334950 | 9,87 |
| | | | | | | | | Среднее значение | 9,71 |

Средний энергетический КПД механической передачи экспериментальной установки по результатам серии испытаний составил 9,71%. Учитывая повышенное механическое сопротивления из-за роликового натяжного механизма, для повышения точности результатов эксперимента необходимо произвести сравнение с поправкой на разницу в КПД механических передач от ДВС к генератору нагрузки и от электромотора к генератору нагрузки. Таким образом действительный энергетический КПД прямой механической передачи будет ещё на 4 % больше и составит 10,01%.

### 6.5.4. Исследование и анализ работы электропривода

*Цель работы:* провести исследование энергетического КПД привода.

*Методика*

Установить частоту привода 10Гц. (300) об/мин

1. Ролик натяжного механизма установить в положение «выключенная механическая передача».
2. Запитать преобразователь от внешней электрической сети.
3. Снять показания тока и напряжения с пульта управления преобразователя при частотах с 10 до 200 Гц при свободном вращении.
4. Снять показания тока и напряжения с пульта управления преобразователя при частотах с 10 до 200 Гц при вращении с генератором нагрузки.
5. Отключить привод.
6. Вычислить энергетический КПД привода.
7. Сравнить с результатами испытаний последовательной схемы.

*Датчики:* ток и напряжение в цепи генератора нагрузки.

*Приборы:* измерительная система L-Card; тахометр (частотомер); часы.

Таблица 23

Характеристика энергетических потерь привода в зависимости от нагрузки

| **Частота, Гц** | **I, A** | **U,B** | **P=IU, Вт** | **Частота, Гц** | **I, A** | **U,B** | **P=IU, Вт** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 1,20 | 45,8 | 54,96 | 10 | 1,23 | 46,5 | 57,20 |
| 20 | 1,15 | 85,1 | 97,87 | 20 | 1,17 | 86,4 | 101,09 |
| 30 | 1,12 | 123,6 | 138,43 | 30 | 1,14 | 125,2 | 142,73 |
| 40 | 1,12 | 162,4 | 181,89 | 40 | 1,14 | 163,7 | 186,62 |
| 50 | 1,12 | 201 | 225,12 | 50 | 1,15 | 202,8 | 233,22 |
| 60 | 0,94 | 201 | 188,94 | 60 | 0,97 | 203 | 196,91 |
| 70 | 0,82 | 201 | 164,82 | 70 | 0,87 | 203,5 | 177,05 |
| 80 | 0,74 | 200 | 148,00 | 80 | 0,81 | 204,3 | 165,48 |
| 90 | 0,7 | 202 | 141,40 | 90 | 0,88 | 206 | 181,28 |
| 100 | 0,66 | 202 | 133,32 | 100 | 0,89 | 207 | 184,23 |
| 110 | 0,63 | 202,1 | 127,32 | 110 | 0,87 | 207 | 180,09 |
| 120 | 0,62 | 203,5 | 126,17 | 120 | 0,88 | 206 | 181,28 |
| 130 | 0,67 | 204,8 | 137,22 | 130 | 0,95 | 206 | 195,70 |
| 140 | 0,74 | 206 | 152,44 | 140 | 1 | 204 | 204,00 |
| 150 | 0,75 | 206,3 | 154,73 | 150 | 1,06 | 204 | 216,24 |
| 160 | 0,78 | 204 | 159,12 | 160 | 1,12 | 203 | 227,36 |
| 170 | 0,81 | 202 | 163,62 | 170 | 1,22 | 202 | 246,44 |
| 180 | 0,85 | 201 | 170,85 | 180 | 1,4 | 200 | 280,00 |
| 190 | 0,86 | 202 | 173,72 | 190 | 1,6 | 200 | 320,00 |
| 200 | 1 | 201 | 201,00 | 200 | 1,85 | 200 | 370,00 |

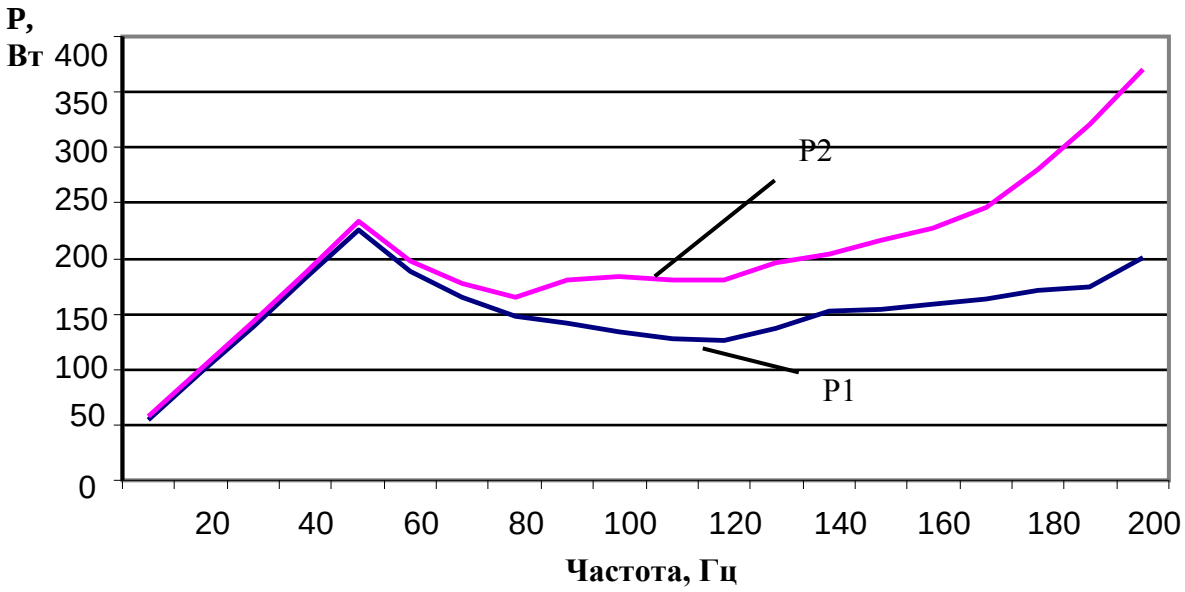



**Рис. 60. График изменения мощности сил сопротивления в зависимости от скорости вращения привода: P1 – потребляемая мощность привода без вращения узла нагрузки; P2 – потребляемая мощность с вращением генератора нагрузки**

Известна заданная характеристика изменения потребляемой мощности привода при различных установившихся скоростях – P1 (мощностная, частичная или внешняя характеристика). В следующем испытании участвует тот же привод но с другими условиями нагрузки. Как видно из рис. 60 мощностная характеристика изменилась. Наглядный пример показывает, как можно методом сравнения отследить потери энергии в приводе на различных нагрузочных режимах. При известной характеристике P1, полученное для исправного привода, положение характеристики P2 за рамками допуска будет отклонением, что будет говорить о значительных потерях в приводе.

## 6.6. Анализ стендовых испытаний

Проведённые опытно-конструкторские работы позволили изготовить экспериментальный исследовательский комплекс для исследования работы ГСУ в условиях работы при повторно-переменных нагрузках. Разработаны режимы испытаний P1, P4 и P6. Экспериментальным путём по известной методике определены законы изменения КПД элементов механической передачи привода, результаты показывают непостоянство механического КПД при различных передаваемых моментах. Произведено исследование режимов рекуперации привода. Усреднённые значения рекуперации энергии для отношения возвра-

щенной энергии к затраченной – 24,6%, усреднённое значение для случая возврата части кинетической энергии движущегося привода – 34,5%. Проведены исследования по определению значений энергетического КПД привода. Усреднённые значения для последовательной и параллельной схем передачи энергии составили 6,85% и 9,71%. Представлена методика исследования режимов работы электропривода ГСУ, получены мощностные характеристики работы привода.

Результаты экспериментов показали, что на прямой механической передаче ДВС и узла нагрузки регулировка скорости возможна только в узком диапазоне на номинальном режиме работы, разгон из положения покоя при этом неосуществим. Во втором случае, когда тот же самый ДВС используется для заряда накопителя в ГСУ, динамические разгоны с нагрузкой из положения покоя до максимальной скорости становятся возможны.

## Выводы по главе

Разработанные способы оценки эффективных характеристик ГСУ позволяют экспериментальным путём оценить техническое состояние электромеханической трансмиссии и ВВБ ГСУ автомобилей. Применение данных методик при выполнении работ по определению технического состояния ГСУ возможно в условиях станций технического обслуживания.

# ГЛАВА 7. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 7.1. Оценка достоверности методики по результатам экспериментальных и теоретических исследований

Оценка адекватности работы программы

Одним из важных этапов создания математической модели является отладка и тестирование [19, 37, 47].

Тестирование устанавливает факт наличия ошибок, а отладка выясняет ее причину.

Отладка включает в себя следующие этапы:

– синтаксическая отладка (локализация и устранение синтаксических ошибок и явных ошибок кодирования);

– отладка семантики и логической структуры;

– тестовые расчеты и анализ результатов тестирования (проверяется работоспособность программы, не содержащей явных ошибок);

– совершенствование программы.

В используемом редакторе Microsoft Excel проверка формул происходит автоматически после ввода, кодирование выполняемых операций выполняет сам редактор, что упрощает процесс отладки.

Для отладки используются имеющиеся данные по расходуемой на движение мощности [84].

Результаты отладки вычислений потребляемой приводом мощности при движении представлены в табл. 24.

Таблица 24

Мощность, затрачиваемая на движение

| **Скорость автомобиля, км/ч** | **Необходимая для движения мощность, кВт** | | **Ошибка, %** |
|---|---|---|---|
| | **Заданная** | **Расчётная** | |
| 64 | 3,6 | 3,549 | -1,44 |
| 80 | 5,9 | 5,951 | 0,85 |
| 96 | 9,2 | 9,534 | 3,5 |

Просмотр. Текст программы просматривается на предмет обнаружения ошибок и расхождений с алгоритмом. Просмотрена организация всех циклов, чтобы убедиться в правильности операторов, задающих кратности циклов.

Проверка. Вычислительный процесс программы проверен методом мысленного восстановления процесса вычисления и проверкой вычисляемых величин. В конце проверки результаты вычислений программы и результаты проверочного расчёта должны совпасть.

Прокрутка. Основой прокрутки является имитация выполнения программы. Для выполнения прокрутки заданы исходные данные и произведены необходимые вычисления. Прокрутка - трудоемкий процесс, поэтому применена лишь для контроля логически сложных участков программ. Исходные данные

выбраны с таким условием, чтобы в прокрутку вовлекалось большинство ветвей программы.

В результате отладки выявлены и устранены ошибки в расчётах и логических структурах. Вычисляемые моделью значения потребляемой автомобилем мощности соответствуют заданным.

Результаты работы копирующей системы могут быть оценены путём их сравнения с заданными техническими характеристиками автомобиля. В результате анализа работы привода в режиме испытательного городского цикла ЕС 2004 года получено приведённое значение расхода топлива – 4,268 л/100км., известное значение расхода топлива по данным завода изготовителя – 4,2 л/100км, что в определённой степени доказывает адекватность копирующей математической модели. Ошибка результатов вычислений при этом составляет

$$\Delta = \left| \frac{Q_{З.100} - Q_{Э100}}{Q_{З.100}} \right| \times 100 = \left| \frac{4{,}2 - 4{,}268}{4{,}2} \right| \times 100 = 1{,}6\% ,$$

где $Q_{З.100}$ и $Q_{Э.100}$ - заданный и экспериментальный приведённый расход топлива.

Оценка совпадения результатов теоретических и экспериментальных исследований произведена путём сравнения эксплуатационных характеристик, полученных с помощью программы ГСУ-АВТО по параметрам теоретического ездового цикла ЕС 2004 и этого же цикла, имитированного с помощью программы CX-Drive. Для получения наглядной картины результаты экспериментальных исследований масштабированы по оси X и Y.

Сравнение произведено по изменению энергии в накопителе (рис. 61), по изменению мощности на ведущих колёсах (выходном валу экспериментальной установки) (рис. 62), по изменению энергии в цепи заряда (рис. 63).

Оценка достоверности отклонения математической модели произведена с помощью относительной ошибки, характеризующей среднее отклонение фактических значений диагностических параметров от теоретических (эталонных).

$$\pm \Delta = \frac{\sum_{1}^{n} \left( \frac{N_T - N_Ф}{N_Ф} \right)}{n} \times 100 \ , (\%)$$

По изменению энергии в накопителе расхождение составило $\Delta = 4{,}35\%$.

По изменению мощности на ведущих колёсах расхождение составило $\Delta = 6{,}5\%$.

По изменению энергии на участке цепи заряда отклонение составило $\Delta = 10{,}5\%$.

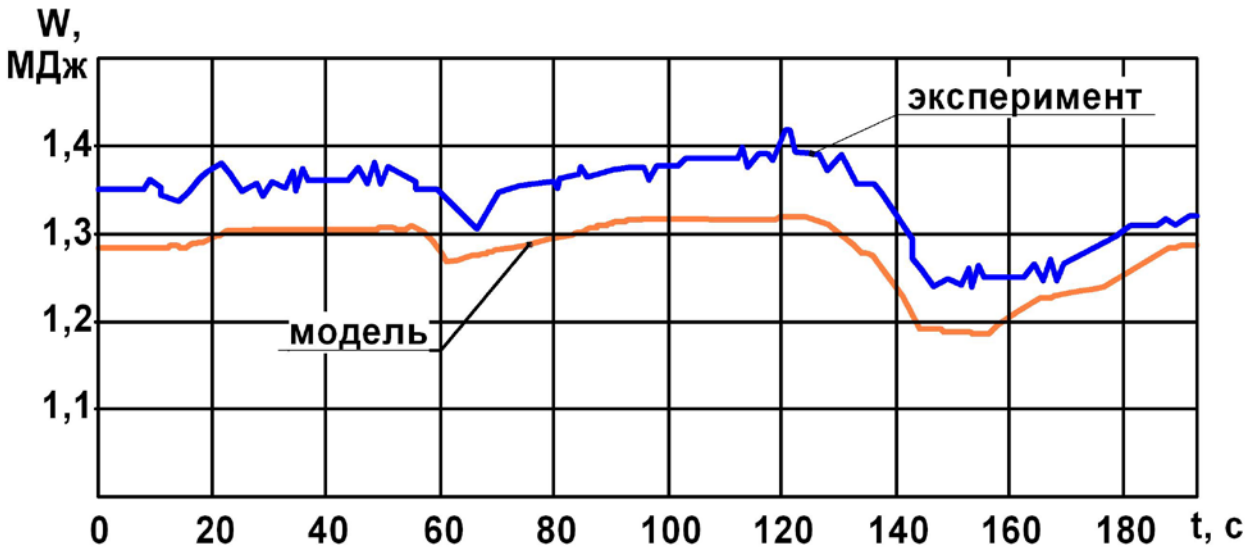



**Рис. 61. Изменение энергии в накопителе**

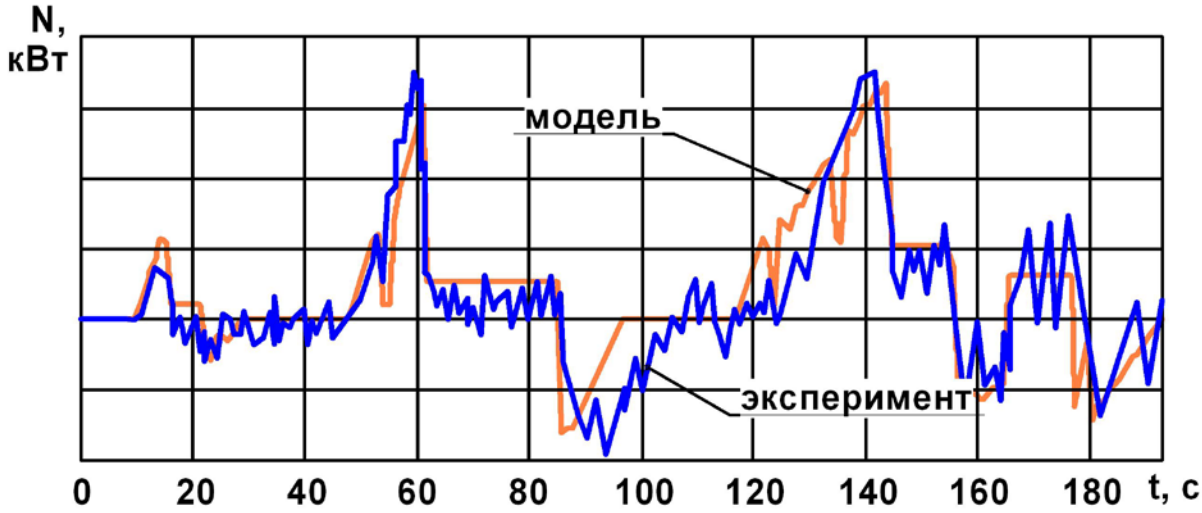



**Рис. 62. Изменение мощности на ведущих колёсах**

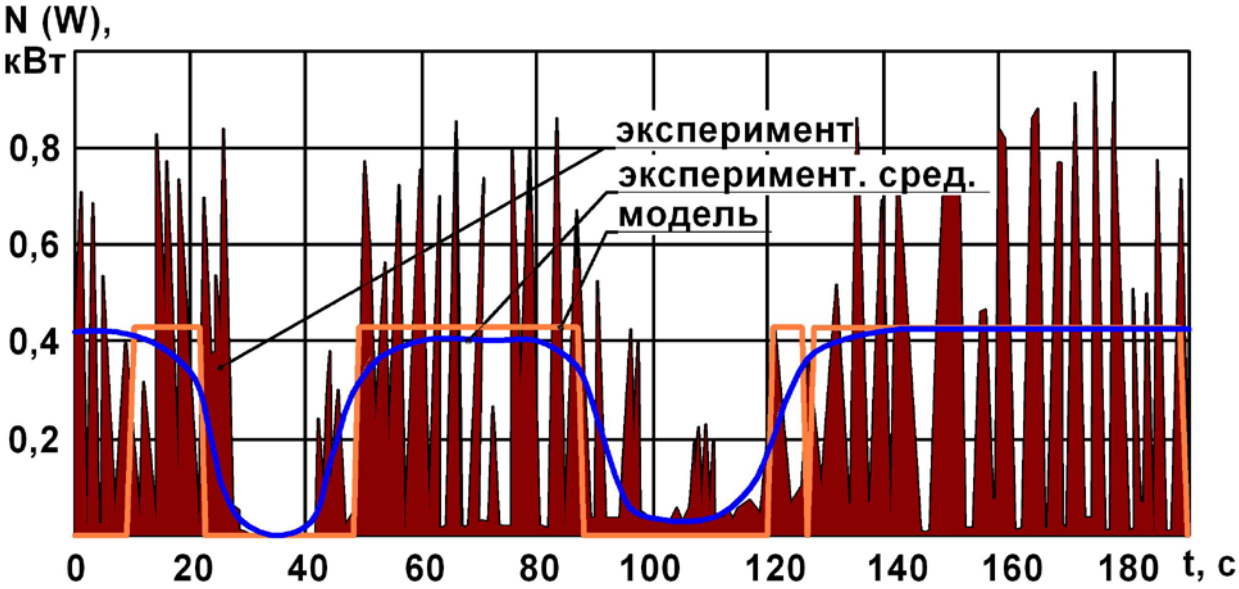



**Рис. 63. Изменение энергии в генераторе**

Отклонения результатов исследований очевидны, они вызваны существенными отличиями в конструкциях экспериментальной установки и мате-

матической модели, разными алгоритмами работы ГСУ автомобиля Prius и экспериментальной установки. При оценке результатов данный факт должен быть учтён.

По результатам проверки достоверности математической модели были сопоставлены теоретические значения развиваемой двигателем мощности $N_{ДВС.Т}$ при заданной установившейся скорости 64, 80 и 96 км/ч, с заданными значениями мощности $N_{ДВС.З}$ при той же установившейся скорости. Погрешность математической модели при описании работы автомобиля Prius составляет не более 3,5% при 96 км/ч.

Результаты сопоставления экспериментальных и теоретических исследований говорят о достаточном уровне достоверности математической модели. Сравнение приведённого производителем и полученного в результате расчёта с помощью программы ГСУ-АВТО расхода топлива при эксплуатации в городском режиме также говорит о достоверности модели расчёта.

## 7.2. Корректировка интервалов сервисного обслуживания автомобилей с ГСУ

Заводом изготовителем рекомендована периодичность обслуживания автомобиля Prius (табл. 25).

Результаты проведённого исследования позволили выявить воздействие условий эксплуатации российского климата на автомобиль. При сопоставлении результатов проведённого анализа неисправностей (п.1.3) и рекомендованной периодичности выполнения работ определены проблемные циклы обслуживания. Узлы и системы, период работоспособности которых не соответствовали циклу сервисного бюллетеня, или наблюдались подтвержденные отказы из-за воздействия негативных факторов, отмечены в табл. 25.

Таблица 25

Периодичность обслуживания по данным производителя

| **Объекты обслуживания** | **периодичность (пробег или время в месяцах, в зависимости от того, что наступит раньше)** | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **х1000 км** | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** | **60** | **70** | **80** | **мес.*** |
| **1** | | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| Зазоры в приводе клапанов | | - | - | - | - | - | - | - | п | 24 |
| Ремни привода навесных агрегатов | | - | - | - | - | - | - | - | п | 72 |
| Моторное масло | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Масляный фильтр | | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 12 |
| Охлаждающая жидкость (в двигателе и трансмиссии) | | первая замена через 160 000 км | | | | | | | | |
| Шланги, соединения, элементы систем охлаждения и обогрева | | - | - | п | - | - | п | - | - | 24 |
| приемная труба системы выпуска и крепление | | - | - | п | - | - | п | - | - | 24 |

Окончание табл. 25

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Свечи зажигания ("иридиевые" свечи зажигания) | замена каждые 100 000 км | | | | | | | | |
| Аккумуляторная батарея | п | п | п | п | п | п | п | п | 12 |
| Топливный фильтр | - | - | - | - | - | - | - | 3 | 72 |
| Воздушный фильтр | п | п | п | 3 | п | п | п | 3 | 48 |
| Крышка топливного бака, топливопроводы | - | - | - | п | - | - | - | п | 24 |
| Система вентиляции картера двигателя | - | п | - | п | - | п | - | п | 24 |
| Педаль торможения и стояночный тормоз | - | - | п | - | - | п | - | - | 24 |
| Шаровые шарниры и чехлы приводных валов | - | п | - | п | - | п | - | п | 12 |
| Рабочая жидкость трансмиссии | - | - | - | п | - | - | - | 3 | 36/72 |
| Состояние шин и давление в шинах | п | п | п | п | п | п | п | п | 6 |

* для автомобилей, имеющих ежегодный пробег менее 10 тыс. км указано в месяцах

Пояснение: П - проверка и/или регулировка (ремонт или замена при необходимости); З – замена; 24 – периодичность проверки, месяцев; 24/48 - периодичность проверки/замены, месяцев.

В табл. 26 представлена откорректированная периодичность выполнения работ с учётом результатов исследования негативных факторов, влияющих на периодичность ТО и Р и результаты анализа отказов при эксплуатации.

Таблица 26

Откорректированная периодичность обслуживания для условий эксплуатации РФ

| **Объекты обслуживания** | **периодичность (пробег или время в месяцах, в зависимости от того, что наступит раньше)** | | | | | | | | | **Рекомендация №** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **х1000 км** | **10** | **20** | **30** | **40** | **50** | **60** | **70** | **80** | **мес.** |
| **1** | | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
| Зазоры в приводе клапанов | | - | - | - | - | - | - | - | п | 24 | |
| Ремни привода навесных агрегатов | | - | - | - | п | - | - | - | п | 48 | |
| Моторное масло | | З | З | З | З | З | З | З | З | 12 | |
| Масляный фильтр | | З | З | З | З | З | З | З | З | 12 | |
| Охлаждающая жидкость (в двигателе и трансмиссии) | | 60 000 км или раз в 3 года | | | | | | | | | |
| Шланги, соединения и элементы систем охлаждения, обогрева | | - | п | - | п | - | п | - | п | 24 | 1 |
| Приемная труба системы выпуска и крепление | | - | п | - | п | - | п | - | п | 24 | 3 |
| Свечи зажигания ("иридиевые" свечи зажигания) | | - | - | - | - | - | З | - | - | 60 | |
| Аккумуляторная батарея | | п | п | п | п | п | п | п | п | 12 | |
| Топливный фильтр | | - | - | - | - | З | - | - | - | 72 | |
| Воздушный фильтр | | п | п | З | п | п | З | п | п | 36 | 2 |
| Крышка топливного бака, топливопроводы | | - | - | п | - | - | п | - | - | 24 | |

Окончание табл. 26

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Система вентиляции картера двигателя | - | п | - | п | - | п | - | п | 24 | |
| Датчик массового расхода воздуха | проверка каждые 100 тыс. км | | | | | | | | | |
| Педаль торможения и стояночный тормоз | - | - | п | - | - | п | - | - | 24 | |
| Шаровые шарниры и чехлы приводных валов | - | п | - | п | - | п | - | п | 12 | З |
| Рабочая жидкость трансмиссии | - | - | - | З | - | - | - | З | 36 | |
| Состояние шин и давление в шинах | п | п | п | п | п | п | п | п | 6 | З |

Рекомендации:

1. Проверять радиатор на отсутствие загрязнения листьями и грязью; проверьте ребра радиатора; убедитесь в правильной установке шлангов и соединений; проверять наличие ржавчины; очистить радиатор при необходимости.

2. При эксплуатации на пыльных дорогах проверять каждые 2 500 км (или 3 месяца).

3. Проверять наличие повреждений от воздействия камней, неровностей дороги.

Обслуживание высоковольтной части ГСУ не предусмотрено. Рекомендуется заводить автомобиль на 30-40 минут, по крайней мере 2 раза в месяц, если он не эксплуатируется. Запрещается движение на автомобиле без бензина.

### 7.3. Рекомендации по унификации встроенной системы диагностирования для производителей

Электронный блок управления ГСУ Toyota Prius имеет систему самодиагностики. Если блок идентифицирует неисправность на комбинации приборов загорается знак общей неисправности - красный треугольник, одновременно на многофункциональном дисплее отображается индикатор неисправности ГСУ, индикатор разряда ВВБ или вспомогательной батареи. Всего существует 88 основных кодов, описывающих неисправности ГСУ [84]. Считывание кодов возможно также по протоколу OBD-II, данное мероприятие в значительной степени упрощает процесс диагностирования, однако результаты самодиагностики не всегда указывают на причину проблемы, зачастую они являются лишь следствием. Другой случай, когда система самодиагностики не определяет неисправность, коды неисправности отсутствуют. Стандартные методы уже не помогают, оценка технического состояния ГСУ методом испытаний в этом случае является эффективной.

Интеграция предлагаемой методики в систему самодиагностики автомобиля может быть осуществима с помощью программных тестов, при этом нет необходимости устанавливать датчики замеров тока, напряжения, скорости, времени, расхода топлива, система может использовать собственные. Например: тест ёмкости батареи по падению напряжения при разгоне, тест на испытание развиваемой мощности ДВС во время разгона, заряда батареи. Приме-

ром таких тестов является тест самодиагностики и калибровки форсунок Common-Rail дизельных двигателей по неравномерности вращения коленчатого вала. Преимуществами тестов является простота выполнения, отсутствие необходимости в дополнительном оборудовании и приспособлениях, недостатком является отсутствие возможности проверки достоверности результатов, т.к. внешние условия могут не соответствовать нормативным, что приведёт к недостоверности выводов. Следует также учитывать, что никакая система диагностики и методика не смогут заменить опытного, квалифицированного инженера – диагноста, а также уберечь автомобиль от повреждений в результате вмешательства недостаточно компетентного специалиста.

## 7.4. Экономическое обоснование применения методики оценки технического состояния ГСУ автомобилей

Внедрение методики оценки технического состояния ГСУ автомобиля позволяет уменьшить затраты времени на диагностирование; уменьшить расходы связанные с транспортировкой к месту проведения диагностических работ; повысить точность постановки диагноза; увеличить срок службы автомобиля; сократить расход топлива; поддерживать динамические качества автомобиля на высоком уровне. Однако внедрение процессов диагностирования требует определённых капиталовложений на приобретение и установку диагностического оборудования, затрат на его амортизацию и текущие эксплуатационные расходы, заработную плату, обучение инженеров-диагностов необходимым знаниям.

Эффективность внедрения процесса диагностирования не может быть выражена каким либо экономическим или техническим универсальным показателем. Для её выявления использовано несколько подходов: определение точки безубыточности при внедрении методики; прогнозирование дополнительной выручки и срока окупаемости при внедрении методики; оценка экономии для владельцев автомобилей.

1. Расчёт точки безубыточности внедрения методики. Точкой безубыточности является точка пересечения линий выручки и совокупных затрат. При этом дополнительная прибыль от внедрения равна нулю, а весь получаемый доход покрывает общие затраты на внедрение методики. Расчёт затрат на капитальные вложения от внедрения для углублённой и упрощённой методики представлен в табл. 27.

Стоимость услуги по диагностированию (без ремонта) для большинства иностранных автомобилей составляют от 1000 до 2000 рублей. Стоимость услуги у официального дилера Toyota составляет 1000 рублей. Исходя из дополнительных капитальных затрат и сопутствующих расходов стоимость услуги по диагностированию ГСУ составит 1500 рублей, из них отчисления на амортизацию оборудования ($C_1$)составят 400 рублей.

Таблица 27

Затраты на внедрение методики оценки технического состояния ГСУ

| № п/п | Позиция затрат | Стоимость, тыс. руб. |
|---|---|---|
| Полный комплект для углублённой методики | | |
| 1 | Цифровая измерительно-записывающая система (6 датчиков) | 30 |
| 2 | Программа ГСУ-АВТО | 10 |
| 3 | Оплата курсов обучения инженеров-диагностов | 3,5 |
| | **Всего затрат ($К_{Д1}$)** | **43,5** |
| Комплект для упрощённой методики | | |
| 1 | Цифровая измерительно-записывающая система (2 датчика) | 15 |
| 2 | Программа ГСУ-АВТО | 10 |
| 3 | Оплата курсов обучения инженеров-диагностов | 3,5 |
| | **Всего затрат ($К_{Д2}$)** | **28,5** |

Количество операций до достижения точки безубыточности составит:
- для полного комплекта

$$n_1 = К_{Д1} / С_1 = 43{,}5 / 400 \approx 109 ;$$

- комплекта для упрощённой диагностики

$$n_2 = К_{Д} / С_1 = 28{,}5 / 400 \approx 72 .$$

2. Прогнозное значение дополнительной выручки при внедрении методики для СТО. Прогноз основывается на данных по темпам роста автомобилей в России в целом и отдельных регионах в частности, на примере Вологодской области, по количеству заездов автомобилей с ГСУ на ремонт, с точки зрения получения дополнительных средств сервису от обслуживание автомобилей с ГСУ, с учётом того, что выручка от каждого автомобиля в год составит не более 1,0 тыс. руб.

Таблица 28

Дополнительная выручка СТО по годам

| Год | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Количество заездов, шт. | 6 | 12 | 24 | 48 | 96 | 192 | 384 | 768 | 1538 |
| Доп. выручка, тыс. руб. | 6,0 | 12,0 | 24,0 | 48,0 | 96,0 | 192,0 | 384,0 | 768,0 | 1538,0 |

3. Прогнозное значение срока окупаемости капитальных вложений

Исходя из табл. 28 по прогнозируемому сценарию количество автомобилей с ГСУ в регионе достигнет 109 к концу 2016 года, 72-х к концу 2015 года, время окупаемости капиталовложений с 2012 года при этом составит 5 лет и 4 года.

4. Оценка удобства для владельца автомобиля. Затраты на обслуживание автомобиля складываются из стоимости работ, эксплуатационных материалов, запчастей, топлива, потраченного времени и дополнительного пробега автомобиля. Доставка автомобиля к месту проведения ТО и Р при значительном удалении СТО может составить значительную часть общих расходов или даже превысить их. Так, например, время нахождения автомобиля Prius на диагностике ГСУ должно составлять 40 минут (без учёта ремонта). При этом если СТО находится в этом же городе косвенные затраты составят: по времени – 2 часа, по топливу – 3 литра; по пробегу 40 км (0,4% от стоимости одного сервисного обслуживания).

При удалении СТО, к примеру, на 500 км (Вологда-Москва) затраты составят: по времени - 18 часов; по топливу – 32 литра; по пробегу 1000 км (10% от стоимости одного сервисного обслуживания). При поломках, связанных с полным отказом автомобиля затраты на эвакуацию до ближайшего СТО могут составить 30 тыс. руб. и более. Таким образом, экономия для владельца автомобиля при внедрении данной методики значительна.

5. Экономическая эффективность от применения рекомендаций по эксплуатации и обслуживанию автомобилей. Как отмечалось в разделе 1, тактика замены свечей зажигания по пробегу так же эффективна, как и замена по состоянию с периодическим контролем технического состояния. Для исключения дополнительных расходов, связанных с устранением последствий перегрева электронных ключей инвертора и отказом автомобиля, целесообразно применять тактику периодической замены циркуляционного насоса системы охлаждения каждые 90 тыс. км.

Следует также учесть и тот факт, что применяемая в методике оценки технического состояния измерительно-записывающая цифровая система универсальна, т.к. может быть использована для снижения трудоёмкости диагностирования электрооборудования любого другого автомобиля, что подтверждено испытаниями.

# ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Выявлен основной недостаток существующих методик оценки технического состояния: они основаны на раздельной проверке цепочек потоков мощности. При этом не учитывается то, что неисправности ДВС, приводящие к ухудшению его эффективных показателей, сопровождаются увеличением нагрузки на высоковольтную батарею, резко снижая ее надежность.

2. Обоснован выбор диагностических параметров для оценки технического состояния ГСУ автомобиля.

3. Разработана методика оценки технического состояния ГСУ, исключающая ошибочную постановку диагноза в условиях взаимного влияния потоков мощности от ДВС и высоковольтной батареи, при этом упрощается также процесс диагностирования.

4. Разработана математическая модель и программы для вычисления эталонных значений диагностического параметра оценки технического состояния ГСУ автомобиля (программа зарегистрирована во ВНТИЦ).

5. Получены результаты теоретического исследования диагностических параметров и установлены факторы, влияющие на результаты оценки технического состояния ГСУ.

6. Выполнена оценка адекватности разработанных алгоритмов реальным процессам, происходящим в ГСУ автомобиля.

7. Разработаны и изготовлены экспериментальная установка и средства диагностирования, позволяющие выполнить исследования по проверке разработанной методики в лабораторных условиях.

8. Разработан алгоритм поиска неисправностей ГСУ автомобилей с комплектной диагностикой ДВС и накопителя энергии, исключающий этап поэлементной диагностики цепочек мощности.

9. Выполнено технико-экономическое обоснование целесообразности внедрения разработанной методики. За счет использования методики при диагностировании технического состояния ДВС и высоковольтной батареи трудозатраты могут быть снижены в два раза.

## БЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК


1. Александров, И.К. Повышение экономичности автотранспортных средств путем использования гибридных силовых установок / И.К. Александров, О.Л. Белков, **В.А. Раков** // Вузовская наука - региону: материалы пятой всерос. науч.-техн. конф., 21 февр. 2007 г. / ВоГТУ. - Вологда, 2007. - Т. 1. - С. 4-7.

2. Александров, И.К. Научно-техническое обоснование энергетического баланса в системе генератор-накопитель энергии - двигатель гибридного привода на основании исследований ездового цикла троллейбуса: научно-исследовательская работа по заказу ОАО «Транс-Альфа» / И.К. Александров, Е.В. Несговоров, **В.А Раков.** - Вологда: ВоГТУ, 2008. – 78 с.

3. Александров, И.К. Оценка энергетической эффективности ДВС в условиях неустановившегося режима работы / И.К. Александров, О.Л. Белков, **В.А. Раков** // Вестник машиностроения. – 2008. – №6. – С.17-20.

4. Александров, И.К. Модернизация традиционной методики расчета фрикционных потерь в парах трения на основе экспериментальных исследований механических потерь в опорах валов / И. К. Александров, **В.А. Раков** // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы пятой междунар. науч.-техн. конф., 23-25 нояб. 2009 г. - Вологда, 2009. – Т. 1. – С. 21-25.

5. Александров, И.К. Модернизация расчета параметров тягового привода электромобиля / И. К. Александров, **В.А. Раков** // Вузовская наука - региону: материалы седьмой всерос. науч.-техн. конф., 27 февр. 2009 г. / ВоГТУ. - Вологда, 2009. - Т. 1. - С. 112-114.

6. Александров, И.К. Тяговый расчет транспортных средств с адаптивным приводным двигателем / И.К. Александров, Е.В. Несговоров, **В.А. Раков** // Вестник машиностроения. – 2010. – №2. – С. 18-21.

7. Александров, И.К. Адаптивные трансмиссии – путь к созданию экономичных машинных агрегатов и транспортных средств / И.К. Александров, Е.В. Несговоров, **В.А. Раков** // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. - №1. – С. 25-27.

8. Александров, И.К. Перспективы развития транспортных средств с электроприводом / И.К. Александров, В.А. **Раков, А.А.** Щербакова // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4. – С. 65-68.

9. Александров, И.К. Анализ перспектив развития электрифицированного автомобильного транспорта / И.К. Александров, **В.А. Раков** // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – №2. – С. 50-52.

10. Андреева, Е. Актуальность развития систем диагностирования комбинированных энергоустановок тягово-транспортных средств [Электромобили] / Е. Андреева // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – 2007. - №4. - С. 144-145.

11. Барбашов, Н.Н. Выбор оптимальной мощности двигателя внутреннего сгорания гибридной силовой установки / Н.Н. Барбашов, И.В. Леонов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – Серия: Машиностроение. – 2010. - №4. – С. 47-54.

12. Баулина, Е.Е. Методика повышения устойчивости и улучшения управляемости автомобиля с комбинированной энергетической установкой при измене-

нии типа привода в процессе движения: дис. …канд. техн. наук / Е.Е. Баулина. – М., 2010. - 212 с.

13. Богданов, К.Л. Тяговый электропривод автомобиля / К.Л. Богданов. – М.: МАДИ, 2009. – 57 с.

14. Бордовский, Г.А. Физические основы математического моделирования: учеб. пособие для вузов / Г.А. Бордовский, А.С. Кондратьев, А.Р. Чоудери. – М.: Академия, 2005. – 320 с.

15. Вадзинский, Р.Н. Статистические вычисления в среде Excel. Библиотека пользователя / Р.Н. Вадзинский. – СПб.: Питер, 2008. – 608 с.

16. Васильев, В.А. Снижение потерь энергии в гибридном приводе автомобиля за счет уменьшения влияния пульсационной составляющей крутящего момента ДВС и применения рациональной схемы: дис. …канд. техн наук / В.А. Васильев. – Ижевск, 2007. - 166 с.

17. Закарчевский, О.В. Повышение надёжности двигателя в гибридных транспортных средствах / О.В. Закарческий, А.В. Демидов, А.В. Хлебанцев // Международный научный журнал. – 2009. - №3. – С. 87-90.

18. Златин, П.А. Электромобили и гибридные автомобили / П.А. Златин, В.А. Кеменов, И.П. Ксеневич. - М.: Агроконсалт, 2004.- 416 с.

19. Иваненко, М.А. Оценка экономической эффективности применения автотранспортных средств с комбинированной силовой установкой: дис. …канд. экон. наук / М.А. Иваненко. – М., 2006. - 121 с.

20. Изосимов, Д.Б. Согласующие преобразователи постоянного тока для автомобильных комбинированных энергоустановок на базе электрохимических генераторов (топливных элементов) и конденсаторных накопителей / Б.Д. Изосимов, С.В. Байда, А.В. Беребердин // Датчики и системы. - 2003. - №5. - С. 20 - 26.

21. Ипатов, А.А. Электромобили и автомобили с КЭУ / А.А. Ипатов, А.А. Эйднов. - М.: НАМИ, 2004.- 328с.

22. Карпухин, К.Е. Принципы и алгоритм управления автомобилем с гибридной силовой установкой: дис. …канд. техн. наук / К.Е. Карпухин. – М.: МАМИ, 2008. - 123 с.

23. Константинов, В. Разработка серии гусеничных транспортных средств с гибридной системой энергоснабжения (ДВС и электродвигатель) для фермерских хозяйств. Мощностные характеристики, расход энергии и эффективность привода ходовой части. (Япония) / В. Константинов // Инженерно-техническое обеспечение АПК. – 2010. - №2. – С. 605.

24. Кондрашкин, А.С., Комбинированная силовая установка для электромобиля / А.С. Кондрашкин, Н.М.Филькин, В.Г. Мезрин // Автомобильная промышленность. - 1996. - № 4. - С. 9-10.

25. Кравченко, П.А. Организационный и технологический ресурс решения проблемы обеспечения безопасности дорожного движения в РФ / П.А. Кравченко // Транспорт РФ. – 2008. - №15. – С.70-75.

26. Ксеневич, И.П. Идеология проектирования электромеханических систем для гибридной мобильной техники / И.П. Ксеневич, Д.Б. Изосимов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1997. – № 1. – С. 17-23.

27. Кутов, В. Высоковольтная батарея Toyota Prius / В. Кутов // Легион-Автодата. - 2009. - №1. – С. 1-5.

28. Литвинов, А.С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств: учеб. для вузов / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. - М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.

29. Лазарева, А.Н. Разработка методики расчета базовых параметров и характеристик гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы для легкового автомобиля: дис. …канд. техн. наук / А.Н. Лазарева. – Ижевск, 2006. - 164 с.

30. Мирошников, Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.М. Пал. – М.: Транспорт, 1977. - 253 с.

31. Морозов, К.А. Токсичность автомобильных двигателей / К. А. Морозов.- М.: Легион-Автодата, 2001. - 80 с.

32. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным: РД. 50-690-89: утв. госстандартом СССР. – Введ. 30.10.89. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 136 с.

33. Панкратов, В. Тенденции развития общепромышленных электроприводов переменного тока на основе современных устройств силовой электроники / В. Панкратов // Силовая интеллектуальная электроника. Специализированный информационно-аналитический журнал. – 2005. – №2. – С. 27-31.

34. **Раков, В.А.** Результаты автоматизированного расчета параметров гибридного привода / В.А. Раков // Вузовская наука - региону: материалы восьмой всерос. науч.-техн. конф., 26 февр. 2010 г. / ВоГТУ. - Вологда, 2010. - Т. 1. - С. 263-265.

35. **Раков, В.А.** Оценка технического состояния гибридных силовых установок автомобилей /В.А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №1. – С. 49-52.

36. **Раков, В.А.** Определение оптимальных параметров накопителя энергии гибридных силовых установок автомобилей / В.А. Раков // Молодые исследователи - регионам: материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов: в 2 т. - Вологда: ВоГТУ, 2009. - Т. 1. – С. 199-200.

37. **Раков, В.А.** Расчёт параметров тягового привода электромобиля / В. А. Раков // Материалы II ежегодных смотров - сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук: в 2 т. - Вологда: ВоГТУ, 2008. - Т. 1. - С. 225-229.

38. **Раков, В.А.** Исследование и испытание гибридных двигателей транспортных средств / В.А. Раков, А.В. Смирнов, Д.А. Колесниченко // Молодёжь. Наука. Инновации: Труды I международной научно-практической интернет-конференции. - Пенза: Пензенский филиал РГУИТП, 2010. – С. 246-257.

39. **Раков, В.А.** Диагностирование автомобилей с гибридной силовой установкой – проблемы и пути их решения / В.А. Раков, И.К. Александров // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надёжность машин приборов и оборудования: материалы шестой междунар. научн. –техн. конф.: в 2 т. – Вологда: ВоГТУ, 2010. – Т. 2. – С. 64-68.

40. **Раков, В.А.** Определение необходимой мощности ДВС гибридных силовых установок транспортных средств / В. А. Раков, А. В. Смирнов // Вестник машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 32-35.

41. **Раков, В.А**. Особенности технического обслуживания гибридных автомобилей на территории РФ / В.А. Раков, И.К. Александров, А.Ю. Сальников // Вузовская наука – региону: материалы девятой всерос. науч.-техн. конф., 25 февр. 2011 г. / ВоГТУ. – Вологда, 2011. – Т. 1. – С. 138-140.

42. **Раков, В.А.** Анализ отказов и неисправностей гибридных силовых установко автомобилей [Электронный ресурс] / В.А. Раков // Молодёжь. Наука. Инновации: труды VI междунар. научн. –практ. интернет-конф.. - Пенза: Пензенский филиал РГУИТП, 2012. – Режим доступа: http://rgu-penza.ru/mni/index.php?view=themes&data=parts_view&id=100.

43. **Раков, В.А.** Гибридный автомобиль. Концепция экономичного городского автомобиля. Исследование эффективности. Проектирование. Расчеты: монография / В.А. Раков**.** – Саарбрюккен: LAP, 2012. – 104 с.

44. **Раков, В.А.** Оценка развития мирового автопарка гибридных автомобилей /В.А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2012. – №8. – С. 49-52.

45. **Раков, В.А.** Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: дис. …канд. техн. наук / В.А. Раков. – СПб.: СПБГАСУ, 2012. - 169 с.

46. **Раков, В.А.** Неисправности гибридных силовых установок автомобилей / В.А. Раков // Технические науки – основа современной инновационной системы, I Международная научн. –практ. конф., 10 дек. 2012г. / Приволжский научно-исследовательский центр. - Йошкар-Ола, 2012. – С. 210-211.

47. **Раков, В.А.** Математическая модель для вычисления основных параметров гибридной силовой установки по заданным условиям эксплуатации / В.А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надёжность машин, приборов и оборудования: материалы восьмой междунар. научно-техн. конф. – Вологда: ВоГТУ, 2013. – С. 175-180.

48. **Раков, В.А.** Исследование автопарка гибридных автомобилей / В.А. Раков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 1(31). – С. 18-23.

49. **Раков, В.А.** Исследование факторов, влияющих на надежность гибридных силовых установок автомобилей / В.А. Раков // Технические науки – основа современной инновационной системы, II Международная научн. -практ. конф., 25 мар. 2013 г. / Приволжский научно-исследовательский центр. - Йошкар-Ола, 2013. – С. 128-130.

50. **Раков, В.А.** Исследование эксплуатационной надежности гибридных силовых установок автомобилей / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2013. – №4. – С. 44-49.

51. **Раков, В.А.** Развитие парка гибридных автомобилей / В.А. Раков // Мир транспорта. -2013. – №1 – С. 52-59.

52. **Раков, В.А.** Оценка технического состояния гибридных силовых установок автомобилей / В.А. Раков // Сборник научных трудов SWorld. Материалы международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2012». Выпуск 1.– Одесса: КУПРИЕНКО, 2013 - Т. 1. – С. 102-107.

53. **Раков, В.А**. Определение мощности, потребляемой транспортным средством при неустановившихся режимах работы /В.А. Раков, И.К. Александров // Автомобильная промышленность. – 2013. – №5. – С. 9-11.

54. Самарский, А.А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. - М.: Физматлит, 2001. - 67 с.

55. Сурин, Е.И. Моделирование автомобиля с комбинированной энергетической установкой на базе ГАЗ 2705 / Е.И. Сурин, К.М. Сидоров, М.В. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2007. – №4. – С. 14-16.

56. Сурин, Е.И. Энергетическая эффективность электромобилей и гибридных автомобилей / Е.И. Сурин, Т.В. Голубчик // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2006. – №6. – С. 3-5.

57. Токарев, А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качестве автомобиля / А.А. Токарев. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.

58. Умняшкин, В.А. Динамика комбинированных энергосиловых установок машин / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин // Вестник Уральского межрегионального отделения Академии транспорта. – 1998. – №1 – С. 4-10.

59. Федотова, Ю. Гибридные автомобили: настоящее и будущее / Ю. Федотова // Аймпресс. - 2005. – №9 (49). – С. 23-27.

60. Филькин, Н.М. Методики оптимизации параметров конструкции энергосиловой установки транспортной машины / Н.М. Филькин. - Ижевск: ИжГТУ, 2001. - 79 с.

61. Филькина (Лазарева), А.Н. Алгоритм управления электромеханическим приводом гибридного автомобиля / А.Н. Филькина (Лазарева), Н.М. Филькин // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: материалы второй междунар. научно-практической конф. / ИжГТУ. – Ижевск, 2003. – Ч. 1. – С. 228-230.

62. Флоренцев, С.Н. Тяговый электропривод в гибридных транспортных средствах / С.Н. Флоренцев, Д.Б. Изосимов // Электронные компоненты. – 2009. – №11. – С. 13-18.

63. Хамидуллин, Р. Совершенствование конструкции гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы за счет устранения жесткой кинематической связи между тепловым и электрическим двигателями: дис. …канд. техн. наук / Р. Хамидуллин. – Ижевск, 2007. - 138 с.

64. Ютт, В.Е. Перспективы развития автомобилей с комбинированными энергетическими установками / В.Е. Ютт, Е.И. Сурин, К.М. Сидоров // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2009. - № 2-3. – С. 2-5.

65. Автомобили в России [Электронные ресурсы] // Автомобили в России: автопортал. - Режим доступа: http://auto.ru.

66. Автомобильный справочник: пер. с англ. / Фирма BOSCH. – М.: За рулем, 2004. - 992 с.

67. Американская компания, производящая гибридные грузовые автомобили [Электронный ресурс] // Azure Dynamics: официальный сайт. – Режим доступа: http://www.azuredynamics.com.

68. Информационные ресурсы [Электронные ресурсы] // ФИПС: Федеральный институт промышленной собственности. - Режим доступа: http://www1.fips.ru.

69. Инструкция по эксплуатации. Мощностной стенд LPS 3000 МАНА. – М.: МАХА Руссиа, 2009. – 425 с.

70. Двигатель Honda GX-35. Техническое описание. – Брюссель: European Engine Center, 2005. – 4 с.

71. Краткий автомобильный справочник : [в 5 т.] . Т. 3 : Легковые автомобили, ч. 1 / [Б. В. Кисуленко и др.] / [под общ. ред. А. П. Насонова] . - М. : Автополис-плюс: Финпол , 2005 . - 482 с.

72. Основы методики расчёта и обоснования базовых параметров гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин, Д.А. Коптев, И.И. Галеев // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. - №1. - С. 164-174.

73. Пат. 2378742 Российская Федерация, МПК H01 M 8/02. Устройство для получения электрической энергии постоянного тока / И. К. Александров, Е. В. Несговоров, **В.А. Раков,** А.В. Рыжков; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. – № 2008145349/09; заявл. 17.11.2008; опубл. 10.01.10, Бюл. № 1. - 5 с.

74. Пат. 2411496 Российская Федерация, МПК G01 N 3/56. Способ экспериментально-теоретического определения фрикционных характеристик пары трения для передачи вращательного движения и устройство для его осуществления / И. К.Александров, **В.А. Раков**, А.В. Рыжков; заявитель и патентообладатель Вологодский государственный технический университет. - № 2009112708/28; заявл. 06.04.2009; опубл. 10.02.2011, Бюл. № 4. - 8 с.

75. Перспективы продаж автомобилей с дизельными гибридными двигателями в США // Бюллетень иностранной коммерческой информации. - 2008. - № 108. - С. 12-12.

76. Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитрактора): РД 37.009.026-92: утв. Приказом Департамента автомобильной промышленности Минпрома РФ от 1 ноября 1992 г. № 43. – Введ. 1.01.1993. - М.: Департамент автомобильной промышленности Минпрома РФ, 1993. – 88 с.

77. Об утверждении Правила по охране труда на автомобильном транспорте ПОТ Р О 200 - 01 -95 [Электронный ресурс]: приказ Министерства транспорта Российской Федерациот 13.12.1995 № 106 // Техэксперт: инф.-справ.система / Консорцикм «Кодекс».

78. Разработка конструкторской документации и изготовление экспериментального образца гибридной силовой установки для городского автомобиля: научно-технический отчёт по НИОКР / И. К. Александров, **В.А. Раков**, Е.В. Несговоров, А.В. Рыжков. – Вологда: Перспективные энергосберегающие технологии, 2010. – 142 с.

79. Регистрационная карта: инв. № 50201001370. Автоматизированный расчёт оптимальных параметров гибридных силовых установок транспортных средств с последовательной и параллельной схемой расположения элементов: программа ГСУ-АВТО. – ИКАП / **В.А. Раков.** - №И100616190121; дата регистрации 10.08.10. - М.: ВНТИЦ, 2010. - 2 с.

80. Статистика ключевых слов [Электронный ресурс] // Яндекс. - Режим доступа: http://wordstat.yandex.ru.

81. Теория и расчёт тягового привода электромобилей: учеб. пособие для вузов по спец. «Городской электрический транспорт» и «Электрическая тяга и автоматизация тяговых устройств / И.С. Ефремов, А.П. Пролыгин, Ю.М. Андреев, А.Б. Миндлин. – М.: Высшая школа, 1984. - 383 с.

82. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов по специальности "Автомобили и автомоб. хоз-во" / под ред. Е. С. Кузнецова . - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Наука , 2004 . - 535 с. : ил.

83. Технический регламент о безопасности колёсных транспортных средств: утв. постановлением Правительства РФ от 23 сент. 2009 г. № 720. – М.: «Российская газета», 2009. - 28 с.

84. Toyota Prius: модели 2003-2009г.в.: устройство, техническое обслуживание и ремонт. – М.: Легион-Автодата, 2009. – 568 с.

85. Toyota Prius [Электронный ресурс] // Автотехцентр GIBRIDs.ru: официальный сайт. – Режим доступа: http://www.hybrids.ru.

86. Энергетика в цифрах. Статистический обзор мировой энергетики – июнь 2006 г. – Лондон: British Petroleum, 2006. – 48 с.

87. ГОСТ 15.101-98. Порядок выполнения научно-исследовательских работ. – Введ. 01.07.2000. – М.: ВНИИМС, 1998. – 8 с.

88. Требования к транспортным средствам, находящимся в эксплуатации / Приложение №7 к Техническому регламенту о безопасности колёсных транспортных средств: утв. постановлением Правительства РФ от 23 сент. 2009 г. № 720. – М.: «Российская газета», 2009. - 16 с.

89. ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. – Введ. 01.01.81. – М.: Гос. стандарт союза ССР, 1980. – 11 с.

90. ГОСТ Р 51908-2002. Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части условий хранения и транспортирования / ТК 341 «Внешние воздействия». – Введ. 04.07.02. – М.: НТУГР, 2002. – 19 с.

91. ГОСТ Р 41.10-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств категории в отношении электромагнитной совместимости. – Введ. 01.03.2002. – М.: Госстандарт России, 2002. - 45с.

92. ГОСТ Р 41.84-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения дорожных транспортных средств, оборудованных двигателем внутреннего сгорания, в отношении измерения потребления топлива. – Введ. 25.05.99. – М.: Госстандарт России, 1999. – 30 с.

93. ГОСТ 25176-82. Техническая диагностика. Средства диагностирования автомобилей, тракторов, строительных и дорожных машин. Классификация. Общие технические требования. – Введ. 19.03. 82. – М.: ГК СССР по стандартам, 1982. – 28 с.

94. ГОСТ Р 27.001-2009. Надежность в технике. Системы управления надежностью. Основные положения. – Введ. 01.09.10. - М.: ФАТРМ, 2009. – 36 с.

95. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. - Введ. 01.01.11. – М.: Ростехрегулирование, 2009. – 95 с.

96.. Engine operation for the planetary gear hybrid powertrain / Ahn Kukhyun, Cho Sungtae, Cha Suk Won, Lee Jang Moo // Automobile Engineering. - № 12. - P. 1727-1735.

97. Akihiro, K. Tetsuya Abe and Shoichi Sasak: drive force control of a parallel-series hybrid system [Электронный ресурс] / K . Akihiro. – Режим доступа: http://www.hybridrive.com

98. Alexandrov, I.K. Tractional Calculations for Vehicles with Adaptive Motors/ I.K. Alexandrov, E.V. Nesgovorov, **V.A. Rakov** // Russian Engineering Research. - 2010. - № 2. – P.122-124.

99. Evolution of 2004 Toyota Prius Hybrid Electric drives System Interim. - Washington: U.S. Department of Energy Freedom CAR and Vehicle Technologies, 2007. –56 p.

100. Choi Dookhwan. An operation algorithm with state of charge recovery for a parallel-type hybrid vehicle / Choi Dookhwan, Im Moonhyuk, Kim Hyunsoo // Automobile Engineering. – 2003. - № 9. - P. 801-807.

101. Coup, D. Toyota's Approach to Alternative Technology Vehicles: The Power of Diversification Strategies / D. Coup. – Washington: Corporate Environmental Strategy, 1999. - P. 258-269.

102. Electric generation control system for hybrid vehicle / T. Kiuchi, S. Taguchi, K.Nakaya, S. Fueta // Journal of Power Sources. – 1998. - Vol. 70, Issue 1. - P. 28 - 31.

103. Kempton, W. Electric-drive vehicles for peak power in Japan [Электронный ресурс] / W. Kempton, T. Kubo // Energy Policy. – 2000. – Vol. 28, Issue 1. – Режим доступа: http://www.udel.edu/V2G/docs/Kempton-Kubo-2000.pdf

104. Development of Traction Drive Motors for the Toyota Hybrid System [Электронный ресурс] / Munehiro Kamiya. – Режим доступа: http://www.e-mobile.ch/pdf/2005/321.pdf

105. Hybrid Electric Transit Bus [Электронный ресурс] // Hybridrive, 2013. - Режим доступа: http://www.hybridrive.com/hybrid-transit-bus.asp

106. 2014 New Toyota Hybrids [Электронный ресурс] / http://www.toyota.com/ – Режим доступа: http://www.toyota.com/hybrid

107. Owner’s Manual Supplement - 2005 Diesel-Electric Hybrid. – Detroit.: Azure Dynamics, 2005. – 36 p.

108. Routex, J. Modeling of Hybrid Electric Vehicles using gyrator theory: Application to design / J. Routex. – Washington: Vehicular Technology Conference, 2000. –112 p.

**109. Rakov, V.A**. Assessment of technical condition hybrid propulsion systems CARS [Электронный ресурс] / V.A. Rakov // E-journal. - 2013. – Режим доступа: http://www.sworld.com.ua/e-journal/J31208.pdf

110. Toyota Prius Diagnostics. [Электронный ресурс] // AA1Car. - Режим доступа: http://www.aa1car.com/library/toyota_prius_diagnostics.htm

**Приложение 1**
Таблица 1

**Статистика продаж новых гибридных автомобилей по отдельным странам и всему миру с начала их серийного производства, тыс. шт. *** [51]

| Год. | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **США** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 0 | 0 | 9 | 20 | 36 | 48 | 84 | 210 | 253 | 352 | 312 | 290 | 274 | 269 | 434 | 496 | 550 |
| Всего в США | 0 | 0 | 0 | 9 | 30 | 66 | 113 | 198 | 407 | 660 | 1012 | 1325 | 1615 | 1889 | 2158 | 2592 | 3088 | **3638** |
| **Япония** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 18 | 15 | 13 | 19 | 20 | 27 | 69 | 59 | 72 | 82 | 104 | 251 | 259 | 253 | 678 | 679 | 700 |
| Всего в Японии | 0 | 18 | 33 | 46 | 64 | 84 | 112 | 180 | 239 | 311 | 393 | 498 | 749 | 1008 | 1260 | 1938 | 2617 | **3317** |
| **Европа** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 0 | 0 | 10 | 16 | 16 | 22 | 24 | 26 | 45 | 49 | 51 | 58 | 70 | 78 | 107 | 153 | 200 |
| Всего в Европе | 0 | 0 | 0 | 10 | 25 | 42 | 64 | 88 | 114 | 159 | 208 | 259 | 318 | 388 | 466 | 573 | 726 | **926** |
| **Канада** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 15 | 20 | 16 | 16 | 22 | 25 | 29 | 33 |
| Всего в Канаде | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 12 | 27 | 47 | 63 | 79 | 100 | 125 | 154 | **187** |
| **Россия** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Всего в России | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 9 | 12 | 15 | **17** |
| **Китай** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Всего в Китае | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3 | 4 | 6 | **8** |
| **Южная Корея** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Всего Ю. Корея | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 14 | 17 | **21** |
| **В Мире** | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Число проданных за год | 0 | 18 | 15 | 31 | 54 | 72 | 97 | 177 | 297 | 381 | 501 | 491 | 620 | 624 | 628 | 1251 | 1365 | 1491 |
| Всего в Мире | **0** | **18** | **33** | **65** | **119** | **192** | **288** | **466** | **763** | **1144** | **1645** | **2135** | **2755** | **3380** | **4008** | **5259** | **6624** | **8115** |

* Составлено автором по данным статистических сводок и отчетов разных стран мира.

Таблица 2

Технические характеристики автомобилей с гибридными силовыми установками, эксплуатируемыми в РФ

| № п/п | Модель | Год начала производства | Год начала эксплуатации в РФ | В РФ продаётся официально | Тип кузова | Cx | Снаряженная масса, кг | Двигатель | | | | | Схема гибридного Привода | Расход топлива | | | Выбросы CO2,г/км |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | Тип | Рабочий объём, см3 | 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 | - | вседорожник | 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 | + | кроссовер | 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 таблицы 2

| 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 | параллеьная | 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 | параллеьная | 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 | параллеьная | 10,8 | 8 | 6,4 | 186 |
| 14 | **BMW X6 ActiveHybrid** | 2010 | 2010 | + | крос-совер | 0,36 | 2525 | бензи-новый | 4395 | 357 | 780 | про-дольно | параллеьная | 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 | параллеьная | 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 | до60км-0 |

**Приложение 2**

Технические характеристики элементов гибридных силовых установок автомобилей

| № п/п | Модель | Характеристики электромоторов | | | | | | | | Характеристики батареи | | | Характеристики генератора | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | Тип | N макс, кВт | M макс, Нм | Напряже-ние, В | Тип | N макс, кВт | M макс, Нм | Напряже-ние, В | Тип | Мощность или ёмкость | Напряже-ние, В | Тип | Мощность, кВт | Напряже-ние, 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 |

**Продолжение 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 |

**Приложение 3**

Таблица 1

Результаты расчёта КПД механической передачи вал ДВС – вал генератора нагрузки.

| № п/п | Показания динамометра, кг | | | Моменты нагрузки на входном валу, Н*м | | Мс, Н*м | Мс, теор., Н*м | Экспер-й КПД | Теор-й КПД | Мх, Н*м | $(n_э-n_т)^2$ | σ | D, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F1, под. | F2, отп. | R, мм | M1, под. | M2, отп. | | | | | | | | |
| 1 | 1,55 | 0,5 | 0,042 | 0,640 | 0,207 | 0,217 | 0,209 | 0,66 | 0,67 | 0,218 | 0,00015 | 0,0096 | 0,77 |
| 2 | 2,1 | 1,15 | 0,042 | 0,867 | 0,475 | 0,196 | 0,204 | 0,77 | 0,76 | | 0,00009 | | |
| 3 | 2,45 | 1,5 | 0,042 | 1,012 | 0,620 | 0,196 | 0,201 | 0,81 | 0,80 | | 0,00002 | | |
| 4 | 3,8 | 2,95 | 0,042 | 1,569 | 1,218 | 0,176 | 0,189 | 0,89 | 0,88 | | 0,00008 | | |
| 5 | 4,6 | 3,7 | 0,042 | 1,900 | 1,528 | 0,186 | 0,182 | 0,90 | 0,90 | | 0,00000 | | |
| 6 | 6,2 | 5,15 | 0,042 | 2,561 | 2,127 | 0,217 | 0,168 | 0,92 | 0,93 | | 0,00036 | | |
| 7 | 7 | 6,2 | 0,042 | 2,891 | 2,561 | 0,165 | 0,161 | 0,94 | 0,94 | | 0,00000 | | |
| 8 | 7,35 | 6,75 | 0,042 | 3,036 | 2,788 | 0,124 | 0,158 | 0,96 | 0,95 | | 0,00013 | | |
| 9 | 8,55 | 7,85 | 0,042 | 3,531 | 3,242 | 0,145 | 0,148 | 0,96 | 0,96 | | 0,00000 | | |
| 10 | 10,1 | 9,45 | 0,042 | 4,171 | 3,903 | 0,134 | 0,134 | 0,97 | 0,97 | | 0,00000 | | |

Таблица 2

Результаты расчёта КПД механической передачи вал электромотора - вал генератора нагрузки

| № п/п | Показания динамометра, кг | | | Моменты нагрузки на входном валу, Н*м | | Мс, Н*м | Мс, теор., Н*м | Экспер-й КПД | Теор-й КПД | Мх, Н*м | $(n_э-n_т)^2$ | σ | D, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | F1, под. | F2, отп. | R, мм | М1, под. | М2, отп. | | | | | | | | |
| 1 | 1,5 | 0,95 | 0,042 | 0,620 | 0,392 | 0,114 | 0,137 | 0,82 | 0,78 | 0,144 | 0,00147 | 0,0152 | 1,17 |
| 2 | 2,1 | 1,35 | 0,042 | 0,867 | 0,558 | 0,155 | 0,139 | 0,82 | 0,84 | | 0,00033 | | |
| 3 | 3,7 | 2,9 | 0,042 | 1,528 | 1,198 | 0,165 | 0,144 | 0,89 | 0,91 | | 0,00019 | | |
| 4 | 4,15 | 3,5 | 0,042 | 1,714 | 1,446 | 0,134 | 0,145 | 0,92 | 0,92 | | 0,00004 | | |
| 5 | 6,1 | 5,35 | 0,042 | 2,519 | 2,210 | 0,155 | 0,151 | 0,94 | 0,94 | | 0,00000 | | |
| 6 | 7,5 | 6,7 | 0,042 | 3,098 | 2,767 | 0,165 | 0,156 | 0,95 | 0,95 | | 0,00001 | | |
| 7 | 8,6 | 7,85 | 0,042 | 3,552 | 3,242 | 0,155 | 0,159 | 0,96 | 0,96 | | 0,00000 | | |
| 8 | 8,7 | 7,9 | 0,042 | 3,593 | 3,263 | 0,165 | 0,159 | 0,95 | 0,96 | | 0,00000 | | |
| 9 | 9,8 | 9,1 | 0,042 | 4,047 | 3,758 | 0,145 | 0,163 | 0,96 | 0,96 | | 0,00002 | | |
| 10 | 10,05 | 9,2 | 0,042 | 4,151 | 3,800 | 0,176 | 0,163 | 0,96 | 0,96 | | 0,00001 | | |

Научное издание

**Вячеслав Александрович Раков**

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОБСЛУЖИВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ С ГИБРИДНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Монография

Подписано в печать 23.06.2014. Формат 60 × 90/16
Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.-п.л. 9,0. Тираж 500 экз. Заказ № 341.

Отпечатано: РИО ВоГУ 160035, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6