



МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

В.Е. ЮТТ, В.И. СТРОГАНОВ

**ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И
АВТОМОБИЛИ
С КОМБИНИРОВАННОЙ
ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ
РАСЧЕТ СКОРОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

В.Е. ЮТТ, В.И. СТРОГАНОВ

ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И
АВТОМОБИЛИ
С КОМБИНИРОВАННОЙ
ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ
РАСЧЕТ СКОРОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Утверждено
в качестве учебного пособия
редсоветом МАДИ

МОСКВА
МАДИ
2016

УДК 629.3.02-83-843
ББК 39.359.26
Ю928

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ *М.Г. Шатров*;
д-р техн. наук, проф. Московского государственного машиностроительного университета (МАМИ) *В.В. Лохнин*.

Ютт, В.Е.

Ю928 Электромобили и автомобили с комбинированной энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик: учеб. пособие / В.Е. Ютт, В.И. Строганов. – М.: МАДИ, 2016. – 108 с.

Пособие подготовлено на кафедре «Электротехника и электрооборудование» МАДИ.

Содержит обзорный материал по перспективным направлениям развития транспортных средств на электротехнологиях, в нем обозначены проблемные вопросы и конструктивные особенности электромобилей и автомобилей с комбинированными установками; приведены модели расчета оптимальных режимов работы ДВС в комплексе с комбинированной электроустановкой автомобиля, модели управления скоростными параметрами транспортного средства.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» (специализация «Автомобили и тракторы»), будет также полезно студентам других технических специальностей высших учебных заведений.

В конце каждой главы пособия приведены контрольные вопросы и задания.

УДК 629.3.02-83-843
ББК 39.359.26

© МАДИ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ	11
1.1. Новые технологии автомобилестроения	20
1.2. Проблемы, влияющие на потребительский спрос электромобилей и автомобилей с КЭУ	24
1.3. Проблемы безопасности перспективных транспортных средств	26
1.4. Основные проектные решения для электромобилей и автомобилей с КЭУ	28
1.5. Проблемные области технологий проектирования и производства ТАБ электромобилей и автомобилей с КЭУ	29
1.6. Проблемные области технологий проектирования и производства тяговых электродвигателей для электромобилей и автомобилей с КЭУ	36
1.7. Ресурсное обеспечение производства и эксплуатации электромобилей и автомобилей с КЭУ	48
1.8. Перспективы развития рынка электромобилей и автомобилей с КЭУ	57
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>60</i>

2. РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ	
СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АКЭУ.....	61
2.1. Имитационная модель системы	
регулирования скорости	62
2.2. Реализация электронной системы	
регулирования скорости движения АКЭУ	
в режимах поддержания и ограничения скорости	79
2.3. Моделирование и реализация	
системы изменения фаз газораспределения (VVT)	
автомобилей с КЭУ.	88
2.4. Моделирование и реализация электронной	
системы управления «Старт – Стоп» АКЭУ.....	94
<i>Контрольные вопросы</i>	<i>103</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	105
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	107

ВВЕДЕНИЕ

История развития электромобилей начинается с 1835 г. шотландец Роберт Андерсон построил электромобиль-модель, который считается первым в истории. Автомобиль, по сути, представлял собой концептуальную модель, в которой было необходимо решить множество перспективных задач связанных, например, с обеспечением хранения электроэнергии. Данная задача была решена с помощью разработки свинцово-кислотной тяговой аккумуляторной батареи (ТАБ) бельгийским ученым Гастоном Планте в 1859 г. После разработки Жэнобе Теофилом Граммом более совершенной конструкции тягового электродвигателя полученный комплекс, охватывающий тяговую аккумуляторную батарею (ТАБ) – тяговый электродвигатель, сформировал предпосылки для развития процессов проектирования и производства электромобилей.

Примерно в 1870 г. братья Сименс запатентовали двойные Т-образные железно-арматурные генераторы в Англии. А в 1890-х годах француз Г. Трове использовал пару модифицированных двигателей Сименс и тяговую аккумуляторную батарею Планте в мотоцикле с коляской, который развивал скорость до 12 км/ч. Похожие мотоциклы появились в США и Великобритании, и к 1896 году партнеры Моррис и Салом произвели 13 электрических автомобилей, которые работали в Нью-Йоркском такси, с циклом пробега до полной разрядки ТАБ – 48 км.

К концу 1890-х гг. на автомобильном рынке появились более высокотехнологичные двигатели внутреннего сгорания (ДВС), которые напрямую конкурировали с электроприводами. Начался этап соперничества технологий. Уже в 1896 г. испанским инженером Г. Хульеном была разработана батарея с цинковыми пластинами в щелочном электролите, конструкция которой актуальна и сегодня. А в 1897 г. Даракон был построен электромобиль, имеющий достаточно высокие

показатели энергосбережения. В этот период времени в Великобритании наблюдается всплеск интереса к электромобилям, которые использовались, например, в такси. Благодаря чему в 1897 г. в Лондоне была создана ассоциация «Red Flag Act (Красный Флаг Закона)», и к лету 1897 г. 15 электромобилей уже работали на дорогах Лондона.

Важным достижением электромобилестроения являются технологии французского изобретателя Ками Женази, благодаря которым был достигнут рекорд скорости на электромобиле – 98 км/ч, полученный в 1899 г. Фердинанд Порше создал первый Lohner-Wagen в 1900 г. с электродвигателями на передней ступице колес, а уже в следующем году был разработан Lohner-Porsche Rennwagen с батареями общей массой 1800 кг и питанием электропривода в 1,5 кВт. Он также создал первую модель автомобиля с комбинированной энергоустановкой – Mixt Wagen, в которой использовал бензиновый двигатель для привода генератора, с которого электроэнергия снималась ТАБ, питающей электропривод транспортного средства.

До Первой мировой войны в США и Великобритании эксплуатировалось порядка 30 тыс. электромобилей. Автомобилей с ДВС в этот период времени было уже не менее 900 тыс.

Причин бурного роста технологий проектирования и производства автомобилей с ДВС множество. В 1908 г. Генри Форд запустил «Model T», что обозначило век массового производства автомобилей с низкой себестоимостью. В этот период в Техасе и на Ближнем Востоке были обнаружены обширные залежи нефти. В 1911 г. Чарльз Кеттеринг внедрил электрический стартер на Cadillac, из-за чего исчез ручной пуск. По большей части приведенные факторы способствовали снижению инженерной активности в вопросах создания электромобилей, и уже к 1935 г. соответствующие технологии не обновлялись. Однако были и исключения: после Второй мировой войны в Японии

был небольшой процент электромобилей, а в Великобритании некоторое количество электромобилей обеспечивало решение транспортных задач городского сервиса.

В 60-х г.г. XX века проблема развития экологичного транспорта вновь стала актуальной. Электромобили стали рассматриваться как потенциально необходимые транспортные средства. Так, в связи с ростом количества автомобилей, эксплуатируемых в штате Калифорния (США), в 1966 г. президентом Никсоном был подписан первый пакет законов, который определял экологические требования к автомобильному транспорту. В 1970 г. в США была сформирована служба по охране окружающей среды (EPA).

Первые попытки возрождения проектов электромобилей были реализованы в виде глубоких инженерных изменений стандартных автомобильных платформ. Например: электромобиль Иллинойс (Illinois-based) корпорации Eureka Williams; электромобиль Enfield производства Центральной Электропроизводящей компании Англии. Enfield имел массу 975 кг и мог развивать скорость до 64 км/ч, при пробеге до полной разрядки ТАБ – 90 км. Тем не менее, стоимость такого электромобиля в 2 раза превышала стоимость аналогичного автомобиля с ДВС. В 1967 г. компания Ford в Великобритании представила электромобиль Comuta с заявленным циклом пробега до перезарядки равным 64 км, при обеспечении средней скорости движения – 40 км/час. В этот же период в США компания GM запустила проект создания электромобиля на базе модели Corvair, оцененный в 15 млн. долл. Сначала в качестве основного накопителя энергии использовалась цинк-воздушная ТАБ, а уже во второй итерации автомобилей данной марки использовалась серебряная батарея с примесью цинка, расположенная в переднем и заднем отсеках салона автомобиля. Серебряные батареи с цинком были использованы потому, что они об-

ладали высокой мощностью в пиковых режимах и обеспечивали достаточный уровень сохранения энергии, но в то же время были дорогими, а характеристики надежности и стабильности работы резко ухудшались уже после 100 циклов перезарядки. Пробег электромобилей до полного разряда ТАБ был ограничен 129 км, а бензиновая версия автомобиля обеспечивала движение на расстояние в 480 км.

В Европе GM электрифицировала Opel Kadette на приводе двигателя постоянного тока с использованием как свинцово-кислотных, так и воздушно-цинковых батарей. В последнем варианте компания заявляла повышенный пробег между подзарядками – 240 км при средней скорости движения 48 км/ч.

В 1970 г., Генеральная Электрическая компания (США) показала электромобиль GE Delta, в котором была использована комбинация свинцово-кислотных и никель-кадмиевых аккумуляторов.

Однако главными проблемами электромобилей оставались не высокая энергоэффективность, а также значительная стоимость и слабая динамика движения.

В 1972 г. компания Sebring-Vanguard, основанная в штате Флорида (США), запустила на рынок двухместный Citicar: электромобиль особо малого класса с максимальной скоростью движения 72 км/ч и пробегом между перезарядкой ТАБ – 40 км. В течение следующих четырех лет компания продала 2500 машин стоимостью 3000 долл. США.

Одним из лидеров в области разработки электромобилей является компания GE, которая активно работает совместно GM в течение последних четырех десятилетий. В 1978 г. компания в сотрудничестве с Chrysler EV реализовала проект по использованию свинцово-кислотных аккумуляторов, а спустя шесть лет данные технологии были использованы в Ford Mercury, где был реализован электропривод передних колес от трубчатых свинцово-кислотных ТАБ. Далее, компа-

нией Ford в проекте Aerostar van были предложены натриево-серные аккумуляторы, работающие при высоких температурах. При этом были достигнуты значительные характеристики пробега до полной разрядки ТАБ – 160 км при максимальной скорости движения 96 км/ч.

Во Франции к концу 80-х гг. XX века эксплуатировалось около 500 электромобилей. В основном это были реинжиниринговые проекты Peugeot 205 и Citroën C15. В это же время в Германии Volkswagen запускает проект электромобиля на платформе Golf. Автомобиль был оснащен свинцово-кислотными ТАБ. Компания Siemens разрабатывает синхронный двигатель трехфазного переменного тока с постоянным магнитом, который использует водяное охлаждение, а также реализует процесс генерации энергии в режимах торможения (рекуперация).

В 1990-х гг. в США и Западной Европе был проведен ряд законодательных и регулятивных мер, направленных на улучшение экологической обстановки, при этом происходит возрождение интереса к технологиям электромобилестроения у ключевых автопроизводителей.

В 1990 г. в США были приняты экологические поправки Clean Air Act, а в 1992 г. там же был принят закон об энергетической политике, а также нормативные акты Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB). В дополнение к строгим запретам на вредные выбросы в атмосферу были добавлены требования и правила, требующие сокращение потребления бензина.

В 1990 г. Калифорния приняла свой мандат Zero Emission Vehicle (ZEV), который определяет 2% сегмента транспортных средств с нулевым выбросом к 1998 г., и 10% сегмента к 2003 г. В соответствии с мандатом компания Ford разработала проект Ecostar, результатом которого стал электромобиль с 105-сильным двигателем. Важной особенностью Ecostar является его «горячая» с рабочей температурой 315°C натрий – серная ТАБ, конструкция и технология производства

которой была разработана специалистами компании еще в 1960 г. Аккумулятор работает при высокой температуре, обеспечивая молекулярную реакцию между расплавленными натрием и серой. Достоинством данного типа ТАБ является обеспечение высоких динамических свойств автомобиля (время разгона от 0 до 96 км/час составляет всего 15 с). Однако специфический температурный режим и технология производства подобных ТАБ ограничивают их применение.

В настоящее время появляются конструкции и технологические проекты, обеспечивающие достаточную эффективность работы автомобилей без указанных выше специфических особенностей. При этом все больше усиливается конкуренция между традиционными марками автомобилей с ДВС, электромобилями и автомобилями с комбинированной энергоустановкой. По сути, сегодня наблюдается переломный момент в автомобильных технологиях и обострение экологических проблем может обеспечить еще более бурный рост соответствующих «зеленых технологий» на автомобильном транспорте.

1. АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ НОРМ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Впервые о вредности отработавших газов автомобильных двигателей заговорили в начале 60-х годов XX века, когда резко увеличилось число заболеваний органов дыхания у людей, вызванных, как установили специалисты, «смогом», который начал часто появляться в городах штата Калифорния в результате работы автомобильных двигателей.

С тех пор этой проблемой занялись всерьёз, что привело к тому, что вопросы экологии транспортного средства на стадии его проектирования стоят в одном ряду с его потребительскими свойствами и безопасностью.

Систематическое исследование проблемы привело к появлению юридических документов (нормативов), ограничивающих концентрацию вредных веществ в отработавших газах. Наиболее требовательными в этом плане являются нормативы «Евро» в странах Европейского союза и законы штата Калифорния США.

Правила R83-02 ЕЭК ООН, известные как «Евро-1», вступили в действие в 1993 г. С момента их введения автомобильные фирмы Европы выпускали только машины, отвечающие этим требованиям. Сегодня мировые лидеры автомобильной промышленности уже ориентируют свою продукцию на перспективные требования стандарта «Евро» пятой версии (рис. 1.1).

За время действия стандартов «Евро» с 1993 года количество вредных веществ в отработанных газах (ОГ) снизилось более чем в 2 раза. Всего за период с 1975 г. содержание токсичных компонентов в ОГ одного автомобиля уменьшилось на 70%.

Несмотря на уменьшение вредных выбросов каждым отдельно взятым автомобилем из-за роста их количества общие выбросы угле-

кислого газа, монооксида углерода, углеводородов, уровень шума в городах мира удвоились.

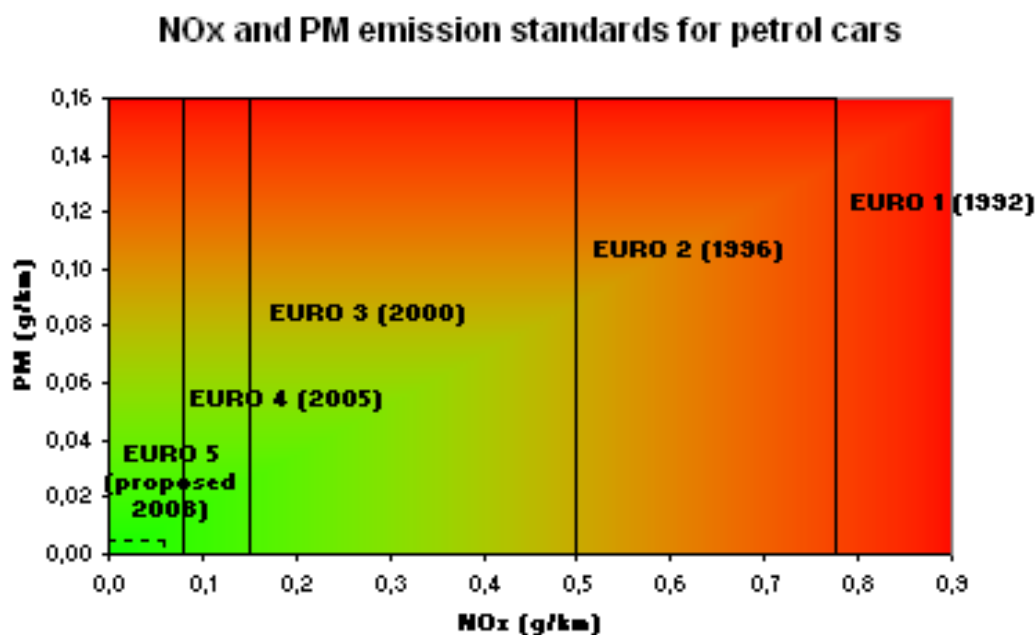


Рис. 1.1. Диаграмма ограничений накладываемых разными версиями стандарта «Евро» на бензиновые автомобили

На долю автомобильного транспорта приходится 80% всех выбросов вредных веществ в крупных городах. Кроме того, автомобили не только загрязняют воздух токсичными газами, они еще и сжигают кислород. Для сжигания одного килограмма бензина требуется 13,7 кг воздуха, то есть 2,9 кг кислорода. Уже сейчас на планете сжигается около 90% всего кислорода, вырабатываемого наземной растительностью. Проблема экологичности автомобильного транспорта в настоящее время приобретает все большую актуальность.

С учетом всего вышеизложенного становится понятно, что направление, связанное с так называемыми «зелеными технологиями» в автомобилестроении – это наиболее перспективный путь развития автомобильного транспорта.

Сегодня с точки зрения экологичности, наилучшие показатели имеют автомобили с водородным двигателем и работающие на то-

пливных элементах, но на пути их внедрения стоят многочисленные проблемы, на преодоление которых может потребоваться много времени.

У электромобилей (ЭМБ) нет конкурентов по части загрязнения окружающей среды. Сторонники этого вида транспортного средства не учитывают, что электричество для подзарядки электромобиля вырабатывают электростанции, которые для этого, в основном, сжигают топливо. То есть, вред природе не уменьшится, просто места выброса вредных веществ более локализованы. Выбросы электромобиля меньше, но все же не равны нулю.

Наиболее реальной альтернативой автомобилю, на наш взгляд, является транспорт с комбинированной (гибридной) энергоустановкой (АКЭУ). По многим показателям он превосходит не только автомобиль с обычным приводом, но и ЭМБ.

Таким образом, на фоне продолжающегося ужесточения экологических норм законодательством промышленно развитых стран и, как следствие, усовершенствования конструкций серийно-выпускаемых автомобилей продолжаются исследования для замены источников энергии транспортных средств. Среди возможных на сегодняшний день вариантов, наиболее перспективными, по-прежнему, являются проекты ЭМБ и АКЭУ. В подтверждение нашего вывода приведем мнение экспертной группы Международного Энергетического Агентства (МЭА). Группа МЭА считает, количество и типы ЭМБ и АКЭУ, доступных на рынке существенно возрастет к 2016 году, что ускорит их продажи. В 2015 году глобальные продажи гибридных автомобилей достигли 2,2 млн единиц. Крупные корпорации, такие как Coca-Cola, AT&T, FedEx и Wal-Mart в настоящее время включают АКЭУ в свои автопарки. Десятки новых ЭМБ и АКЭУ появятся на рынке до 2017 года. Вследствие роста производства коммерческих автомобилей с приме-

нением «зеленых технологий», таких как Renault, затраты на обслуживание и сервис падают. Администрация президента США, на основании данных о существенном росте продаж электромобилей, занимается разработкой целевой программы модернизации и развития энергетической инфраструктуры страны.

ЭМБ – автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от аккумуляторов. Сравнение энергетической эффективности обычного автомобиля и электромобиля, приведенное на рис. 1.2 показывает, что существующий уровень научного и технологического развития автомобильной отрасли не позволяет существенно снизить уровень потребления энергии ЭМБ в сравнении с обычным транспортным средством.

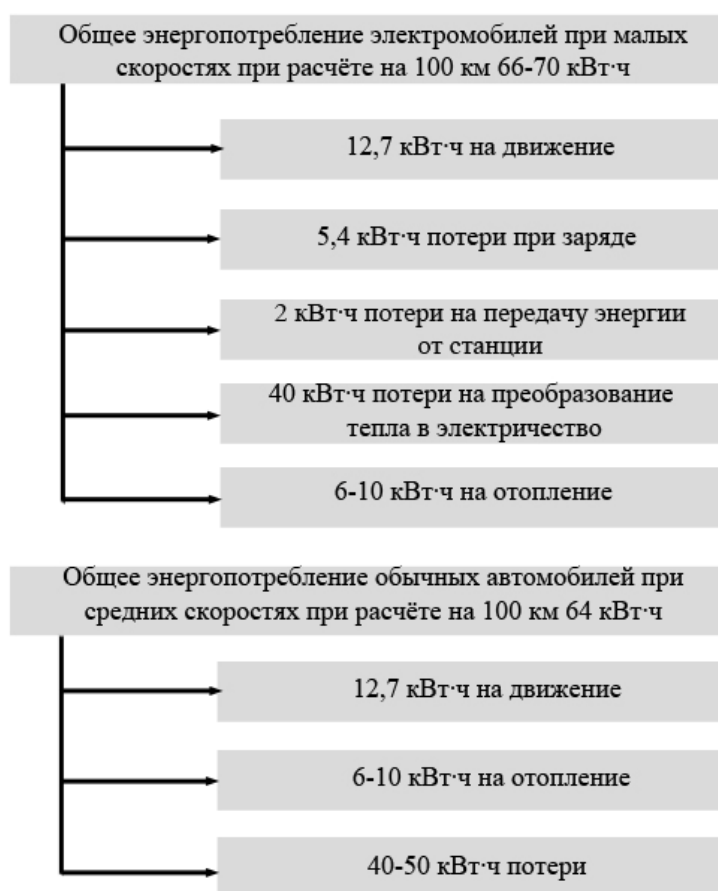


Рис. 1.2. Сравнение энергетической эффективности автомобиля и электромобиля

Именно поэтому удельная энергоёмкость аккумуляторной батареи оказывает влияние на область эффективного использования электромобилей и что ее повышение – одно из наиболее перспективных направлений развития науки и технологий. Кроме того для повышения эффективности электромобилей требуется решение проблем снижения удельной цены источника тока и повышения срока службы ТАБ.

На рисунке 1.3 представлена диаграмма сравнения потребительских характеристик обычного автомобиля и ЭМБ.

Анализ данных (см. рис. 1.3) показывает, что по целому ряду показателей электромобиль превосходит обычное транспортное средство: рекуперация энергии торможения, экологичность, ускорение, энергетическая эффективность летом.

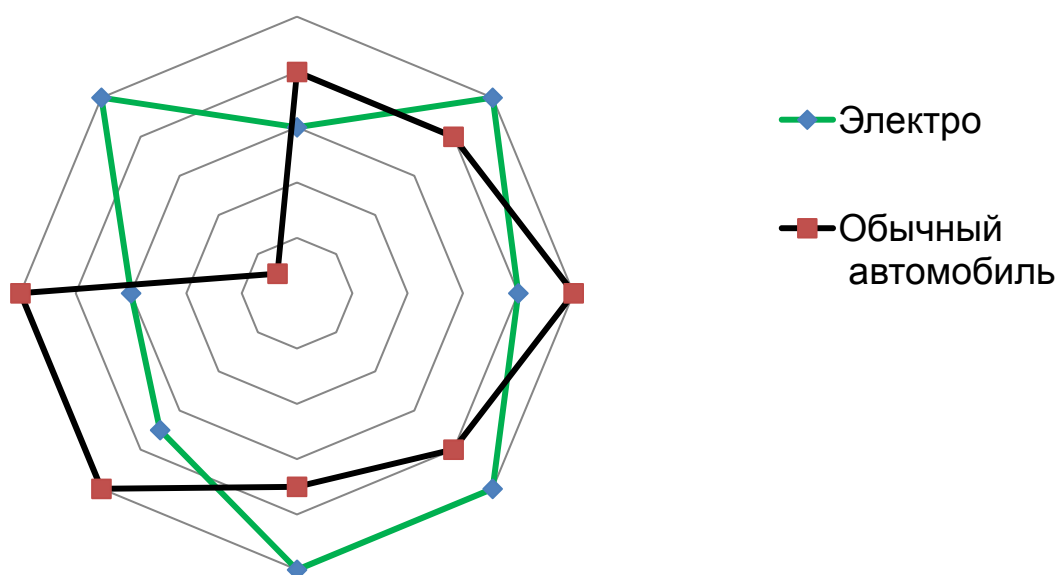


Рис. 1.3. Диаграмма сравнения потребительских характеристик обычного автомобиля и ЭМБ

Автомобиль с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ) – автомобиль, использующий для привода ведущих колес не только энергию ДВС, но и накопленную в электрохимических, электростатических или механических устройствах энергию. По методу подключения ДВС и накопителя к приводу выделяют следующие схемы:

– параллельная – двигатель и накопитель соединены дифференциалом, который соединен с приводом колес (рис. 1.4). Используется в автомобилях Integrated Motor Assist (Honda). Характеризуется простотой и низкой стоимостью;

– последовательная – двигатель соединен только с накопителем, который в свою очередь соединён с приводом колес (рис. 1.5). Похожий принцип используется в электрической трансмиссии, которая применяется в случаях, когда необходимо передать большой момент с ДВС на колеса;

– последовательно-параллельная – система может работать как последовательно, так и параллельно, в зависимости от режима работы. Реализована в автомобилях с Hybrid Synergy Drive (Toyota), например, Toyota Prius.

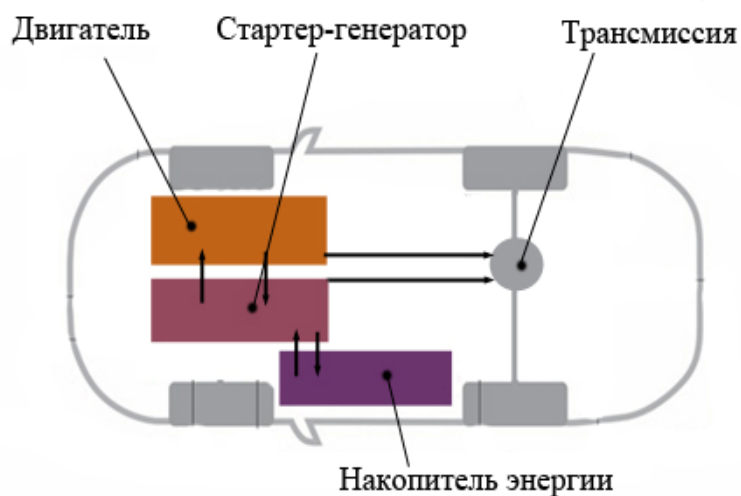


Рис. 1.4. Принципиальная схема параллельной гибридной силовой установки

Перечислим некоторые достоинства автомобилей с КЭУ: в настоящее время у большинства новых моделей мощность достигает 100 кВт, в то время как средняя используемая мощность составляет в черте города порядка 7,5 кВт. Коэффициент полезного действия при этом очень мал и составляет порядка 20%. В АКЭУ устанавливается небольшой ДВС, работающий в режиме, близком к максимальному

КПД, при этом КПД будет почти так же высок, как и у тепловой электростанции, благодаря оптимальной конструкции двигателя. Расход топлива у АКЭУ может быть на 90% меньше, чем у аналогичного по характеристикам автомобиля. По сравнению с электромобилем АКЭУ при одинаковых габаритах обладает большей эксплуатационной эффективностью. В настоящее время много-топливные двигатели обычно конструируются таким образом, чтобы оптимальные параметры достигались при работе на бензине, в то время как многие типы двигателей (такие как газотурбинный двигатель) можно сконструировать так, чтобы они эффективно работали на альтернативном топливе. В АКЭУ гораздо легче добиться топливной экономичности на уровне 1,5 – 2 л/100 км.

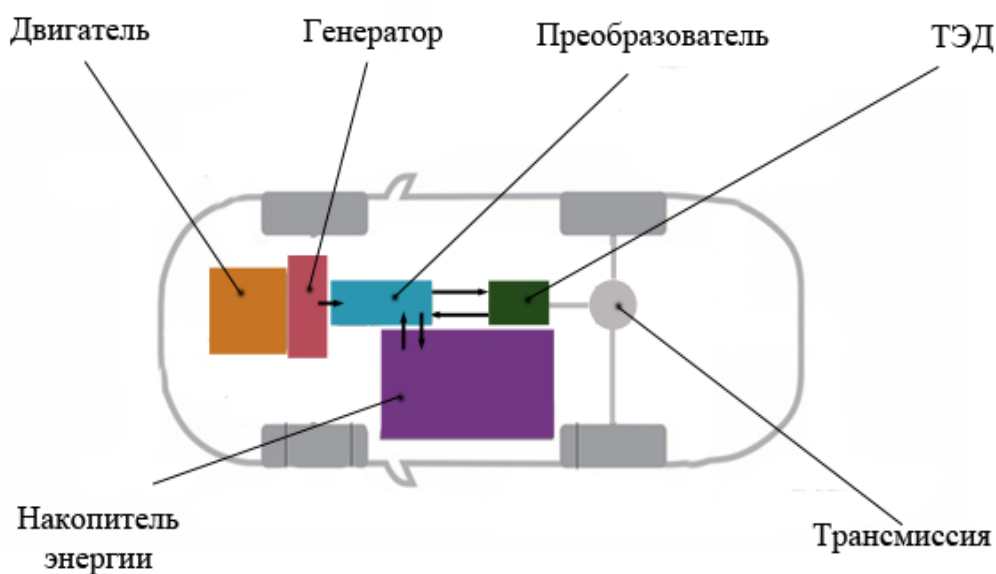


Рис. 1.5. Принципиальная схема последовательной гибридной силовой установки

Среди достоинств АКЭУ следует выделить и то, что постройка автомобиля с гибридным приводом на основе серийно выпускаемой модели не требует дополнительных затрат по разработке кузова и механической части. Изменения, вносимые в конструкцию, минимальны, поэтому АКЭУ может выпускаться как одна из модификаций существующей модели автомобиля. Без применения дополнительных при-

водных валов и раздаточных механизмов удаётся получить автомобиль, обладающий полным набором преимуществ полноприводных машин, таких как хорошая управляемость и курсовая устойчивость, лучшая проходимость и реализация момента и мощности, подводимых к колёсам.

По сравнению с обычным полноприводным автомобилем улучшается эластичность трансмиссии, в частности, разгон с места занимает меньше времени за счёт того, что электродвигатель развивает максимальный крутящий момент почти сразу после начала набора оборотов. Кроме того, уменьшается уровень шума. Расход топлива снижается еще и потому, что отсутствуют механические потери в приводе от ДВС к мосту. Электродвигатель оптимально поддается электронному управлению, что создаёт дополнительные возможности регулирования реализации крутящего момента на осях и колёсах. Схема не требует установки дополнительных ТАБ, автомобиль всегда может двигаться в моноприводном варианте только от ДВС.

Несмотря на существенный прогресс развития ЭМБ и АКЭУ, наблюдаемый в настоящее время, существуют мнения западных и российских экспертов о невысокой перспективности развития данных технологий как на территории РФ, так и в мире.

Президент альянса Renault-Nissan К. Гон не видит предпосылок развития производства гибридных автомобилей в России. По его словам, в России на данном этапе нет предпосылок для развития направления электромобилей и гибридов. «Во-первых, Россия добывает много нефти, во-вторых, Россия – очень большая страна, в-третьих, в России пока никто не стимулирует развитие рынка гибридов и электромобилей». «По этим причинам я не думаю, что Россия будет в первых рядах в том, что касается электромобилей и гибридов, – заявил он. – Конечно, Россия сможет потом быстро догнать другие стра-

ны, если правительство в какой-то момент решит поддержать развитие этих технологий».

Президент Mazda Такаши Яманучи считает, что цель развития марки Mazda – улучшение базовых технологий. Что будет потом – водород, топливные элементы, биотопливо или электричество, пока говорить рано. Если к 2030 г. сбыт новых машин вырастет до 100 млн, согласно прогнозам, в лучшем случае лишь четверть из них окажется полностью на электротяге. Остальные 75% автомобилей в том или ином виде продолжают использовать традиционные дизельные и бензиновые моторы, и в количественном выражении это больше, чем сегодня продается машин во всем мире. Сейчас даже в Японии нет достаточного числа людей, готовых отдать свои деньги за электромобиль.

Глава автомобильного концерна DaimlerAG Дитер Цетше во время Женевского автосалона сказал: «Пока, несмотря на все достоинства электромобилей, у них есть и свои ограничения. Например, необходимость тратить время на подзарядку. И хотя технологии постоянно совершенствуются, естественный рост до 20% рынка к 2020 г. мне кажется практически недостижимым».

Темпы производства и внедрения электромобилей в России будут отставать от других развитых стран, считает партнер и руководитель практики по оказанию услуг компаниям автомобильной отрасли PwC Стенли Рут. В России в настоящее время обеспокоенность вопросом вредных выбросов не столь остра как в Европе или США. Самая обширная по территории страна в мире ежегодно затрачивает колоссальные средства на транспортные цели.

В последние 15 лет происходит беспрецедентное развитие «зеленых технологий» в автомобильном транспорте. Несмотря на существующие проблемы, внимание к «зеленым технологиям» со стороны крупнейших мировых компаний с каждым годом возрастает. Наблюда-

ется системная интеграция лидеров автомобильного рынка и компаний, разрабатывающих и выпускающих высокотехнологичную инновационную продукцию для решения проблемы повышения эффективности автомобильного транспорта с «зелеными технологиями». При этом особую роль приобретают электротехнические комплексы и системы, образующие так называемые электрические технологии на транспорте. Параллельно с развитием производства автомобилей с применением «зеленых технологий» происходит быстрое развитие сферы услуг использующей и (или) базирующейся на соответствующем фундаменте технологий. В развитых странах на государственном уровне разрабатываются программы стратегического развития экологических видов транспорта и инфраструктурных проектов энергообеспечения.

1.1. Новые технологии автомобилестроения

Как было отмечено ранее, развитие технологий в вопросах проектирования и производства ЭМБ и АКЭУ обеспечивает существенные изменения и преобразования в автомобильной отрасли в целом. На первый план выходят проблемы связанные с комплексной оптимизацией всего транспортного средства. Важнейшая компонентная область при этом определяется системами: хранения электроэнергии, электропривода и электроникой управления транспортным средством. С учетом особой важности проблемы оптимизации массы автомобилей уже сейчас можно предположить, что в ближайшей перспективе произойдут технологические прорывы в направлениях оптимизации кузова, трансмиссии, подвески и т.д. Решение ключевых проблем развития новых технологий лежит в области комплексной интеграции технологических решений.

Потенциальные технологические проблемы при проектировании новых электромобилей и автомобилей с КЭУ заключаются в необхо-

димости решения задач: распределения массы автомобиля, влияющей на динамику транспортного средства; оптимального распределения комплектующих изделий внутри автомобиля, которое может повлиять на показатели безопасности; электропередачи от ТАБ к приводу, влияющей на энергоэффективность; электромагнитной совместимости, влияющей на качество функционирования транспортного средства в целом, а также представляющей потенциальную опасность для здоровья водителя и пассажиров; общих вопросов обеспечения надежности транспортного средства, с учетом недостаточно высокого уровня качества автомобильного электрооборудования.

Одной из главных проблем в развитии новых технологий автомобилестроения является приобретение необходимого опыта в управлении качеством и надежностью продуктов и услуг в автомобильной промышленности.

Решение этих проблем требует налаживания новых отношений и передачи соответствующего опыта работы. Однако, специфика проектирования и производства электромобилей и автомобилей с КЭУ подразумевает необходимость разработки нового комплекса инструментов. Несомненно, что отправной точкой в реализации данной задачи является использование прогрессивных технологий управления качеством и надежностью сложившихся при проектировании и производстве компонентов системы электрооборудования традиционных автомобилей. При этом необходимо учитывать и инфраструктурные изменения, носителями которых являются новые требования по обеспечению эксплуатационной эффективности таких транспортных средств.

Производители автомобильных компонентов для сохранения собственных конкурентных позиций, диверсифицируя свои бизнес-проекты, вступают в альянсы с новыми компаниями, реализующими инновационные проекты в области экологичного автотранспорта. Но-

вым направлением развития при этом является комплексная работа по развитию производственно-сбытовой сети, определяющая необходимость разработки единых стандартов обеспечения инфраструктурных процессов для автомобилей, с учетом их совмещения с традиционными производственными и обслуживающими структурами. Одной из ключевых остается задача поддержания качества функционирования соответствующих процессов.

Общий анализ развития новых технологий в автомобилестроении показывает, что одним из важных вопросов является определение перспективных конструкций силовых агрегатов. Сегодня лидеры рынка рассматривают широкий спектр технологических решений в данной области, которые в основном связаны с источниками энергии: биотопливо, топливные элементы, электрические технологии.

Mercedes-Benz, GM, VW, Toyota и другие производители рассматривают технологии, основанные на применении топливных элементов, с целью достижения долгосрочных перспектив развития, с учетом сложности решения инфраструктурных проблем эксплуатации ЭМБ и АКЭУ. Тем не менее, успех топливных элементов зависит от разработки экономически эффективных технологий использования водорода, а также решения примерно тех же инфраструктурных вопросов. Биотопливо, также находится под пристальным вниманием автопроизводителей, однако его широкое применение ограничено недостаточными производственными мощностями получения и переработки ресурсов.

С точки зрения обеспечения рабочего цикла транспортных средств не так явно просматриваются преимущества ЭМБ и АКЭУ по сравнению с другими технологиями. В современных условиях использование электрических технологий в качестве способа снижения выбросов CO₂ по-прежнему экономически дорогое решение. Пока еще

можно говорить о повышении топливной и экологической эффективности традиционных автомобилей с ДВС. Однако в ближайшей перспективе электрические технологии могут стать более предпочтительными по причинам:

- наличия большого исследовательского потенциала в данной области;
- реализации развитыми странами государственных программ поддержки соответствующих технологий;
- понимания автопроизводителей и компонентного кластера, что расширение спектра технологий приведет к усложнению структуры рынка и конкуренции между производителями разных транспортных средств.

Анализ экспертных прогнозов развития автомобилестроения показывает, что потребуются значительное время для того, чтобы новые технологии стали доминирующими. Основной причиной такого положения является то, что автопроизводители не слишком заинтересованы в глобальных изменениях и не всегда готовы осуществить кардинальный переход от технологий, которые разрабатывались и применялись десятилетиями.

Также необходимо отметить, что несмотря на значительный исторический задел в вопросах проектирования и производства электромобилей и автомобилей с КЭУ, технологически мы находимся на относительно ранней стадии развития.

В настоящее время в мире происходит формирование инновационных центров развития соответствующих технологий. И если провести общую классификацию данного процесса то можно выделить США, Японию, Германию и Францию как центр научно-технического развития, а Китай как основной центр промышленной реализации инженерных проектов. Причем Китай активно наращивает инженерный потен-

циал, и достаточно скоро может выйти на позиции научного центра в данном вопросе. Уже сейчас КНР является крупнейшим в мире производителем бытовой электроники, а кроме этого корпорация BYD занимает одно из лидирующих мест по объему производства электрических транспортных средств, и в качестве собственной стратегической цели развития заявляет комплексное управление всех уровней цепочки жизненного цикла автомобилей, начиная от проектирования заканчивая утилизацией. Еще одним аргументом в пользу быстрого развития «зеленых технологий» в Китае является то, что порядка 80% мировых разведанных запасов редкоземельных металлов необходимых в производстве электрических машин высокой мощности находятся на территории данного государства. В Китае действует государственная программа поощрения покупателей в случае приобретения ЭМБ и АКЭУ. Размер премии установлен на уровне 8800 долл. США. Китайское правительство по существу видит в процессе электрификации автомобилей решение проблем собственной энергетической безопасности и загрязнения окружающей среды в крупных городах.

1.2. Проблемы, влияющие на потребительский спрос электромобилей и автомобилей с КЭУ

На потребительский спрос ЭМБ и АКЭУ влияет широкий спектр вопросов, начиная от практических соображений по модельному ряду, времени автономной работы, заканчивая экологическими соображениями.

На развитых европейских и американских рынках существуют экспертные группы специалистов, целью которых является убедить потенциальных потребителей в том, что электромобили и автомобили с КЭУ являются будущим автомобильной промышленности.

Исследования в области потребительской удовлетворенности показывают, что несмотря на наличие желания изменить экологиче-

скую ситуацию, стать частью устойчивого развития транспортных технологий, принятие электромобилей или автомобилей с КЭУ в качестве личного транспортного средства является сложным вопросом для потенциальных покупателей.

Исследование, проведенное экспертной группой RN&EV Института транспортных исследований США, показало, что при изучении вопросов воспринимаемого качества электромобилей BMW:

- большинству потребителей требуется больший диапазон пробега транспортного средства между подзарядками ТАБ;

- процесс планирования поездки на электромобиле гораздо сложнее, чем на автомобиле с ДВС. При этом потребителям приходится в большей степени использовать электронные карты для планирования маршрутов, постоянно определять расстояние до работы и других мест регулярного посещения, учитывать рельеф местности;

- в процессе движения водители уделяют значительное время оценке состояния дисплеев отражающих фактический уровень зарядки ТАБ, что в некоторых случаях влияет на безопасность эксплуатации транспортного средства.

Наиболее важное значение для потребителей при эксплуатации электромобилей имеет количественный уровень зарядки ТАБ и трансформация этого параметра в конкретный пробег, а также наличие системы рекуперации энергии и GPS-навигатора.

Почти треть американских покупателей автомобилей заинтересована в покупке электромобиля. Для них это второй автомобиль в семье.

Экспертная группа Ipsos отмечает большой интерес к электромобилям в пяти странах: Израиль – 57% водителей заинтересованы в покупке электромобиля, Дания – 40%, Австралия – 39%, Канада – 35%, США – 30%. Исследование показало, что: почти половина потребителей готово рассмотреть вопрос о переходе от бензиновых

двигателей; интерес к электромобилям охватывает все демографические группы потребителей; большинство покупателей автомобилей в США обеспокоены загрязнением воздуха или изменением климата (62%), а также озабочены зависимостью страны от нефти (74%).

Большая часть респондентов (78%) заинтересована в развитии технологий возобновляемой энергии, снижении мирового потребления нефти (59%), и снижении загрязнений окружающей среды (55%).

При этом опросы потребителей показывают некоторые опасения в части использования биотоплива на транспорте, которые связаны с возможным кризисом в сельском хозяйстве и снижением производства продуктов питания.

Ежегодное исследование группы Harris Interactive в Европе показывает, что 13% европейцев с высокой степенью вероятности готовы приобрести АКЭУ, не принимая во внимание его стоимость.

Исследование показало, что 30% европейских потребителей, которые заинтересованы в приобретении электромобиля хотели бы, чтобы зарядка ТАБ проходила не более одного раза в сутки в течение времени не более шести часов.

Важное значение для потребителей имеет вопрос организации процесса обслуживания и подзарядки ТАБ транспортных средств.

Таким образом, экспертные данные показывают, что покупка ЭМБ и АКЭУ становится все более привлекательной для потребителей. Однако замедление темпов роста мировой экономики вносит в этот процесс свои коррективы.

1.3. Проблемы безопасности перспективных транспортных средств

В силу своих специфических особенностей, ЭМБ и АКЭУ представляют собой транспортные средства с недостаточным уровнем

обеспечения надежности рабочих процессов. Следовательно, существуют определенные риски, связанные с безопасностью. В таких условиях, автомобильные корпорации должны быть более осторожными, чтобы избежать преждевременного выхода на рынок новых продуктов, которые не обладают соответствующими показателями. Опасности, связанные с высокой энергией хранимой ТАБ известны, но их можно избежать, обеспечивая высокое качество процессов проектирования и производства. Другой специфической особенностью рассматриваемых проектов автомобилей является дополнительные риски, связанные с возможной аварийной ситуацией на дороге, например ДТП, а также отсутствием обеспечения надлежащего технического обслуживания и ремонта. Оценка таких рисков до сих пор проведена не в полном объеме. Считается, что сервисные службы должны быть готовы к решению подобных задач. Практика показывает, что сервис в технологическом и инженерном планах, существенно отстает от производства, а соответственно вывод на рынки новых продуктов должен быть обеспечен внедрением целого ряда предупреждающих мер.

Следующим важным вопросом безопасности эксплуатации ЭМБ и АКЭУ является надежность процесса обеспечения энергией. Сегодня задачи связанные с повышением производства электроэнергии пока еще не рассматриваются в контексте перехода на электрический транспорт. Следовательно, эксперты в области энергетики не в полной мере представляют последствия такого перехода. Ближайшая перспектива развития данной проблемы заключается в постепенном росте нагрузки бытовых сетей, а соответственно усугубления проблем коммунального хозяйства. Можно предположить, что решение данной задачи заключается в использовании интеллектуальных технологий в процессе перераспределения мощности, а также постепенное обновление энергосетей.

Локальным, но достаточно эффективным решением обозначенной проблемы является подготовка предприятий сервисно-сбытовой сети к выполнению соответствующего комплекса работ, начиная от технического обслуживания и ремонта, заканчивая обеспечением текущей эффективности эксплуатации транспортных средств, через зарядку и диагностику.

1.4. Основные проектные решения для электромобилей и автомобилей с КЭУ

Электропривод и ТАБ на экологичном автотранспорте становятся наиболее важными элементами. Именно поэтому наибольшие усилия компонентного кластера направлены на обеспечение высокого уровня качества данных элементов. По сути большая часть успеха в расширении рынка ЭМБ и АКЭУ зависит от решения проблемы повышения надежности и долговечности функционирования выделенных компонентов. Такое критическое определение данной проблемы не случайно. Традиционно аккумуляторы не играли ключевую роль в транспортных системах с ДВС. Роль аккумуляторов была ограничена обеспечением: пуска и зажигания ДВС, наружным и внутренним освещением. Остальные ключевые процессы в течение долгого времени реализовывались бензиновыми или дизельными силовыми агрегатами.

Повышение доли электронных и электротехнических компонентов на борту транспортного средства потребовало повышение выходной мощности генераторной установки, а также улучшение технических параметров ТАБ. Однако при переходе транспорта на электрические технологии неизбежно изменение архитектуры транспортного средства. При существенных ограничениях в массе и габаритах автомобиля необходимо обеспечить установку системы хранения электроэнергии, а также решить задачу ограничения энергопотребления. Так, например, в традиционных конструкциях автомобилей с ДВС функци-

ей тормозной системы является собственно обеспечение эффективного торможения транспортного средства. Для ЭМБ и АКЭУ данная функция расширяется за счет реализации электротехнической системы рекуперации энергии.

Улавливание пиков электроэнергии в течение короткого промежутка времени, а также ее надежное хранение является функцией ТАБ, но даже современные технологии литий-ионных батарей, используемых на транспорте, ограничены в способности принимать энергию высокого заряда в течение короткого промежутка времени. Существенная часть энергии рекуперации не сохраняется в ТАБ, а излучается в виде тепла. Еще одной проблемой в данном случае является перегрев и деградация современных ТАБ при воздействии высоких токов. Существуют несколько направлений решения данных проблем: разработка и внедрение электронных систем управления работой ТАБ; использование суперконденсаторов (например, как на автомобиле Supra HV-R Hybrid) для захвата пиков энергии. Однако высокая стоимость таких технологий ограничивает их применение.

1.5. Проблемные области технологий проектирования и производства ТАБ электромобилей и автомобилей с КЭУ

Одним из наиболее важных технологических вопросов требующих скорейшего решения при проектировании и производстве ЭМБ и АКЭУ является повышение плотности энергии ТАБ. Плотность энергии определяется ее количеством, накопленным на единицу массы или объема устройства накопителя. Зависимость между параметрами удельной мощности и плотности энергии ТАБ для разных технологических решений представлена на рис. 1.6. На рисунке 1.6 видно, что распространенная в настоящее время литий-ионная технология производства ТАБ имеет существенный потенциал развития.

Тем не менее, в долгосрочной перспективе эта технология вполне может быть заменена на другие, которые в настоящее время находятся в стадии исследований и разработок.

Требования по эффективности ТАБ для автомобилей с КЭУ отличаются от соответствующих требований для электромобилей. Для них значительный объем энергии должен сохраняться для обеспечения транспортных функций в установленном диапазоне параметров. Для АКЭУ существует дополнительная энергетическая поддержка со стороны ДВС. Улучшение технических характеристик ТАБ возможно, однако существуют риски экономического характера. Поэтому главная цель развития батарей для ЭМБ является максимизация плотности энергии, запасенной на единицу объема без существенного удорожания системы.

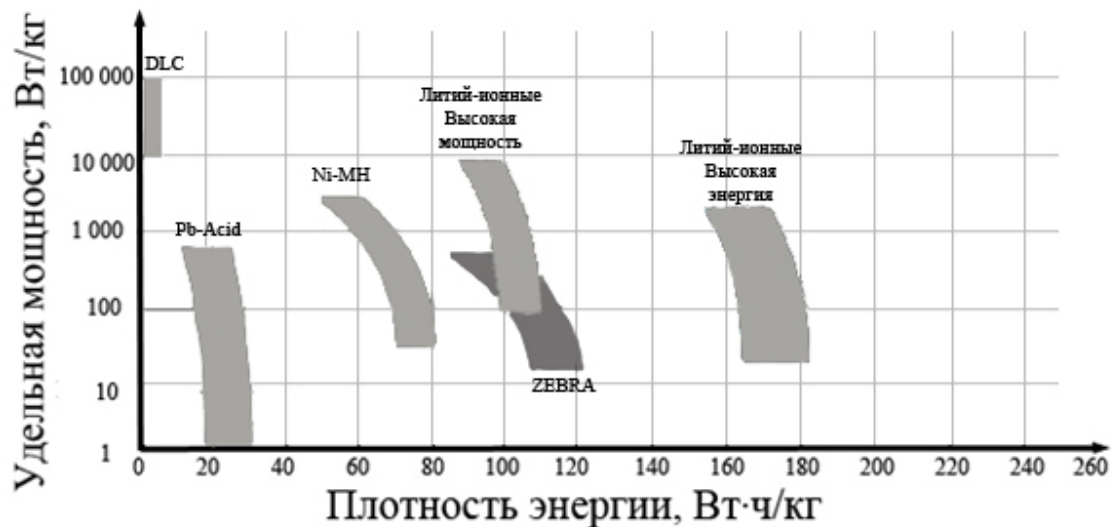


Рис. 1.6. Зависимость между параметрами удельной мощности и плотности энергии ТАБ для разных технологий

Известно, что старые технологии свинцово-кислотных батарей обеспечивают удельную энергоёмкость на уровне 90 Вт·ч/кг. Литиево-ионные элементы сегодня обеспечивают удельную энергоёмкость равную 175 Вт·ч/кг. Теоретический максимум для таких батарей определяется более чем в 300 Вт·ч/кг. Возможно, что улучшение характеристик

ТАБ связано с сочетанием литий-ионных технологий и суперконденсаторов, при этом может быть достигнута очень высокая удельная мощность с высокой плотностью энергии и большим сроком службы.

Для гибридов необходимой плотности энергии можно достичь через существующие технологии. Использование лития с высокой теоретической плотностью энергии, в качестве катода, и воздуха, в качестве анода, представляет собой комбинацию, которая может обеспечить создание ТАБ с высокой плотностью энергии. Однако в настоящее время данная технология находится в области экспериментальной разработки.

Еще одним важным проблемным вопросом остается проблема жизненного цикла ТАБ, а точнее ее долговечность. В условиях перехода ТАБ от режима заряда в область разряда приводит к снижению долговечности. Увеличение количества циклов перезарядки ТАБ, также существенно влияет на ее эффективность.

Следующим проблемным вопросом ТАБ является ее стоимость. При рассмотрении данного вопроса необходимо учитывать, что затраты на топливо продолжают расти, а цены на ТАБ уже в ближайшие 20 лет будут уменьшаться с совершенствованием технологии их производства.

Стоимость технологии производства единицы ТАБ для ЭМБ и АКЭУ сегодня находится в диапазоне от 750 до 2000 долл. США. Она в большей степени зависит от применяемых в производстве материалов. Интеграция систем управления или охлаждения с ТАБ практически удваивает эту стоимость. Стоимость китайских литий-ионных батарей значительно ниже, и составляет порядка 400 долл. США, но при этом существенно возрастают риски недостаточного качества и надежности.

Обеспечение безопасной эксплуатации ТАБ остается одной из проблемных областей как для электромобилей так и для автомобилей с КЭУ.

При разработке систем ТАБ необходимо внедрять надежные средства защиты: отключения сепаратора (для предотвращения перегрева); снижение внутреннего давления; сброса давления и теплового прерывания.

Несмотря на то, что потенциал литий-ионных технологий ТАБ не исчерпан, эксперты сходятся во мнении, что уже через 5 лет могут появиться новые разработки в области материаловедения.

Сегодня активно обсуждается вопрос о применении в ТАБ материалов на основе лития, например титанат лития, или оксида кремния. Эти новые материалы анода ТАБ обеспечивают более высокий потенциал и лучшие характеристики при низких рабочих температурах, чем традиционный графит (рис. 1.7).

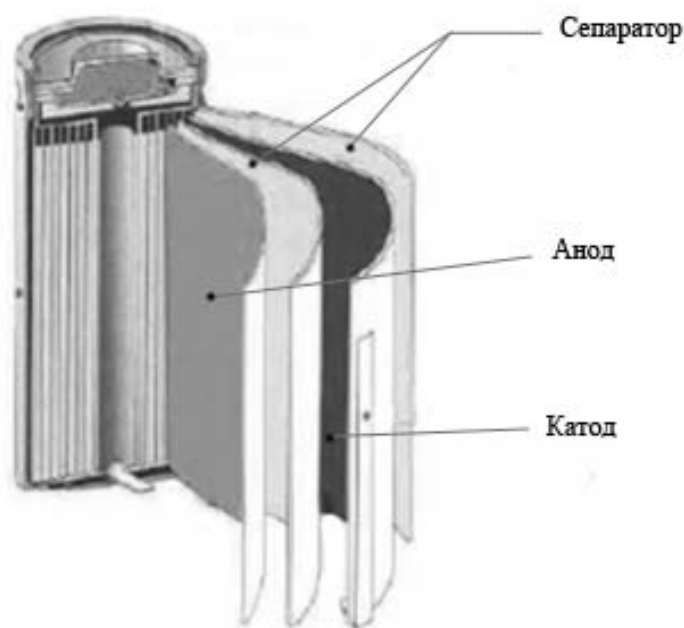


Рис. 1.7. Конструкция современной ТАБ электромобиля или автомобиля с КЭУ

Два материала, которые в настоящее время активно внедряются в электрические технологии автомобилестроения это: фосфат лития-железа (ФЛЖ) и титанат лития (ТЛ). ТАБ на основе ФЛЖ способны обеспечить более 1500 циклов перезарядки с приемлемым уровнем

плотности хранимой энергии. ТЛ имеет гораздо более высокие потенциальные возможности – около 5000 циклов. Однако меньшая плотность хранимой энергии делает данную технологию более предпочтительной для производства ТАБ для АКЭУ.

Сегодня многие производители автомобильных ТАБ сосредоточились на развитии технологий применения фосфата лития – железа (ФЛЖ) из-за его высокой стабильности параметров и относительно низкой стоимости. Расчеты показывают, что технологии применения ФЛЖ в долгосрочной перспективе могут обеспечить производство ТАБ стоимостью 350 долл. США. Однако такие ТАБ обладают меньшей долговечностью чем используемые сейчас литий-ионные аналоги.

При критическом рассмотрении существующих конструкций батарей в первую очередь следует выделить соответствующие технологии производства катода (рис. 1.7). ТАБ увеличенной мощности создаются с помощью тонких электродов, но это снижает срок службы, безопасность и увеличивает расходы. Электродные материалы наносятся на тонкую металлическую подложку, которая также служит в качестве коллектора тока. Исследование анодных материалов показывает существенный потенциал развития технологий на основе оксида олова, в сравнении с применяемыми в настоящее время графитовыми аналогами. Однако существуют проблемы технологической стабильности в производстве таких материалов для массового производства автомобилей. В Японии ведутся разработки серебряных анодов ТАБ, данный вариант является более дорогим. Лидерами в области разработок технологий производства анодов и катодов ТАБ являются компании DuPont, 3M и IBM. Однако технологии производства анода и катода ТАБ – это всего лишь небольшая доля в цепочке создания стоимости современных батарей. Большую значимость в плане разработки и производства ТАБ занимает сепаратор. Сепараторы ли-

тий-ионных ТАБ (рис. 1.7) необходимы для обеспечения надежного хранения энергии высокой плотности. Их изготавливают из слоистых полиолефинов с пористостью 50%. Сепараторы выполняют две функции: надежное позиционирование положительных и отрицательных электродов, а также защита ТАБ в случае перегрева. При повышении температурного режима работы батареи происходит закрытие пор полимерной сетки, тем самым ограничивается цепь по току и уменьшается рост температуры. Таким образом, обеспечивается безопасная эксплуатация ТАБ, однако оплавление сепаратора при высоких температурах приводит к необходимости замены батарей и дорогостоящему ремонту транспортного средства. Компании BASF и Celguard проводят исследования в области применения новых материалов для производства сепараторов.

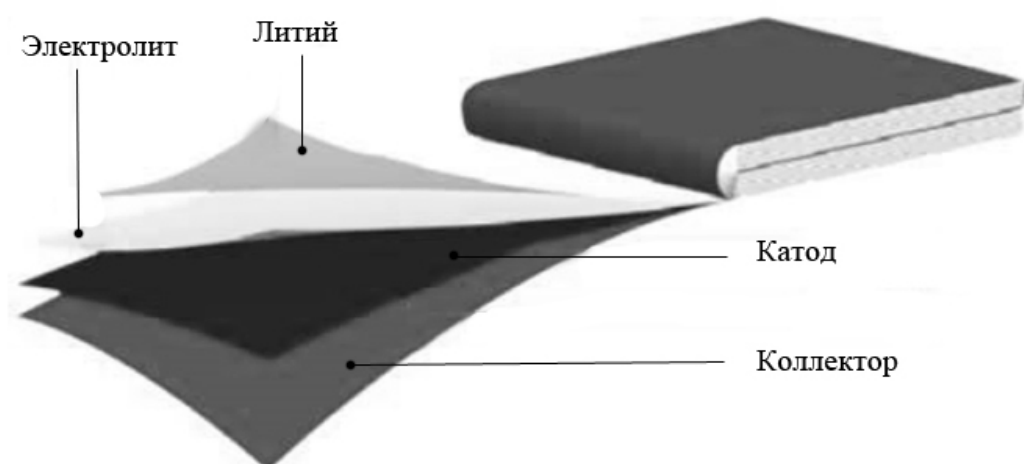


Рис. 1.8. Типичная конструкция литий-ионной батареи

В современных ТАБ в качестве электролита обычно используется раствор литиевой соли в органическом растворителе. Типичная конструкция литий-ионной батареи представлена на рис. 1.8. Большинство современных солей представляют собой соединения фтора, который при относительной безопасности эксплуатации имеет приемлемые технико-экономические показатели. Эффективность техноло-

гических решений в области создания ТАБ для ЭМБ и АКЭУ иллюстрирует рис. 1.9.

Большинство автомобильных конструкций ТАБ предусматривают реализацию батарей в виде сот или клеток, которые имеют цилиндрическую (рис. 1.7) или призматическую формы. Силовой каркас литий-ионных батарей первоначально изготавливался из нержавеющей стали, хотя в последнее время этот материал заменили алюминием, который имеет меньший вес и стоимость. Материал каркаса должен быть достаточно жестким, чтобы обеспечить выполнение эксплуатационных требований.

Необходимость обеспечения безопасности литиево-ионных батарей требует обязательного внедрения системы управления ограничивающей перезарядку. Стоимость системы управления повышает общую стоимость батарей, а с учетом того, что конструкция ТАБ автомобиля или автомобиля с КЭУ включает в себя от четырех до восьми сот, усложняется и система управления контролирующая процессы зарядки и разрядки.

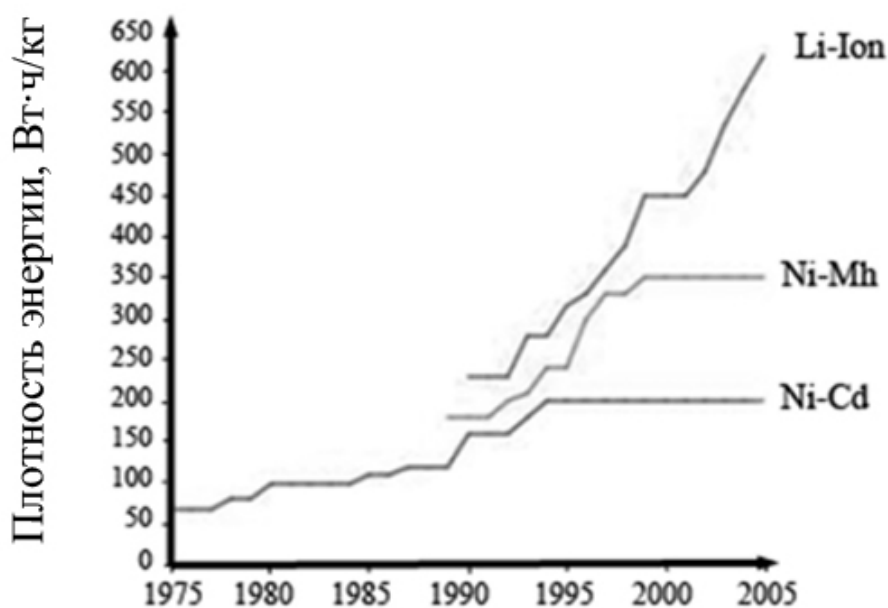


Рис. 1.9. Исторические достижения в области повышения энергоэффективности ТАБ

1.6. Проблемные области технологий проектирования и производства тяговых электродвигателей для электромобилей и автомобилей с КЭУ

Тяговые электродвигатели ЭМБ и АКЭУ выполняют функции забора энергии из ТАБ и обеспечение движения транспортного средства. В отличие от традиционно используемых в автомобилестроении электростартеров или электроусилителей рулевого управления, тяговые электродвигатели должны обладать большей мощностью и, как следствие, большими массогабаритными характеристиками.

Автомобильные тяговые электродвигатели (рис. 1.10) обладают рядом достоинств по сравнению с ДВС. Двигатели внутреннего сгорания, как правило, не в состоянии обеспечить достаточный крутящий момент на низких скоростях. Около 10% мощности ДВС необходимо для поддержания постоянной скорости движения равной 50 км/ч, в то время как 90% мощности используется только в режимах ускорения или движения на высокой скорости.

Конструкция тягового электродвигателя обеспечивает максимальный крутящий момент уже в момент старта автомобиля, что позволяет снижать его номинальную мощность. Электродвигатели обеспечивают необходимый крутящий момент в широком диапазоне частоты вращения ротора.

Хотя электродвигатели нашли широкое применение в современной технике, необходимость значительного повышения параметров мощности для обеспечения требований автомобильного производства, является сравнительно новой задачей. Тяговые электродвигатели, используемые на транспорте, работают на высоких частотах вращения и нуждаются в эффективном охлаждении.

Элементы электродвигателя нагреваются не только из-за потерь энергии в активных его частях, но и из-за соседства с нагревающимися-

ся элементами трансмиссии. При эксплуатации транспортного средства температура должна регулироваться с целью поддержания требуемых выходных электромеханических характеристик, а также для защиты от теплового повреждения электродвигателя и рядом установленных компонентов. В автомобильных тяговых электродвигателях из-за ограниченности габаритов и высоких электромагнитных нагрузок воздушное охлаждение малоэффективно и в большинстве случаев неприемлемо. Такие системы требуют жидкостного охлаждения.



Рис. 1.10. Общий вид тягового электродвигателя

Компания Remy International, занимающаяся разработкой и производством тяговых электродвигателей на постоянных магнитах (рис. 1.11) для GM и BMW, а также компания Mercedes самостоятельно занимающаяся разработкой таких компонентов, подчеркивают важность охлаждения электродвигателей на высокоскоростных режимах работы.

Учитывая ключевую роль электропривода в транспортных системах, производители автомобильных компонентов приступили к разработке новых конструкций электродвигателей с повышенными мощностными характеристиками. Однако в отличие от электродвигателей промышленного и бытового применения, в конструкциях тяговых электродвигателей для обеспечения соответствующих характеристик устанавливаются элементы активной зоны из редкоземельных материа-

лов, таких как лантан, неодим, диспрозий и тербий, из которых изготавливаются постоянные магниты.

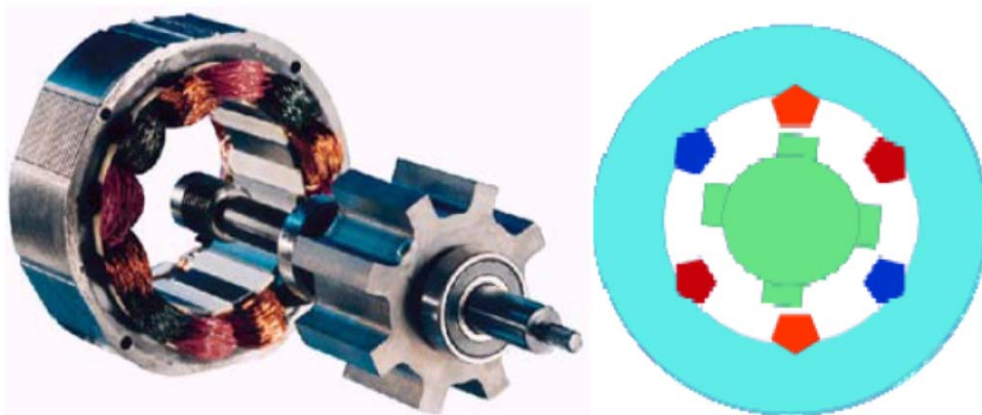


Рис. 1.11. Конструкция тягового электродвигателя на постоянных магнитах

Редкоземельные элементы имеют высокую стоимость из-за значительной трудоемкости добычи ресурсов. Любой технологический прорыв в замещении добываемых элементов на синтезированные в промышленных условиях может снизить стоимость электродвигателей на 25%. Кроме того, большая часть мировых запасов редкоземельных металлов сосредоточена на территории Китая. Формируемая при этом стратегическая зависимость промышленных центров от ограниченного объема добываемых ресурсов способна снизить привлекательность ЭМБ и АКЭУ.

Исторически в плане реализации электропривода конструкция электромобилей менялась. На ранних разработках использовался один мощный электродвигатель привода. Сегодня на автомобилях, в основном, устанавливаются два так называемых мотор-колеса. Электродвигатель подключается напрямую к колесному диску. Существуют варианты полного привода электромобилей, где используются четыре тяговых электродвигателя.

В отличие от широкого спектра технологий производства ТАБ, соответствующие инструменты проектирования и производства электро-

двигателей ограничены. Классификация технологических возможностей производства тяговых электродвигателей заключается в реализации конструкций электродвигателей постоянного и переменного тока.

Классификатор тяговых электродвигателей постоянного тока, устанавливаемых на электромобили включает в себя тяговый электродвигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов и тяговый электродвигатель постоянного тока с электромагнитным возбуждением.

Одним из недостатков двигателей постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов является существенная пульсация крутящего момента. Данный недостаток устраняется увеличением полюсов обмотки статора. В результате кривая крутящего момента сглаживается, средний крутящий момент возрастает, двигатель на разных режимах работает более плавно. Другим способом увеличения крутящего момента и частоты вращения двигателя является увеличение тока, подаваемого на обмотку статора. К достоинствам рассматриваемой конструкции электродвигателей является простота исполнения.

Тяговый электродвигатель постоянного тока с электромагнитным возбуждением обеспечивает более плавное генерирование крутящего момента. Преимуществами такого электродвигателя являются высокая надежность и упрощенный алгоритм управления скоростными режимами. К недостаткам таких электродвигателей можно отнести высокую трудоемкость обслуживания, связанную с необходимостью организации периодических замен щеток и пружин, а также чистки и замены коммутаторов щеточно-коллекторного узла (ЩКУ).

Несмотря на отмеченные выше недостатки тяговых электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов, именно они нашли наиболее широкое распространение в проектировании и производстве ЭМБ и АКЭУ. Бесщеточная конструкция электродвигателей обеспечи-

вает более эффективную передачу энергии на колесо, повышенную долговечность эксплуатации. Кроме того, такие электродвигатели практически не требуют технического обслуживания. Недостатками тягового электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов являются высокая стоимость и необходимость реализации сложных алгоритмов управления.

Новые конструктивные и технологические решения для тяговых электродвигателей в бесщеточном исполнении обозначены фирмой Hredzak. Традиционно привод электромобилей обеспечивался через карданный вал или реализовывался непосредственно в конструкции колеса. Решение компании Hredzak заключается в создании технологии производства двухсторонней конфигурации статора электродвигателя, которая привлекательна тем, что на ротор машины устанавливается непосредственно диск колеса автомобиля (рис. 1.12). Это приводит к уменьшению массы колеса и общих габаритов системы привода. Однако недостатком конструкции считается то, что вследствие неровностей дорожного покрытия происходит смещение ротора относительно статора, вызывая пульсации крутящего момента электрической машины.

Решение этой проблемы заключается в модуляции тока электродвигателя и обеспечение контроля крутящего момента с помощью соответствующей системы управления.

Тяговые синхронные электродвигатели переменного тока имеют ряд преимуществ в сравнении с электродвигателями постоянного тока: отсутствие скольжения ротора относительно поля статора; возможность более точной регулировки частоты вращения ротора и т.д.

Одним из лидеров в области разработки и производства мотор-колес на основе синхронных двигателей переменного тока является компания Mitsubishi. Соответствующие технологии применяются как в

изготовлении электромобилей, так и автомобилей с КЭУ. Мотор-колесо Mitsubishi позволяет обеспечивать регулировку крутящего момента и тормозного усилия независимо на каждое колесо без необходимости реализации приводного вала или других сложных механических компонентов. Система привода расположена внутри самого колеса, при этом обеспечивается оптимизация компоновки конструкции и снижение массы устройства (рис. 1.13).

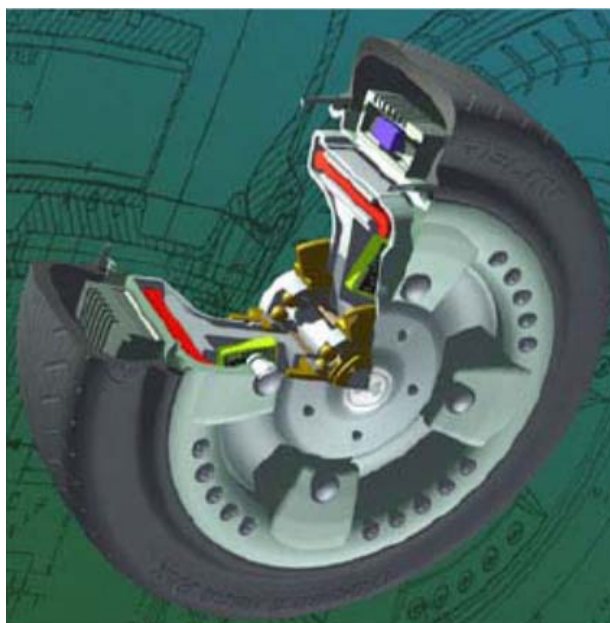


Рис. 1.12. Тяговый электродвигатель Hredzak



Рис. 1.13. Мотор-колесо автомобилей Mitsubishi

Проблемным вопросом в конструкции мотор-колеса Mitsubishi является необходимость решения задачи по интеграции классической тормозной системы в ограниченном пространстве, а также организация процесса ее обслуживания и регулировки. Конструкция электропривода Mitsubishi представлена на рис. 1.14.

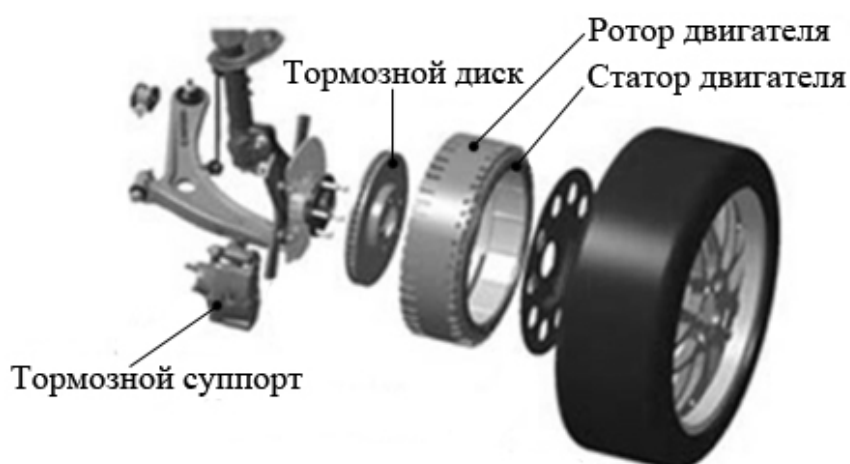


Рис. 1.14. Конструкция электропривода колес Mitsubishi

Британской компанией PML Flightlink разработан интегрированный комплекс, реализующий функции электропривода колес, электрогенератора и тормозной системы. Устройство имеет лучшие массогабаритные и энергетические характеристики в сравнении с Mitsubishi и включает в себя электронную систему управления двигателем. Система управления реализует переход от режима электродвигателя в режим генерации электроэнергии. Интеллектуальное программное обеспечение системы управления обеспечивает оптимизацию производительности автомобиля.

Перспективными направлениями развития процессов проектирования и производства мотор-колеса являются: разработка энергоэффективной конструкции электродвигателя, включая силовую и управляющую электронику; интеграция в конструкцию тормозной системы; разработка управляющей системы передней подвески; реализация функции теплоотвода.

Конструкция обратимого тягового трехфазного электродвигателя переменного тока состоит из статора с обмотками расположенного внутри машины, внешнего ротора с постоянными магнитами и системы жидкостного охлаждения. Среди преимуществ данных конструкций электродвигателей выделяются: отсутствие необходимости в обеспечении дополнительных приводных механизмов; номенклатурное расширение транспортных средств, на которых можно установить данное устройство; оптимальные массогабаритные параметры.

Как было отмечено ранее, основным недостатком мотор-колеса является дополнительная масса, которую оно добавляет к колесному диску автомобиля, что оказывает влияние на комфорт и курсовую устойчивость при движении. Для преодоления данного недостатка компания Bridgestone разработала технологию управления неподрессоренной массой автомобиля, которая заключается в использовании системы поглощения вибраций, когда сами электродвигатели обеспечивают функции гасителей вибрации. То есть собственные вибрации электродвигателей компенсируют вибрации от дороги и шин, что улучшает стабильность и комфорт движения. Bridgestone доказывает успешность такого подхода, так как управление неподрессоренной массой обеспечивает улучшение характеристик надежности и долговечности мотор-колеса.

Широкий спектр концептов автомобилей были разработаны с использованием различных конструкций мотор-колеса: PML Flightlink в 2006 г.; Mitsubishi MIEV в 2005 г.; Siemens VDO в 2006 г.; Heuliez в 2008 г.; ZAP-X в 2007 г.; Peugeot BB1 в 2009 г.

Компания Peugeot совместно с Michelin разработала мотор-колесо, устанавливаемое в качестве заднего привода на автомобилях Peugeot BB1 (рис. 1.15). В Peugeot BB1 устанавливается бесколлекторный тяговый электродвигатель, имеющий систему гашения вибра-

ции (рис. 1.15). Несмотря на высокую стоимость такого электродвигателя с возбуждением от постоянных магнитов, его применение в системе привода более предпочтительно, так как интеграция мотор-колеса и системы управления вибрацией в рамках привода с электромагнитным возбуждением не рациональна в первую очередь из-за увеличения габаритов конструкции.

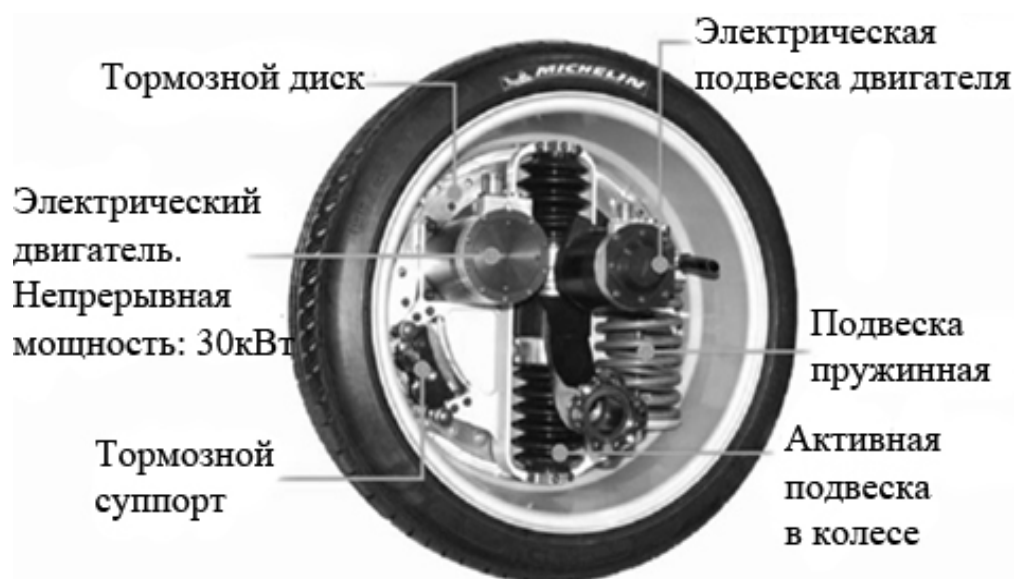


Рис. 1.15. Конструкция мотор-колеса совместной разработки Peugeot и Michelin

Энергоэффективность конструкции современных мотор-колес является одним из самых больших преимуществ прямого привода, реализуемого на ЭМБ и АКЭУ. Причем такие технологии существенно расширяют потенциальные возможности развития других систем автомобиля, например, таких как система активной безопасности, в функции которой могут быть внедрены алгоритмы управления мотор-колеса. Кроме того, на современных автомобилях, благодаря электроприводу, появляется возможность устранения классических конструкций коробки переключения передач (КПП), дифференциалов, приводных валов и осей. Главным преимуществом электрических технологий транспортных средств является, бесспорно, меньшее влияние на окружающую среду.

Однако одной из наиболее важных проблем в реализации современных конструкций привода ЭМБ и АКЭУ является проблема обеспечения качества и надежности соответствующей компонентой базы. Необходимо создать технологии производства, обладающие высокими показателями воспроизводимости электромеханических преобразователей (ЭМ): по точностным показателям; эксцентриситету ротора и статора; весу и т.д. Уже сейчас, экспертным сообществом отмечаются проблемные вопросы эксплуатации электромобилей, связанные с весовым дисбалансом мотор-колеса. Примером решения данной проблемы является опыт компании Michelin разработавшую для электродвигателя привода технологию Active. Интегрированная система управления приводом мотор-колеса для данной системы осуществляет сравнение и оптимизацию весового баланса колес. В условиях значительной массы неподрессоренных компонентов автомобилей (до 40 кг) значимость такой системы управления увеличивается (рис. 1.15). Данный опыт, реализуется на электромобиле Renault Clio.

При классификации конструкций тяговых электродвигателей, были выделены конструкции обратимого типа. У экспертов компании Mitsubishi Motors существует устойчивое мнение, что именно эти технологии определяют дальнейшую перспективу развития экологического транспорта. Причиной чего является снижение весогабаритных параметров устройства и повышение эффективности передачи вращения на колесо.

Размещение системы привода колес предоставляет конструктору гораздо больше возможностей в плане развития соответствующих компоновочных решений, чем, например, размещение привода от классического силового агрегата. Освобождаемая при этом площадь нижней части кузова автомобиля может быть использована более эффективно за счет размещения элементов ТАБ. Использование об-

ращенной машины в качестве привода, за счет уменьшения количества механических посредников в системе, позволяет увеличить максимальный крутящий момент. Так как рассматриваемые конструкторские решения представляют собой продукты развития соответствующих электрических технологий, то при этом обеспечивается наиболее гармоничная интеграция электронных компонентов контроля и управления в соответствующие исполнительные устройства. Расширяемая при этом оптимизационная составляющая характеристик автомобиля определяется параметрами крутящего момента и тормозного усилия на каждом колесе, что позволяет повысить эффективность эксплуатации транспортного средства.

Компанией Honda в 2007 г. на Токийском автосалоне, впервые был представлен прототип автомобиля на топливных элементах FCX, с задним приводом от электропривода типа мотор-колесо (рис. 1.16). Однако впоследствии компания перешла на использование более традиционных конструкций тяговых электродвигателей из-за возникших проблем с теплоотводом.



Рис. 1.16. Электропривод компании Honda

Одним из удачных конструкторских решений является мотор-колесо компании Protean (рис. 1.17). Электродвигатель имеет встро-

енный инвертор, интегрированную управляющую электронику, программный контроллер.



Рис. 1.17. Конструкция мотор-колесо фирмы Protean

Такая комплексная система электропривода и управления получила название системы с распределенной архитектурой. Здесь отдельные компоненты объединены общей информационной сетью, что позволяет повысить показатели надежности и безопасности функционирования транспортного средства.

В случае отказа или некорректной работы компонентов системы, электропривод снижает производительность работы, что не приводит к полному отказу всего устройства. Контроллер управления каждого мотор-колеса интегрируется соответствующей управляющей системой автомобиля, таким образом, появляется возможность для организации процесса управления всем транспортным средством с учетом многообразия эксплуатационных режимов. Кроме управления, функцией встроенного микропроцессорного контроллера является оптимизация рекуперативного торможения, осуществляемое через взаимодействие с внешним модулятором тормозов. Когда водитель нажимает на педаль тормоза, система определяет возможность торможения с использованием электродвигателя, при выполнении данного усло-

вия, в энергетической системе происходит рекуперация энергии. В случае отказа в выполнении условия, контроллером обеспечивается управляющее воздействие и активизируется фрикционная тормозная система. Кроме этого, разработанная Protean система обеспечивает совмещение с ABS автомобиля. В результате получаем комплексный интегрированный компонент, имеющий очевидные преимущества перед аналогами.

1.7. Ресурсное обеспечение производства и эксплуатации электромобилей и автомобилей с КЭУ

Мировой спрос на редкоземельные металлы, по оценкам специалистов, в ближайшие 5 лет превысит 40000 т. в год. В случае, если в течение данного промежутка времени не будут найдены технологии по синтезу аналогичных материалов в промышленных масштабах, то проблема производства ЭМБ и АКЭУ будет усугубляться ресурсными ограничениями уже на стадии производства компонентов.

Автомобиль с КЭУ Toyota Prius заслужил доверие американских потребителей и занимает в своем сегменте около 70% рынка. Он реализован на основе электропривода. Сегодня в каждом тяговом электродвигателе Prius содержится примерно 1 кг неодима, каждая ТАБ содержит примерно от 10 до 15 кг лантана.

Основные разведанные запасы редкоземельных металлов сосредоточены на территории Китая, где действует государственная программа по обеспечению сохранности редкоземельных материалов для обеспечения собственных нужд. Естественно происходит ограничение поставок на экспорт.

Для реализации технических задач, в качестве основного материала аккумуляторных батарей, активно используется литий. Интересно, что некоторыми экспертами отмечается проблема дефицита

данного материала. При всем при этом, уже сейчас существует огромный парк технических устройств находящихся на разных этапах жизненного цикла, где используется литий. По общим оценкам, объемы запасов лития превышают соответствующие объемы золота, платины, йода, серебра и составляет 28400000 т лития или 150000000 т эквивалентного материала – карбоната-лития. Таким образом, при текущем мировом спросе, составляющем около 23000 т лития или 122000 т эквивалента, существуют достаточные запасы данного материала. Здесь присутствует другая проблема, как только на территории суверенных государств обнаруживаются запасы соответствующего материала, вводятся меры ограничительного характера, что способствует росту мировых цен. Такую картину можно наблюдать на примерах Чили или Боливии.

Другой, очевидной проблемой, когда речь заходит о перспективах развития экологического транспорта, является проблема обеспечения инфраструктуры обслуживания и ремонта.

Важнейшим элементом расширения использования электромобилей и автомобилей с КЭУ является способность энергосети к надежной зарядке ТАБ. В условиях сложившихся генерирующих мощностей, требуется дополнительный энергетический прирост, для обеспечения прироста нагрузки. Тем не менее, существуют исследования показывающие, что при сохранении текущих темпов перехода транспорта на электрические технологии, дополнительные мощности, необходимые для удовлетворения спроса на электроэнергию не так уж велики и составят примерно 1,5% к 2030 г., что продемонстрировано на рис. 1.18.

В условиях массового развития электрических технологий на транспорте, актуализируется другая проблема – обеспечение надежности процесса зарядки ТАБ электромобилей в пиковые часы работы энергосети. Меньшей по значимости, но важной для потребителей

проблемой является зарядка ТАБ автомобиля по приемлемой цене. В США, Западной Европе, да и в России действует сетка тарифов на электроэнергию, в зависимости от времени суток. Понятно, что решение этой проблемы должно заключаться в повышении степени информированности потребителей о достоинствах и недостатках реализации процесса обслуживания электромобилей в определенные часы. Решение же основной проблемы обеспечения надежной зарядки ТАБ в пиковые часы, должно проводиться на основе внедрения интеллектуальных технологий в энергетические распределительные системы.

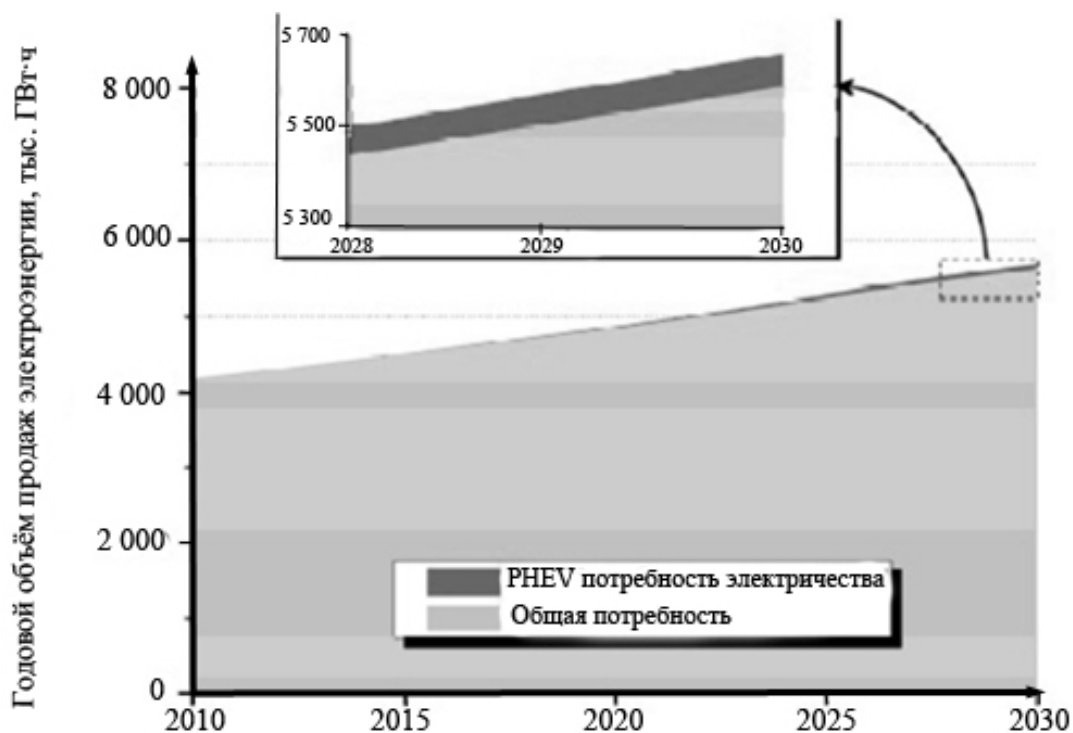
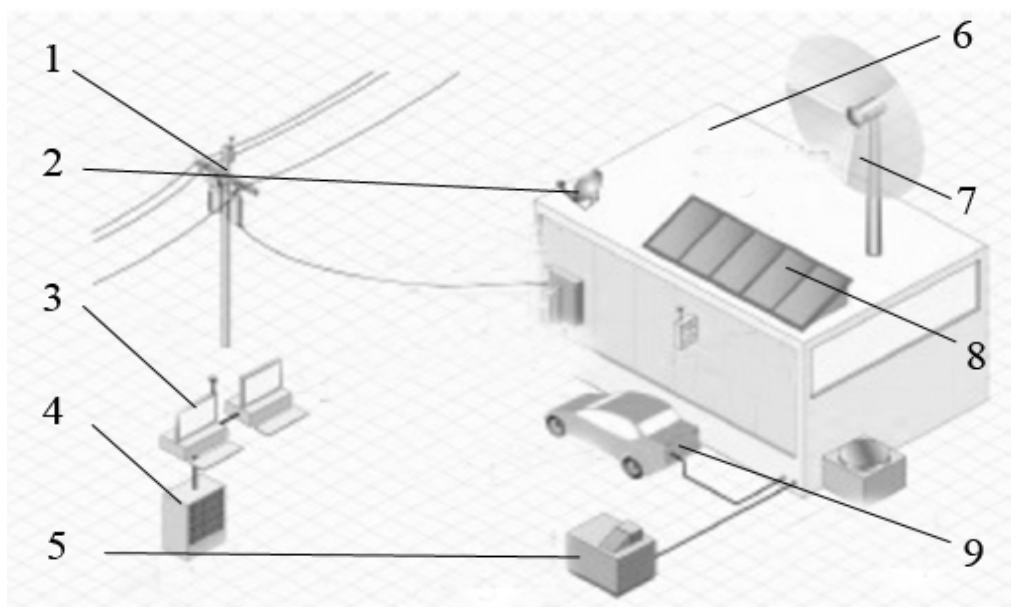


Рис. 1.18. Прогноз энергетического прироста, вызванного развитием электрических технологий на транспорте

В настоящее время разрабатываются локальные инструменты, при расширении использования которых, можно существенно изменить баланс решения проблемы. Например, на рис. 1.19 представлена схема организации процесса обслуживания электромобилей, на базе целого энергетического комплекса созданного с использованием технологий возобновляемых источников электроэнергии.

Комплекс (рис. 1.19) работает по принципу стабильного обеспечения электроэнергией транспортных средств в любой момент времени. То есть, при невозможности надежной зарядки ТАБ через традиционные энергетические сети, реализуется алгоритм зарядки с помощью генерирующих устройств: солнечная батарея, ветряной генератор. В случае повышения нагрузки на сервисный комплекс, предусмотрена возможность замены разряженной ТАБ на специально подготовленную и хранимую в складских условиях батарею. Таким образом, решается проблема надежного обеспечения эксплуатационных параметров электромобилей.



*Рис. 1.19. Энергетическая система обеспечения ЭМБ и АКЭУ:
 1 – традиционная энергетическая сеть; 2 – система спутникового Интернета;
 3 – система динамического контроля энергетической среды;
 4 – интеллектуальная система реализации электроэнергии;
 5 – система питания/забора электроэнергии выработанной в ЭМБ и АКЭУ;
 6 – система замены ТАБ; 7 – система ветряного генерирования
 электроэнергии; 8 – комплекс солнечных батарей; 9 – ЭМБ или АКЭУ*

Интеллектуальные энергетические сети – это сравнительно новое понятие, которое в приложении к транспортным технологиям должно обеспечивать оптимальное перераспределение электроэнергии исходя из существующего спроса и предложения в разных географиче-

ских регионах. К числу концепций реализующих данное направление можно отнести так называемую концепцию «Умный город» (рис. 1.20).

Анализ модели (рис. 1.20) показывает, что в условиях реализации системы интеллектуальных распределительных энергетических сетей должно быть гармонизировано решение довольно сложных вопросов, в рамках единого комплекса. В настоящее время системами управления энергетических сетей реализуются алгоритмы переноса мощностей в зависимости от глобального изменения спроса на электроэнергию. Представленная модель, по сути, отражает необходимость более гибкого управления энергораспределением и требует разработки новых алгоритмов управления, когда накопление потребительских запросов на местном уровне, должно переводить систему в соответствующий режим обеспечения.

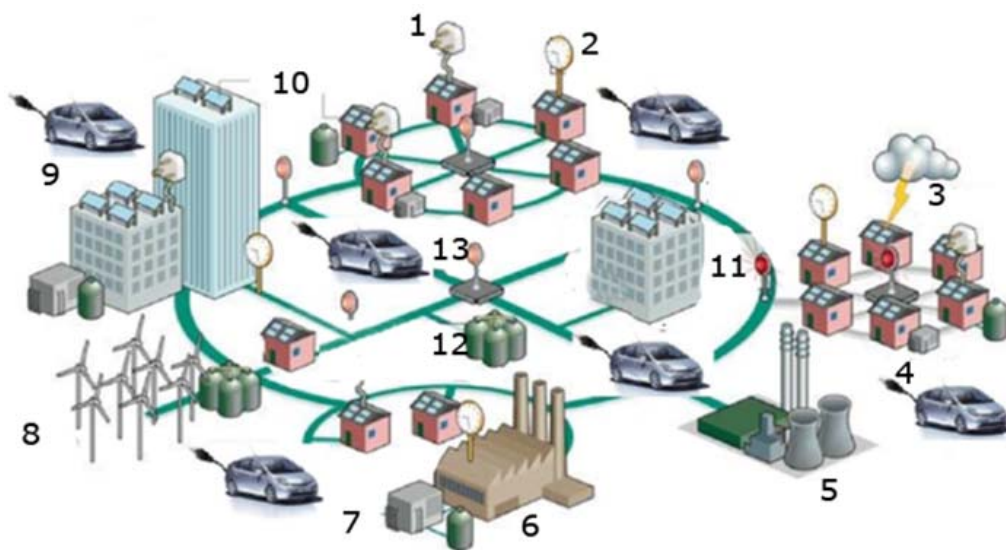


Рис. 1.20. Модель концепции «Умный город»: 1 – комплекс интеллектуальных приборов коммутации; 2 – система надзора и контроля за энергетической средой; 3 – комплекс управления в кризисных ситуациях; 4 – система обеспечения эксплуатации ЭМБ и АКЭУ в автономном режиме; 5 – традиционные генерирующие мощности города; 6 – городской индустриальный парк; 7 – сервисный комплекс ЭМБ и АКЭУ; 8 – альтернативные генерирующие мощности города на основе ветряных станций; 9, 10, 11 – альтернативные генерирующие мощности на основе солнечных батарей; 12 – система медленных полос движения с подзарядкой ТАБ ЭМБ и АКЭУ в городской среде; 13 – комплекс станций быстрой зарядки ТАБ ЭМБ и АКЭУ

С другой стороны, ряд аналитиков прогнозируют, что являясь как потребителями, так и источниками электроэнергии ЭМБ и АКЭУ могли бы делать свой энергетический вклад в работу всей сети. Но при этом, в настоящее время, не в полной мере разработаны инструменты расчета и возмещения со стороны энергосетей затрат связанных с передачей электроэнергии от транспортного средства в сеть. Для эффективной реализации концепции «Умный город» необходимо решить ряд задач: создание системы двунаправленного силового интерфейса для обеспечения функции приема и передачи электроэнергии из сети к автомобилю и обратно; беспроводной доступ в Интернет для всех транспортных средств и глобальное позиционирование для полного контроля за передвижением транспортных средств с целью оптимизации управления и реализации инструментов прогнозирования локального спроса на электроэнергию; создание системы двунаправленной системы учета электроэнергии, разработка интеллектуальных алгоритмов управления с учетом многофакторности решаемой проблемы.

Важным вопросом при обеспечении эффективности обслуживания ЭМБ и АКЭУ является уровень согласованности принятых стандартов в отраслях, так или иначе связанных с электрическими технологиями на транспорте. С учетом того, что электрическое напряжение в бытовых сетях даже в развитых странах отличается, напрашивается вывод о необходимости решения задачи стандартизации с целью обеспечения единообразия как минимум некоторых особенностей транспортных средств и инфраструктуры, с точки зрения эксплуатации. По обозначенному комплексу проблем разрабатываются и внедряются на межгосударственном и межкорпоративном уровнях соответствующие стандарты и протоколы.

Например, в Северной Америке, Инженерной Ассоциацией проводится работа, направленная на анализ параметров и характеристик

электромобилей и автомобилей с КЭУ, которые нуждаются в стандартизации. Список компаний, участвующих в разработке требований объединяет лидеров мирового автомобилестроения GM, Chrysler, Ford, Toyota, Honda, Nissan.

В качестве примера одного из результатов работы Инженерной Ассоциации является унифицированная система подключения электромобилей к блокам подзарядки (EVSE), реализуемая с помощью четырех различных принципиальных решений (рис. 1.21): внутренний блок EVSE; блок EVSE установлен на стене или постаменте; на стене или постаменте установлен блок DC быстрого зарядного устройства; замена батареи DC с быстрым зарядным устройством.

Важным аспектом, влияющим на расширение географии использования электромобилей, является разработка и реализация принципов обеспечения так называемой «быстрой» (в течение не более 15 мин) зарядки ТАБ, при одновременном расширении пунктов сервиса, предоставляющих данную услугу.

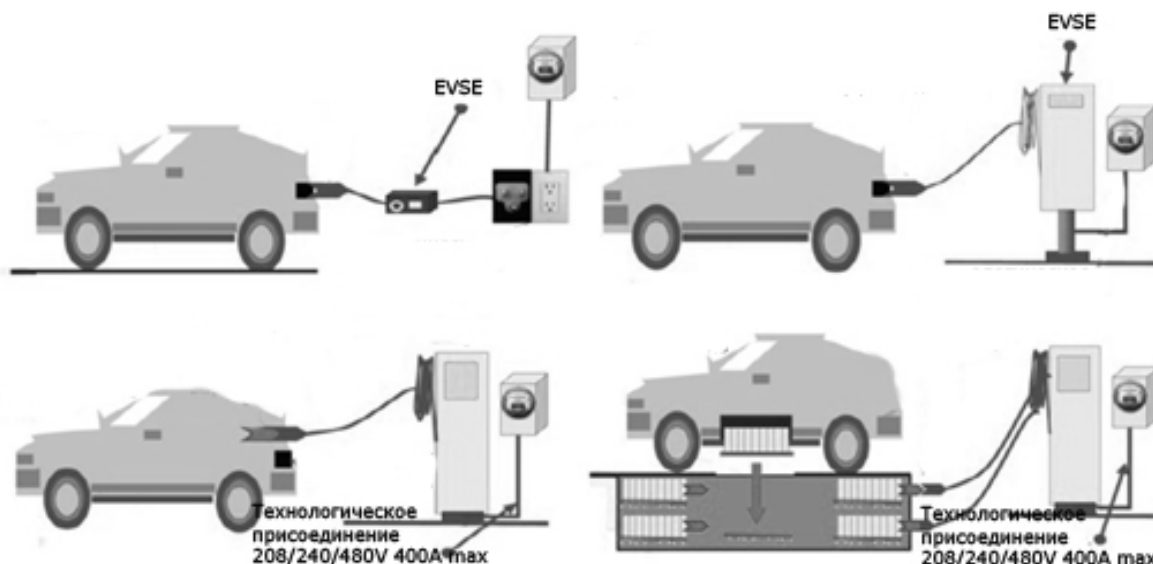


Рис. 1.21. Стандартизированные принципы зарядки ТАБ электромобилей

Европейская ассоциация автопроизводителей (АСЕА) объявила начало работы по созданию сети заправочных станций стандартизи-

рованной по единым принципам в странах Еврозоны. Комплекс соответствующих мероприятий поделен на фазы:

– фаза 1 – создание единого разъема для подключения к зарядному блоку;

– фаза 2 – адаптация компонентной отрасли Европы под единый перечень стандартов разработки и производства автокомпонентов. Начало действий в 2017 г.

В настоящее время большой интерес к данной программе уже проявили не только Европейские и Североамериканские автомобильные концерны, но и Японские, Южнокорейские и Китайские корпорации.

Известно о программе развития сервиса в КНР, согласно которой, в ближайшие два года в Пекине будет построено 75 зарядных станций, при этом уже сейчас во всех крупных городах работает около 100 таких сервисов.

В 2010 г. в городе Сан-Хосе, штат Калифорния (США), состоялась конференция по проблемам развития электрических технологий на транспорте. Участниками конференции были выделены два основных стандартных направления обеспечения энергией автомобилей: домашняя и сервисная зарядные станции. При этом важным аспектом определяющим развитие технологий является обеспечение сервиса не только для легковых автомобилей, но и для среднетоннажного коммерческого транспорта.

Интересен опыт некоторых стран в развитии экологических видов транспорта, с точки зрения ресурсного обеспечения эксплуатационных этапов жизненного цикла. Согласно официальным источникам в планах Дании до 2020 г. обеспечить выработку до 50% производимой электроэнергии на основе возобновляемых источников. Таким образом, государство через реализацию энергетических программ, а также за счет активного внедрения электромобилей, планирует снижение импорта энергоносителей.

Отдельным вопросом, нуждающимся в рассмотрении, является технология индуктивной зарядки, разработанная в 1893 г. Николой Тесла. Его работа была посвящена проблеме развития беспроводного освещения.

Она определила современное направление развития технологий, которые могут быть использованы при реализации ЭМБ и АКЭУ. Индукционная зарядка не реализуется путем непосредственного воздействия на ТАБ транспортного средства. Система состоит из двух частей:

- первая – располагается на стороне зарядного устройства и представляет собой трансформатор, разделенный на две части. Первичная обмотка подключена к сети переменного тока;

- вторая – располагается на автомобиле. Вторичная обмотка находится в изолированном модуле и обеспечивает питание ТАБ.

Таким образом, при движении в условиях отсутствия физического контакта, реализуя закон электромагнитной индукции, осуществляется подзарядка аккумуляторов автомобилей.

Уже сейчас в Новой Зеландии разработаны индуктивные системы передачи мощности. В Европе начинается процесс разработки и внедрения так называемых «медленных» полос движения, которые обеспечивают функцию индуктивной зарядки электромобилей.

Существует ряд неоспоримых преимуществ технологии индукционной зарядки автомобилей: упрощение инфраструктуры обеспечения стационарных режимов зарядки ТАБ; постоянное подключение автомобиля к информационной сети создает возможности для оптимизации транспортных потоков, повышения уровня безопасности и безаварийности на дорогах; повышение уровня комфорта при эксплуатации транспортных средств за счет реализации систем быстрого Интернета. Причем, в последнем случае, можно говорить о техническом прорыве в области транспорта, который определяется: реализа-

цией функций мониторинга; диагностикой и интерактивным обслуживанием, маршрутизацией и предупреждением столкновений; селективным управлением движения автомобилей.

1.8. Перспективы развития рынка электромобилей и автомобилей с КЭУ

Еще сравнительно недавно перспективы развития ЭМБ и АКЭУ рассматривались весьма скептически. Основные проблемы в реализации электрических технологий на транспорте были связаны с невозможностью обеспечить минимальные требования потребителей эксплуатирующих автомобили даже в городских условиях. Низкий интервал пробега между циклами перезарядки ТАБ, невысокий уровень динамики, отсутствие необходимой инфраструктуры – это только часть проблем которые необходимо решить, прежде чем выпустить на рынок электромобили и автомобили с гибридной силовой установкой. Сегодня происходит изменение в сознании экспертного сообщества в части развития соответствующих технологических направлений.

Первичный импульс, определивший новый этап развития экологического транспорта, в середине XX века обозначил два основных направления электрических технологий: электромобили и автомобили с КЭУ. Текущее понимание необходимости дальнейших разработок в данной области определяется дополнительными аспектами: рост цен и ограничение добычи энергоресурсов.

Таким образом, уже сейчас можно говорить о заложенном фундаменте в вопросах актуализации и развития электрических технологий на транспорте. В развитых странах работают специализированные экспертные группы, целью которых является изменение сознания общества в понимании экологических проблем и роли электротранспорта в их решении.

Наметившийся в последние десятилетия технический прорыв в области электрических технологий транспорта, обеспечивает формирование оптимистического сценария развития автомобилестроения в соответствующем тренде.

Все обозначенное выше является своего рода двигателем процесса развития ЭМБ и АКЭУ. Но при этом есть и аспекты сдерживающие развитие расширения экологических проектов до уровня массовости. Среди них целый ряд обладающих ключевыми особенностями положений: появление новых игроков на рынке разработки и производства компонентов, что приводит к рискам недостаточного качества и надежности элементного состава автомобилей; ограничения в добыче и высокая стоимость редкоземельных материалов используемых при производстве тяговых электродвигателей; неразвитая инфраструктура обеспечения эксплуатационной эффективности ЭМБ и АКЭУ.

Перечень вскрытых в ходе работы достоинств и недостатков электротехнических проектов транспортных средств представляют собой матрицу менеджмента, из рассмотрения которой необходимо обозначить прогноз развития соответствующих транспортных технологий. Однако сложность решения данной задачи заключается в примерной равноценности выделенных плюсов и минусов.

Сейчас можно говорить лишь о глобальном развитии направления экомобилей. Лидера в научных разработках и технологиях транспорта на топливных элементах, биотопливе или с использованием электрических технологий пока нет. Но что бесспорно – развитие электротехники и электроники в современных условиях является фундаментальной основой развития транспортного сектора. В условиях недостаточного обеспечения качества и надежности традиционных систем электрооборудования автомобилей, соответствующие проблемы будут сопутствовать и новым электротехническим комплексам.

Экспертные оценки по объемам рынка ЭМБ и АКЭУ (IHS Automotive) примерно составляют 700000 единиц к 2016 г. В ближайшее время впечатляющий рост будет демонстрировать китайский рынок новых транспортных технологий. Это связано с наличием ресурсной и производственной баз, а также с перспективами развития научно-технического сектора. Государственная Электросетевая Корпорация Китая совместно с энергетическими гигантами объявили о планах разработки и реализации проекта строительства сети зарядных станций. Проект настолько амбициозный, что подразумевает наличие не менее 10000 станций уже к 2020 г.

По прежнему мы можем говорить лишь об использовании электромобилей в качестве городского транспорта, поэтому улучшение качества жизни населения в развитых странах, а также понимание важности решения экологических проблем, скорее всего, приведет к тому, что экомобиль станет вторым автомобилем в семьях. Примерно такая же картина ожидает и коммерческий транспорт. Легкий и среднетоннажный коммерческий транспорт, работающий в городских условиях, в перспективе может быть переведен на электрические технологии.

Одним из возможных решений проблемы расширения парка таких транспортных средств является развитие сервисных технологий передачи транспортных средств на прокат или развитие сети такси.

Государственные структуры в ряде стран, с целью обеспечения собственной независимости на энергетическом рынке, активно поддерживают инновационные начинания в области ЭМБ и АКЭУ. Однако практика показывает, что такая поддержка ограничивается 10–15 летним периодом, после которого ответственность за реализацию проектов переходит в бизнес-среду. Вопрос о возможностях бизнеса, в части полной самостоятельности решения проблем проектирования, производства и эксплуатации таких сложных систем, какими являются ЭМБ и АКЭУ, остается открытым.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на перспективы развития автомобильной промышленности.
2. Приведите сравнительные характеристики эксплуатационных показателей транспортного средства с тепловым двигателем и электромобиля.
3. Приведите примеры существующих на сегодня проблем, связанных с ресурсным обеспечением эксплуатационного периода электромобиля и автомобиля с комбинированной энергоустановкой.
4. Дать характеристику основным конструкциям тягового электропривода электромобиля и автомобиля с комбинированной энергоустановкой конструктивные, эксплуатационные преимущества и недостатки.
5. Опишите проблемные области проектирования и производства тяговой аккумуляторной батареи.

2. РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ АКЭУ

В настоящее время перспективы развития автомобилестроения во многом определяются показателями качества и надежности функционирования автомобилей. Автопроизводители неизменно повышают технические характеристики продукции с учетом известных ограничений в области безопасности и охраны окружающей среды.

Качество функционирования автомобиля с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ) определяется рядом технических параметров, существенная часть из которых обеспечивает эффективность работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Потребитель в Западной Европе весьма требователен к вопросам топливной экономичности и вредным выбросам. Но при этом автомобиль не должен терять динамические характеристики и гарантировать высокий уровень комфорта.

Сегодня мы наблюдаем бурное развитие систем электроники и автоматики на транспорте. Главным образом современные автомобили иностранного производства активно насыщаются комплексами обеспечения эффективности движения и безопасности. В этой части мы наблюдаем определенное отставание наших ведущих автопроизводителей. Между тем разработка и внедрение электротехнических и электронных комплексов обеспечения эффективности эксплуатации для перспективных АТС является ключевой задачей, решение которой позволит улучшить показатели автономности, безопасности и комфорта эксплуатации ЭМБ и АКЭУ.

Именно поэтому рассмотрим комплекс математических имитационных компьютерных моделей определяющих работу перспективных электронных систем ДВС АКЭУ:

- система регулирования скорости движения автомобиля;

- система изменения фаз газораспределения;
- система «Старт – Стоп».

2.1. Имитационная модель системы регулирования скорости

Общие положения о системе регулирования скорости

Система регулирования скорости определяет механизм управления дроссельной заслонкой в режимах поддержания и ограничения скорости. Сущность реализации соответствующей системы заключается в том, чтобы регулировать угол открытия дроссельной заслонки, и тем самым изменять величину наполнения воздухом в цилиндрах двигателя, что позволяет менять крутящий момент двигателя и как следствие осуществлять регулирование скорости транспортного средства. При этом происходит имитация действий водителя при нажатии педали акселератора.

В режиме поддержания скорости система осуществляет регулирование открытия дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала для поддержания заданной скорости движения на ровном участке дороги. При езде на подъем происходит открытие заслонки на некоторую величину, для достижения заданной скорости. При движении на спуск система прикрывает дроссельную заслонку, чтобы избежать чрезмерного ускорения. Помимо этого существуют подсистемы, отвечающие за безопасность и ограничивающие пределы регулирования. У водителя имеется возможность осуществить обгон, а после вернуться к заданной скорости. Система позволяет водителю произвести переключение передачи и автоматически продолжить движение с заданной скоростью.

В режиме ограничения скорости система активна, но осуществляет регулирование скорости только при достижении заданного порога ограничения.

При достижении порога скорости, при неполном нажатии на педаль акселератора, система поддержания скорости перехватывает управление дроссельной заслонкой. При отпускании педали скорость снижается и уже не поддерживается функцией регулирования.

Процесс регулирования скорости базируется на нескольких основных функциях, отвечающих за быстроту и плавность движения. В составе системы регулирования присутствуют подсистемы, которые отвечают за управление и безопасность. При структурировании модели регулирования скорости необходимо учесть обязательные компоненты обеспечивающие полноту реализации процесса: фильтр скорости второго порядка; компоненты определения режима регулирования и управления уставкой и типом функции регулирования; компонент управления ускорением и замедлением автомобиля; компонент регулирования положения дроссельной заслонки: интегрирующее звено; компонент приостановки процесса регулирования скорости при изменении номера передачи трансмиссии; компонент расчета длительности отклонения от заданной скорости; компонент деактивации при резком изменении ускорения и реакции на ускорение.

Фильтр скорости второго порядка

Фильтр позволяет выполнить сглаживание входного сигнала скорости, и тем самым осуществляет плавную регулировку выходного коэффициента, определяющего процент открытия дроссельной заслонки, за счет чего устраняются хлопки и резкие изменения положения дросселя, обеспечивается плавная регулировка скорости транспортного средства. Для регулирования скорости движения автомобиля наиболее подходящим является всепропускающий фильтр второго порядка, имитационная математическая модель которого, выполненная в среде Matlab Simulink, представлена на рис. 2.1.

К входу фильтра (рис. 2.1) подключен источник входного сигнала единичного ступенчатого импульса Step signal.

Константы C_1 , C_2 , C_3 определяют работу фильтра и выбираются из соотношений:

$$C_4 = C_1 + C_2 + C_3, \quad (2.1)$$

$$C_4 = 1, \quad (2.2)$$

$$C_1 = C_2 = 1/20. \quad (2.3)$$

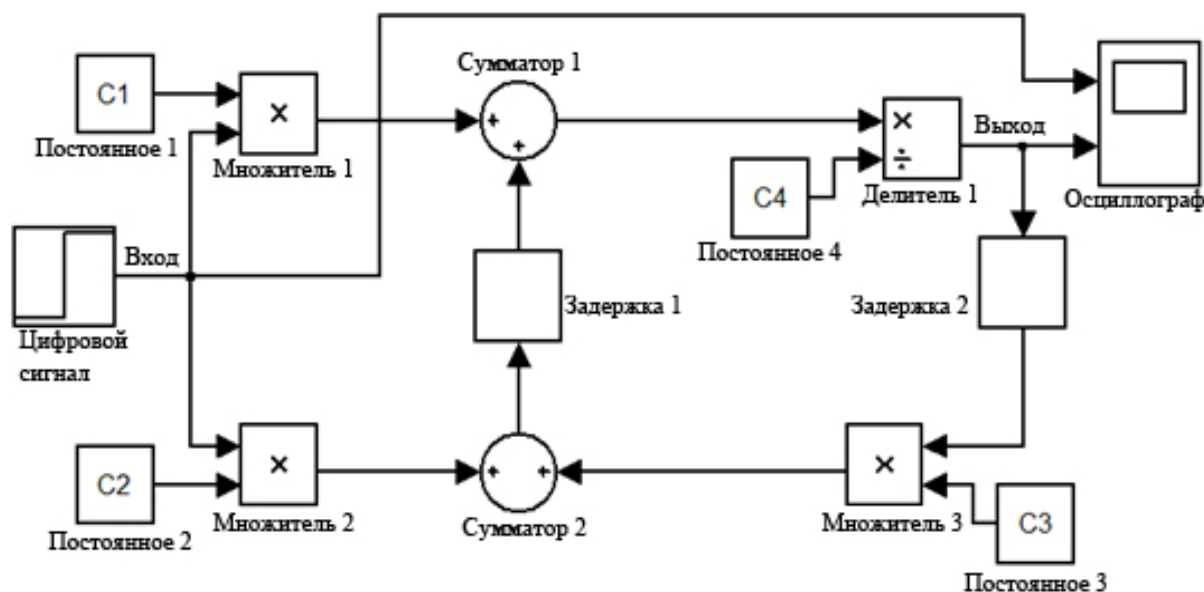


Рис. 2.1. Имитационная математическая модель фильтра скорости второго порядка

При разработке математической имитационной модели регулятора скорости использовалась бинарная система исчисления, при этом все переменные представляют собой восьми и шестнадцати битные числа. Таким образом, за единицу принимается максимальное значение восьми или шестнадцати бит, т.е. 255 или 65535.

На вход фильтра подается импульс с амплитудой равной 50 км/ч, что позволяет имитировать изменение скорости (рис. 2.2). В реальных условиях скорость не может измениться скачком из-за инерции транспортного средства. При изменении шага дискретизации, опытным путем определяем оптимальную частоту цикла дискретизации на уровне 100 Гц.

Определение режима регулирования

С учетом того, что в процессе движения автомобиля возникают условия скоростной неравномерности, изменения динамических характеристик и нагрузки, процесс регулирования скорости должен осуществляться в соответствии с текущим состоянием движения. Поэтому существует три режима работы системы регулирования скорости: режим регулирования при постоянном движении; режим регулирования во время ускорения (спуск с горы); режим регулирования во время замедления (подъем в гору).

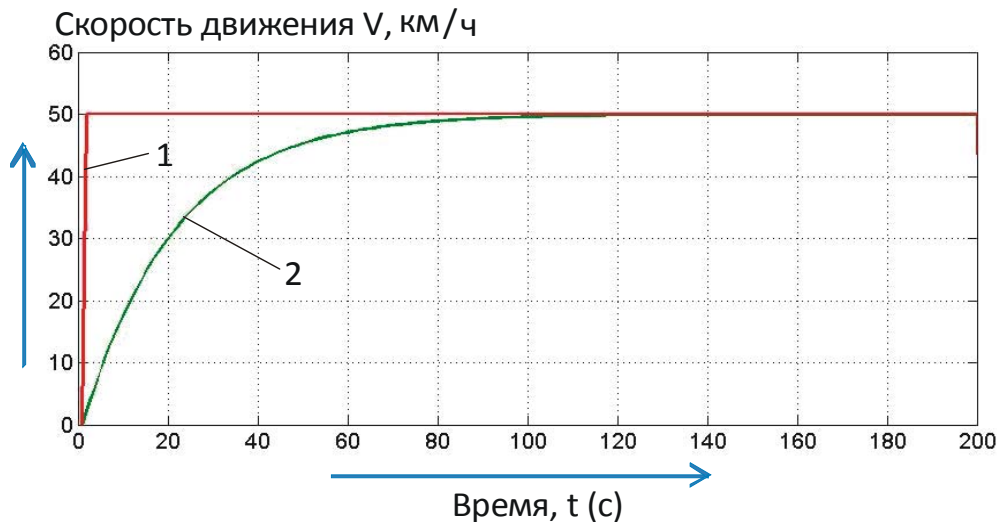


Рис. 2.2. График фильтрации скорости автомобиля среде Matlab:
1 – входной ступенчатый импульс скорости;
2 – значение скорости на выходе фильтра

Иллюстрацией выбора режима регулирования является график (рис. 2.3) на котором представлены зависимости дифференциальной скорости ($VS_{diffraw}$) от ее предварительного значения.

Режим постоянного движения расположен в пределах

$$C_{VSdiffneg}(\text{замедление}) < VS_{diffraw} < C_{VSdiffpos}(\text{ускорение}). \quad (2.4)$$

Константы $C_{VSdiffneg}$ и $C_{VSdiffpos}$ определяют пределы, при которых считается, что автомобиль движется с постоянной скоростью, ускоряется или замедляется. Значения констант принимаются равными:

$$C_{VSdiffneg} \text{ (замедление)} = -2 \text{ км/ч};$$

$$C_{VSdiffpos} \text{ (ускорение)} = +2 \text{ км/ч}.$$

В постоянном режиме движения происходит регулировка угла открытия дроссельной заслонки в небольших пределах. Величина добавки при отклонении скорости и изменении числа оборотов в данном режиме небольшая. В этом режиме предполагается равномерное движение автомобиля по ровной поверхности в пределах отклонения скорости, ограничиваемом калибровочными константами.

В режиме ускорения или замедления осуществляется быстрое регулирование скорости. Величина открытия дроссельной заслонки зависит от следующих факторов: отклонение скорости от уставки; изменение оборотов двигателя; градиент ускорения; номер передачи коробки переключения передач (КПП) и ее тип.

Уставка скорости определяет величину скорости, которую необходимо поддерживать в режиме поддержания и которую следует ограничивать в режиме ограничителя. Уставка хранится в памяти микроконтроллера на протяжении работы функции.

Характеристикой режима является то, что регулирование скорости происходит быстро, но вместе с тем плавно.

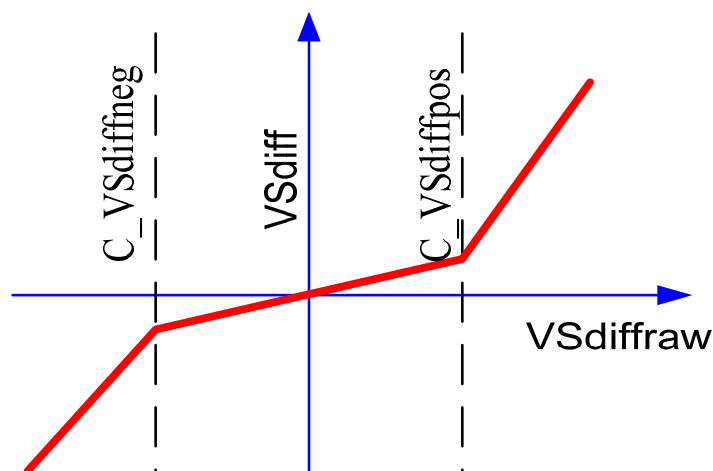


Рис. 2.3. Определение режима регулирования скорости

При переходе от одного режима движения к другому меняются коэффициенты регулирования дроссельной заслонкой, при этом исключаются ее хлопки и дребезг, приводящие к заклиниванию или износу.

Для всех трех режимов имеется один общий параметр, называемый уставкой скорости.

Управление уставкой и типом функции регулирования

Уставка *VSPconst* (Vehicle setpoint const) является целевым параметром для поддержания скорости транспортного средства, а уставка *VSPlimit* (Vehicle setpoint limit) служит для ее ограничения. Обе уставки имеют размерность соответствующую значению скорости автомобиля после прохождения фильтра скорости второго порядка. Значение параметра скорости в функции времени движения после прохождения фильтра отстает от реальной величины скорости автомобиля (рис. 2.4).

Процесс выбора алгоритма регулирования (рис. 2.5) осуществляется в зависимости от соотношения параметров поддержания и предела скорости и реализуется через управляющий бит *B_cl* (constant or limitation – постоянное или ограничивающее). По умолчанию выбирается процесс поддержания заданной скорости.

Для данного случая соответствует нижнее положение переключателя (рис. 2.5). При выбранном, но не активном процессе поддержания скорости величина «Выходной сигнал» *QCout* (Quantify Control out) равняется нулю, а величина положения педали, зависящая от водителя, передается в основную модель управления электронной педалью в виде сигнала «Действительное положение педали» *QSpedalIN* (Quantify Control of pedal demand), которая впоследствии определяет угол открытия дроссельной заслонки.

В случае если функция ограничения скорости выбрана и активна, то переключатель (рис. 2.5) находится в верхнем положении и ре-

гулировка дроссельной заслонки осуществляется исходя из условий минимума. При достижении заданной скорости автомобиля будет осуществляться перехват управления процессом регулирования скорости, и происходит стабилизация по заданному пределу скорости в функции времени (рис. 2.6).

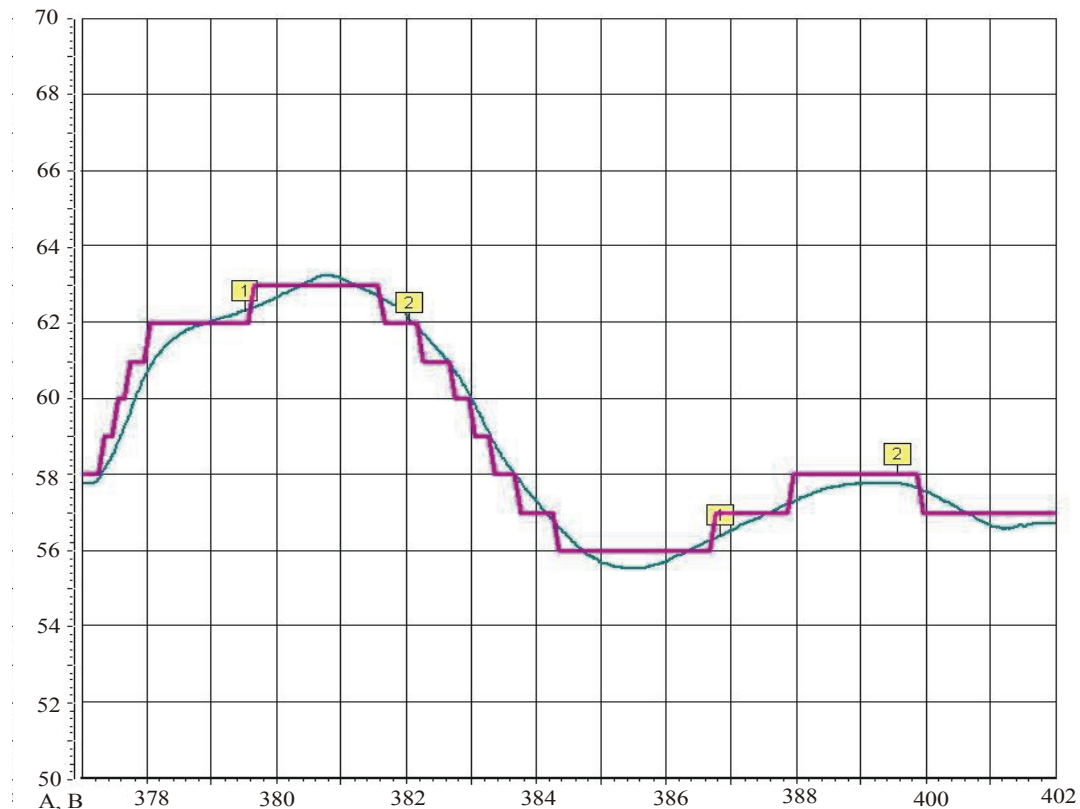


Рис. 2.4. Процесс фильтрации параметра скорости автомобиля в функции времени (с.), получаемой с дискретностью в 1 км/ч. 1 – фильтрованное значение скорости, км/ч (шкала А); 2 – значение скорости, получаемое от датчика скорости, км/ч (шкала В)

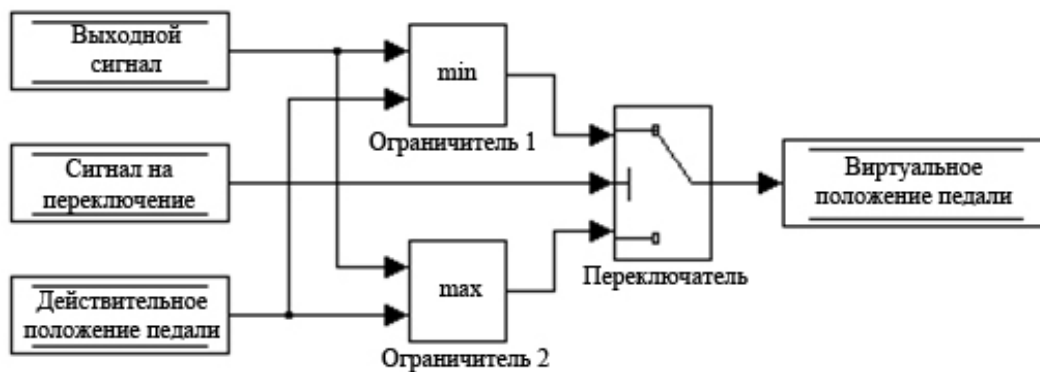


Рис. 2.5. Имитационная математическая модель выбора типа функции регулирования

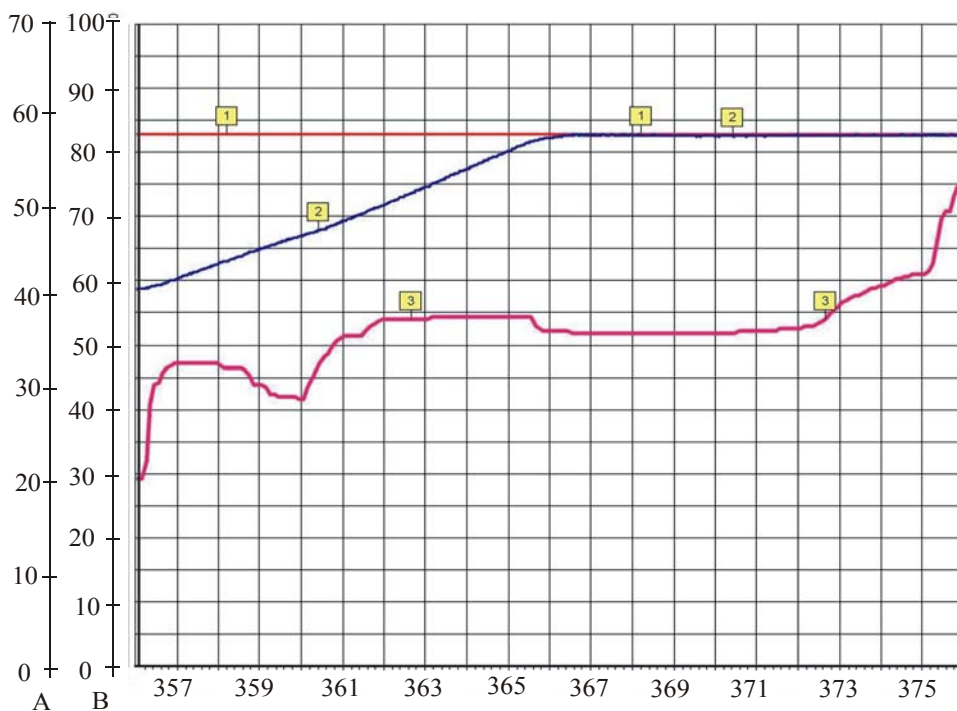


Рис. 2.6. Регулирование скорости в режиме ограничения:
 1 – уставка VSPLimit скорости, км/ч (шкала A);
 2 – кривая реальной скорости автомобиля, км/ч (шкала A);
 3 – величина нажатия на электронную педаль акселератора, % (шкала B)

Запись установки уставки скорости и активация функции в режиме поддержания скорости

Для режима поддержания скорости запись уставки и активация производится копированием текущего значения скорости в ячейку памяти, в которой она впоследствии хранится на протяжении времени работы процесса. При этом обязательно производится инициализация компонента интегратора начальными значениями, соответствующими текущему углу открытия дроссельной заслонки. В момент активации разрешается работа базовой функции ПИ регулирования положения дроссельной заслонки, в переменную QCpedalN (рис. 2.5) попадает значение, соответствующее текущей величине нажатия на педаль акселератора.

Запись уставки скорости и активация функции в режиме ограничения скорости

Для режима ограничения скорости нет необходимости производить инициализацию интегратора, поскольку активация может произ-

водиться как на неподвижном, так и на движущемся автомобиле. Инициализация интегратора может привести к ложному открытию дроссельной заслонки, что приведет к броску оборотов двигателя. При этом производится копирование уставки скорости из памяти постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) в переменную VSPlimit и последующая активация функции путем включения разрешающего бита базовой функции поддержания скорости.

Прибавление и убавление уставки

При добавлении уставки производится добавление числового значения одновременно к двум переменным. Первая отвечает за текущее значение уставки, а вторая хранится для режима восстановления скорости из памяти микроконтроллера. Переменные имеют одинаковую размерность. В текущий момент времени, они определяются как целевые VSPlimit и VSPconst, а те, что хранятся в памяти для режима восстановления заданного значения скорости, называются референсные VSPlimit0 и VSPconst0 (через ПЗУ или флеш карту).

Для обеспечения плавной регулировки скорости на момент добавления уставки необходимо осуществлять фильтрацию значения уставки скорости фильтром второго порядка для случаев, когда величина добавки составляет более чем 3 км/ч. В противном случае резкая добавка приведет к резкому ускорению и некомфортным ощущениям водителя.

Процесс пошагового добавления уставки осуществляется прибавлением числа к текущему целевому значению, а затем копированием этого значения в референсную переменную. При этом максимальное и минимальные возможные значения уставки ограничиваются калибровочными константами и должны быть целыми положительными числами.

Убавка уставки осуществляется отниманием калибруемой константы от переменных VSPlimit и VSPconst, и одновременным копированием значений в референсные переменные VSPlimit0 и VSPconst0.

На рисунке 2.7 показан процесс добавления уставки скорости на движущемся АКЭУ в режиме поддержания скорости в функции времени. При увеличении или уменьшении уставки на некоторую величину, функция регулирования меняет положение дроссельной заслонки, что приводит к изменению количества воздуха в цилиндрах и впоследствии увеличению или уменьшению оборотов двигателя и как следствие скорости АТС.

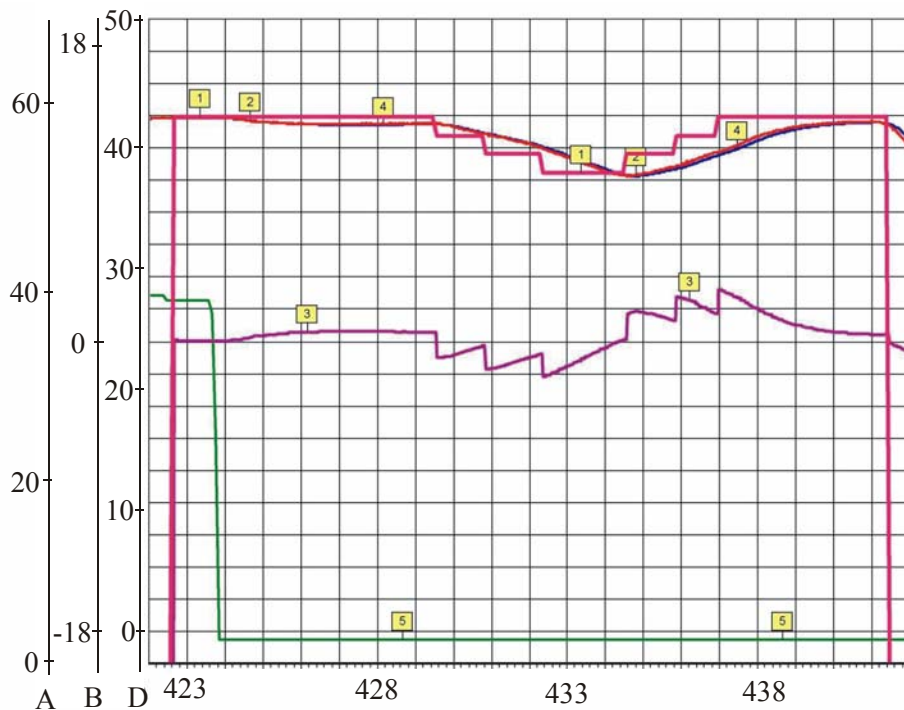


Рис. 2.7. Режим поддержания скорости в функции времени:

- 1 – величина уставки для режима поддержания скорости, км/ч (шкала A);
- 2 – кривая реальной скорости автомобиля, км/ч (шкала D);
- 3 – дифференциальная скорость автомобиля, км/ч (величина рассогласования скорости, шкала B);
- 4 – фильтрованная скорость, км/ч (шкала D);
- 5 – процент нажатия на педаль, % (шкала D)

Управление ускорением и замедлением АКЭУ

В случае если необходимо увеличить или уменьшить скорость автомобиля относительно действующей уставки используют функцию ускорения и замедления. Процесс изменения скорости может достигаться различными способами. Первый способ путем воздействия на уставку. Второй – путем изменения угла открытия дроссельной за-

слонки. Отличие данных методов заключается в том, что при непосредственном воздействии на дроссельную заслонку скорость АТС изменяется, в зависимости от желания водителя. Данный метод применяется, но его использование сопряжено с рядом проблем, в числе которых безопасность работы процесса регулирования скорости и вероятность выхода из строя механизма управления дроссельной заслонкой. В свою очередь реализация метода увеличения скорости за счет воздействия на уставку занимает больше времени, но при этом является безопасным, так как не требует введение новых связей, отвечающих за базовые функции безопасности системы управления двигателем. Повышение скорости за счет повышения уставки может достигаться различными способами. Здесь возможно линейное и нелинейное изменение уставки.

На рисунке 2.8 показан процесс ускорения и замедления АКЭУ в функции времени путем воздействия на уставку скорости.

Интегрирующее звено

При регулировании скорости движения транспортного средства в составе функции поддержания и ограничения скорости присутствует интегратор. Интегратор является общим компонентом для трех режимов регулирования: постоянного, при ускорении и при замедлении. Имитационная математическая модель интегратора представлена на рис. 2.9.

На вход интегратора попадает величина «Изменение скорости» V_{Sdiff} и табличный коэффициент «N – интегратор» $FacIntegr$ (корректирующий коэффициент интегратора) зависящий от числа оборотов двигателя. После перемножения данных коэффициентов производится проверка условия разрешения работы интегратора « $En - интегратор$ » ($Enable\ of\ Integrator$ – разрешение сигнала работы интегратора, запуск основного алгоритма поддержания работы дроссельной заслонки). Если условие выполняется, то в интегратор попадает значе-

ние перемноженных коэффициентов, но если это условие не выполняется, то в нем находится величина инициализации «Результирующая скорость» ResV (Reset Value – уровень сигнала инициализации интегратора). Данный прием необходим для того, чтобы на момент активации функции в ней уже было значение соответствующее реальному положению дроссельной заслонки. На следующем этапе происходит ограничение выходной величины интегратора максимальным значением MaxIntegr (максимальная граница интегрирования) и минимальным значением MinIntegr (минимальная граница интегрирования) предела управления.

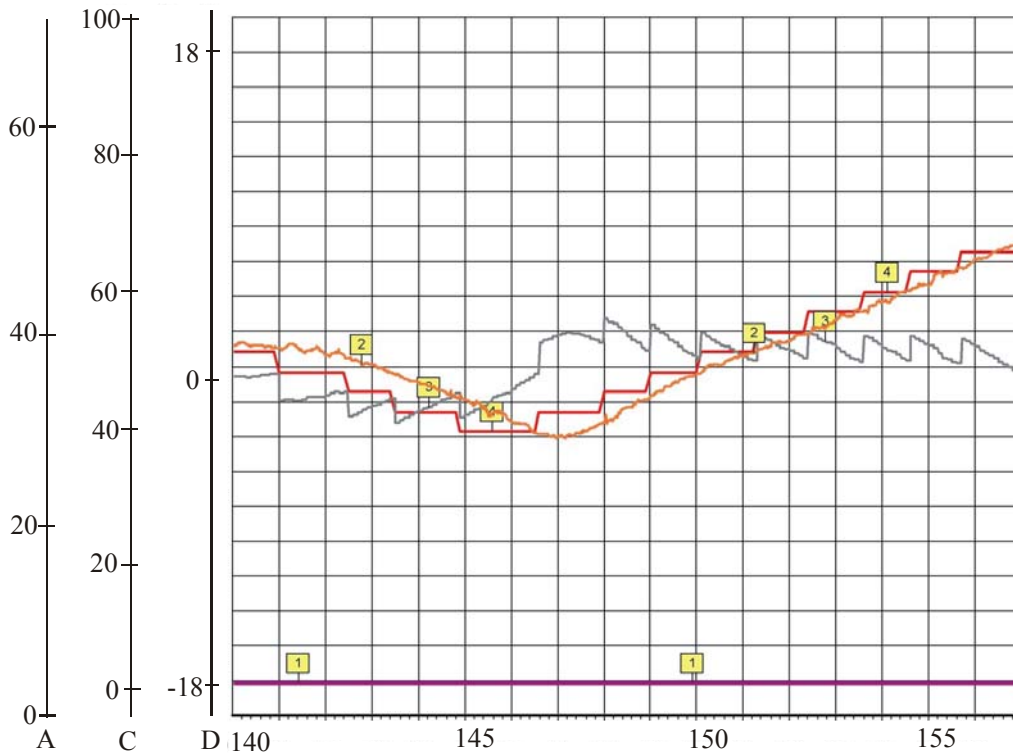


Рис. 2.8 Ускорение и замедление автомобиля в функции времени за счет изменения уставки скорости:

- 1 – процент нажатия на педаль, % (шкала C);
- 2 – текущая скорость автомобиля, км/ч (шкала C);
- 3 – дифференциальная скорость, км/ч (шкала D);
- 4 – уставка для поддержания скорости, км/ч (шкала A)

Значение с выхода интегратора суммируется с пропорциональной составляющей, и в результате получается величина QCont «Вы-

ходной сигнал интегратора», определяющая величину регулирующего воздействия на виртуальную педаль.

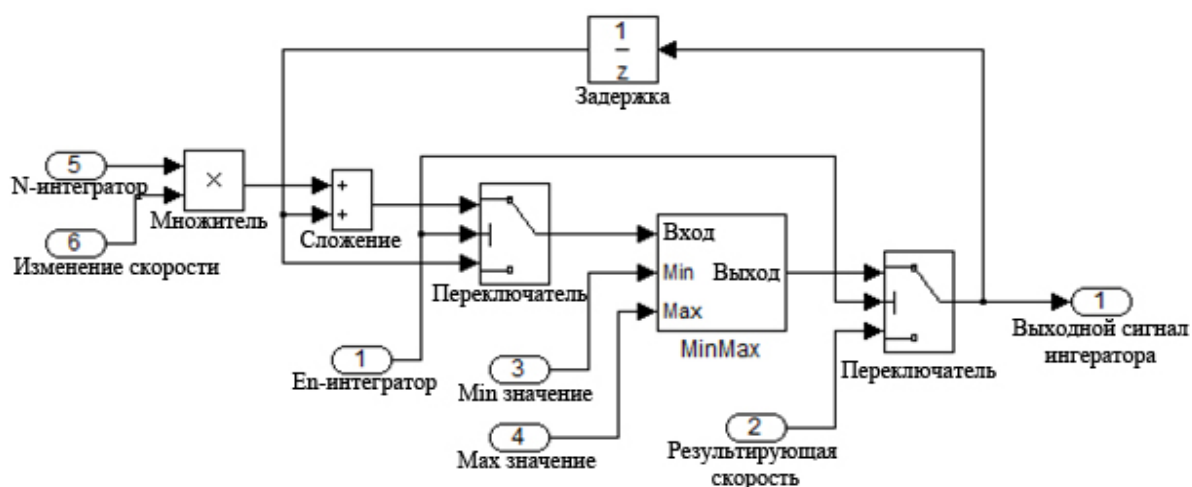


Рис. 2.9. Математическая модель интегрирующего компонента

Базовый компонент регулирования положения дроссельной заслонки

Предварительно в составе базовой функции регулирования необходимо рассчитать величину рассогласования уставки выбранной скорости и величины параметра скорости после прохождения фильтра второго порядка (рис. 2.10).

Величина рассогласования определяется разницей между фильтрованной скоростью и уставкой. Данное значение рассогласования является неточным, предварительным и в последующем будет скорректировано при помощи регулировочных констант.



Рис. 2.10. Расчет рассогласования скорости и уставки

После определения рассогласования скорости и уставки происходит процесс регулирования. В соответствии с этим выбирается одна или несколько элементов модели рис. 2.10. При переходе в подмодель проводится пересчет значения «Изменная скорость» (VS_{diff}). При этом с помощью констант «Установочное значение 1» ($C_{VS_{diff_fac}}$) и «Установочное значение 2» ($C_{VS_{diff}}$) осуществляется пересчет значения «Скорость транспортного средства» ($VS_{diffraw}$) для трех режимов движения:

– 1 режим постоянного движения

$$VS_{diff} = VS_{diffraw} \times C_{VS_{diff_fac}}; \quad (2.5)$$

– 2 режим ускорения

$$VS_{diff} = VS_{diffraw} \times C_{VS_{diff_fac}} + C_{VS_{diff}}; \quad (2.6)$$

– 3 режим замедления

$$VS_{diff} = VS_{diffraw} \times C_{VS_{diff_fac}} - C_{VS_{diff}}. \quad (2.7)$$

В составе базового компонента ПИ регулирования имеется функция инициализация интегратора, которая позволяет принимать начальное значение в соответствии с типом коробки переключения передач (механическая, автоматическая или роботизированная). Тип КПП определяется переменной Турегear.

Таким образом, определяющими факторами в инициализации интегратора являются: тип КПП, текущий номер передачи (отношение оборотов к скорости) и частота оборотов ДВС. После инициализации компонент выполняет основные действия по регулированию скорости (рис. 2.11, 2.12).

На рисунках 2.11, 2.12 и 2.13 номера характеристик и определяющих их шкал соответствуют, поэтому приведем необходимое описание один раз, под рис. 2.11.

Функция приостановки регулирования скорости на момент изменения передачи трансмиссии

При изменении переключении передачи необходима временная деактивация функции с последующим возобновлением. Данная необходимость возникает из-за того, что на момент отсоединения диска сцепления происходит неверное определение номера передачи, что может привести к тому, что функция произвольно деактивируется.

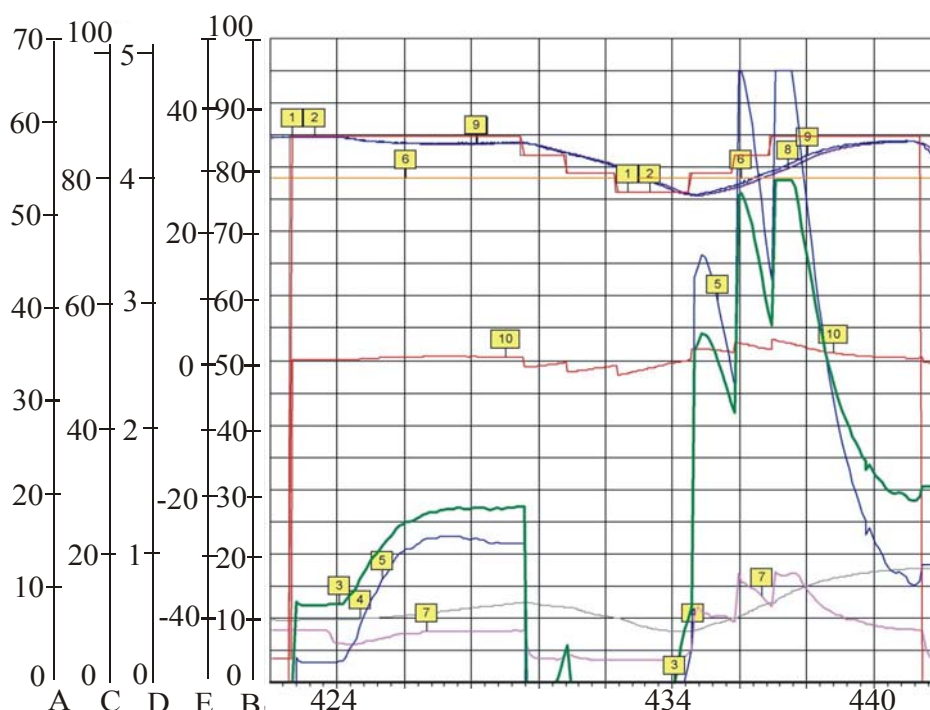


Рис. 2.11. Регулирование в режиме поддержания скорости: 1 – уставка для поддержания скорости, км/ч (шкала A); 2 – референсная уставка поддержания скорости, км/ч (шкала D); 3 – величина результирующего регулирующего воздействия, % (имитация нажатия на педаль акселератора, шкала C); 4 – значение на выходе интегральной составляющей регулирующего воздействия, (шкала C); 5 – значение на выходе пропорциональной части регулирующего воздействия (шкала C); 6 – номер передачи (dec, шкала D); 7 – величина открытия дроссельной заслонки, % (шкала B); 8 – фильтрованная скорость, км/ч (шкала C); 9 – реальная скорость, км/ч (шкала B); 10 – величина рассогласования уставки и скорости, км/ч (шкала E)

Процесс регулирования скорости в режиме ограничения скорости показан на рис. 2.12.

Также это может привести к тому, что в момент переключения передачи КПП дроссельная заслонка полностью откроется, и резко

возрастут обороты двигателя. Поэтому в момент переключения передачи КПП в модели производятся действия: удаляется уставка из памяти переменной $VSPconst$ или $VSPlimit$, но остается храниться в переменной $VSPlimit0$ и $VSPconst0$; запускается таймер для определения длительности переключения передачи. Если значение таймера достигло калибруемой константы $C_timGear$ (время переключения передачи КПП), то функция деактивируется. После отпущания педали сцепления производится запуск другого таймера, который считает в сторону уменьшения от калибруемого значения $C_timClutch$ (время синхронизации работы системы сцепления и ДВС), после которого производится сравнение номера передачи и принятие решения о деактивации функции или не деактивации. В момент, когда педаль сцепления отпущена, производится возврат уставки из памяти переменных $VSPlimit0$ и $VSPconst0$ в память переменных $VSPlimit$ и $VSPconst$.

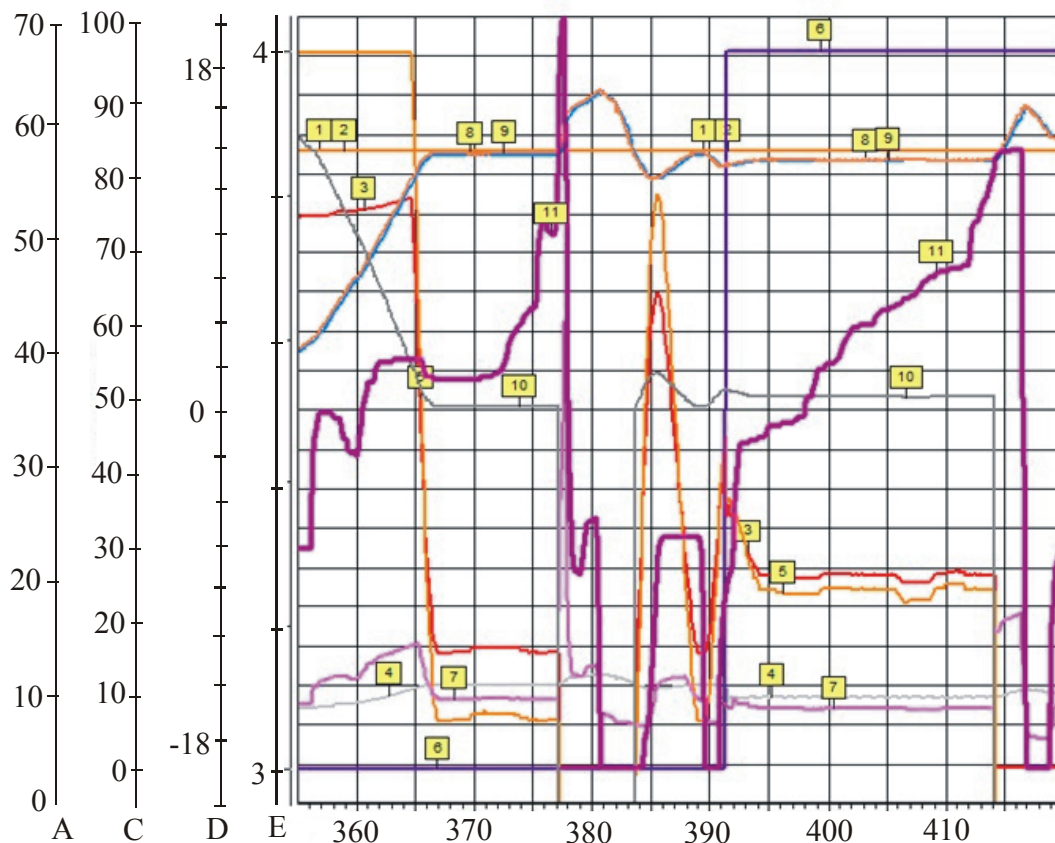


Рис. 2.12. Регулирование в режиме ограничения скорости в функции времени

Таким образом, реализация алгоритма переключения позволяет исключить ложные деактивации функции и дает возможность правильно определить номер передачи при движении на подъем или на спуск.

Переключение передачи и поведение дроссельной заслонки в режиме поддержания скорости представлено на рис. 2.13.

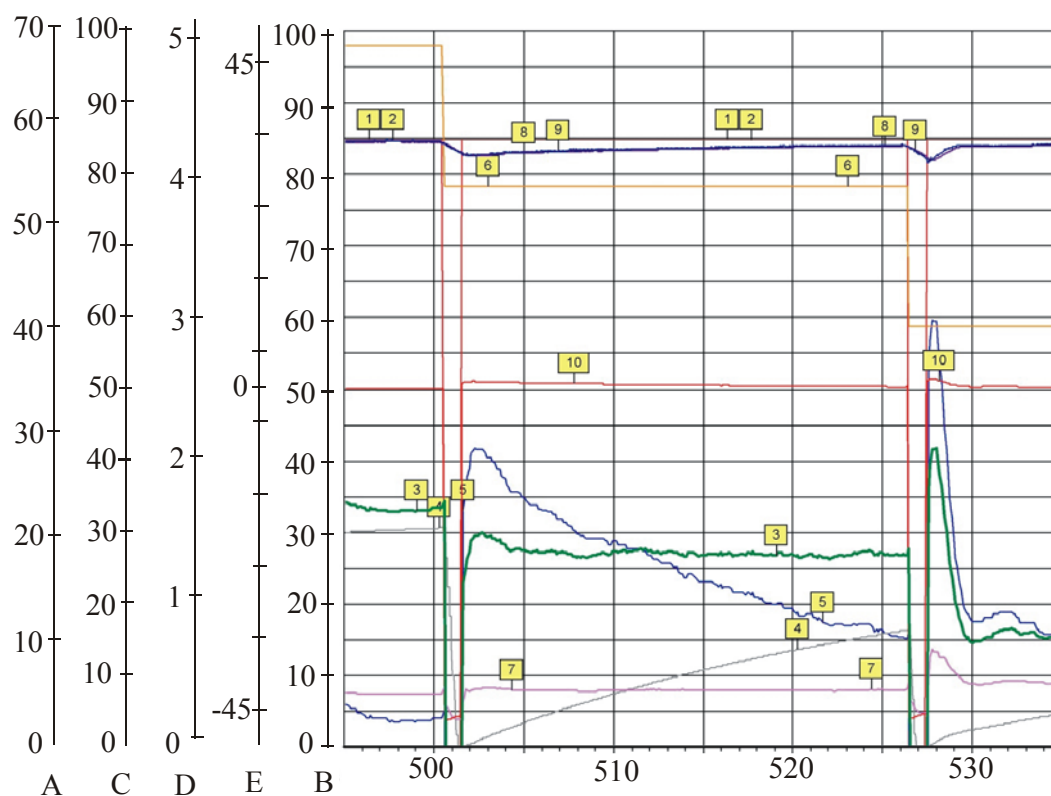


Рис. 2.13. Процесс регулирования скорости в функции времени в режиме переключения передач КПП

Компонент расчета длительности отклонения от заданной скорости

Компонент необходим для безопасного регулирования скорости транспортного средства. Предполагается, что при крутом подъеме, когда функция не способна поддерживать заданную скорость, или, наоборот, при быстром спуске, необходимо передать управление дросселем водителю и при этом произвести деактивацию компонента.

Вторым назначением функции является помощь водителю в достижении заданной скорости движения в зависимости от длитель-

ности отклонения от уставки. Предполагается что при большом отклонении от уставки недопустимо резкое увеличение скорости, а необходимо постепенно возвращаться к заданной скорости путем плавного приоткрытия дросселя на необходимую величину и в последующем возвращать его в оптимальное положение для дальнейшего поддержания заданной скорости.

Третье назначение это функция безопасности. Если ускорение или замедление с отклонением от уставки по длительности превышает заданную константу, тогда производится деактивация функции поддержания или ограничения скорости.

Ограничение и деактивация процесса регулирования

Ограничение и деактивация процесса регулирования скорости необходимы при условиях, когда процесс работает в недопустимых режимах. При этом необходимо обеспечить его немедленную деактивацию. Различают два типа компонентов деактивации и ограничений: ограничение процесса поддержания скорости; отключение компонента ограничителя скорости.

Разработанные модели представляют собой универсальный комплекс позволяющий разрабатывать компоненты других электронных систем автомобиля: системы автоматической парковки и адаптивной системы поддержания скоростного режима.

2.2. Реализация электронной системы регулирования скорости движения АКЭУ в режимах поддержания и ограничения скорости

Система регулирования скоростью движения охватывает электронные модули управления автомобилем (рис. 2.14). Информационный обмен между модулями (см. рис. 2.14) осуществляется по шине CAN 500 kbod/s. Среди наиболее перспективных принципов организа-

ции архитектуры обмена информацией между модулями выделяется так называемый кольцевой принцип, который использует контроллер управления системой (GATEWAY), представляющий собой отдельный модуль управления. Достоинством кольцевой организации обмена данными является то, что в случае обрыва в шине, передача данных осуществляется по оставшейся связи. Особенности такой архитектуры шины является и то, что в случае, когда все модули не активны, их инициализация может быть выполнена отправкой сообщения из любого модуля системы. При этом важным фактором является то, что каждый контроллер, который подключен к шине, должен быть активирован и быть готовым к приему и отправке информации не позднее чем через 100 мс с момента появления сигнала активации на шине.

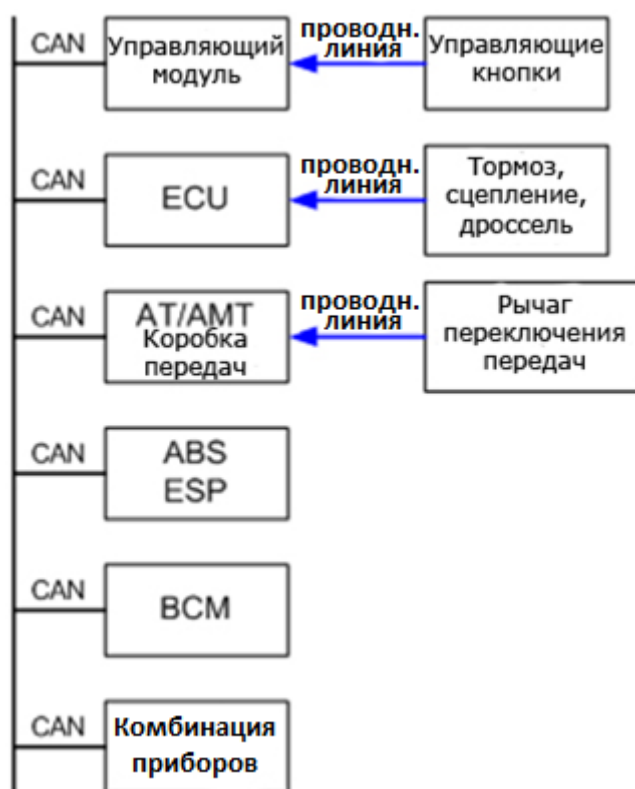


Рис. 2.14. Модули системы регулирования скорости движения легкового автомобиля

Control module – управляющий модуль; ECU – контроллер системы управления ДВС; AT/AMT Gearbox – автоматическая / роботизи-

рованная коробка переключения передач (КПП); ABS, ESP – антиблокировочная система, электронная система стабилизации траектории движения; BCM – центральный блок кузовной электроники; Combi instrument – комбинация приборов; Control buttons – кнопки управления; Brake, Clutch, Throttle – тормоз, сцепление, дроссельная заслонка; проводная связь; CAN – линия информационной связи

Физический уровень сигналов передаваемых по шине CAN показан рис. 2.15. Скорость шины 500 kbod/s, погрешность +/- 0,1%, допуск на искажение длительности импульса +/- 0,1%. Активной считают область импульса в промежутке от 65 до 85% его длительности. Для обеспечения корректного функционирования всех модулей процент загрузки шины CAN не должен превышать 50%. Для проверки соответствия данного требования широко используют прибор CANalyser фирмы Vector. Данное устройство позволяет читать сообщения и имитировать их с заданными параметрами, производить анализ загрузки шины.

Шина CAN должна обладать стабильностью во всем температурном диапазоне эксплуатации автомобиля на протяжении 10 лет. Такие же требования предъявляются к компонентам шины. Рекомендуется соблюдение требований стандарта ISO 11898.

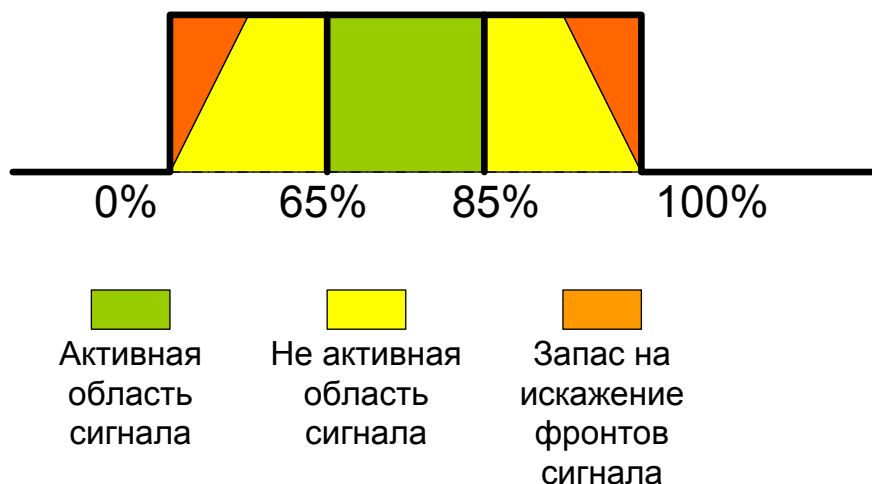


Рис. 2.15. Физический уровень сигнала шины CAN

Работа программно-аппаратного комплекса системы регулирования

После подачи первичного импульса напряжения (KL15) каждый модуль должен активироваться не позднее чем в течение 100 мс и быть готовым к приему и передаче сообщений. Первое сообщение должно уйти от каждого контроллера и быть принято остальными модулями не позднее 100 мс с момента первичного сигнала (KL15).

Модуль управления (Control module) соединен с управляющими кнопками посредством проводного соединения. Он может быть выполнен с использованием канала АЦП микроконтроллера или специализированных микросхем: демультимплексоров, с интерфейсными шинами 1-wire. Данный способ используется для сокращения числа проводов между модулем управления, джойстиком и кнопками. Предпочтение отдается АЦП как наиболее дешевому способу для декодирования состояний нажатия кнопок. Кроме того, данный способ позволяет осуществлять диагностику обрыва линии связи кнопок и управляющего модуля. При этом модуль управления осуществляет диагностику проводного соединения клавиш, выполняет антидребезговые функции, а лишь потом определяет наличие нажатия клавиши и вычисляет длительность информационных сигналов.

Информационные потоки, характеризующие работу тормозной системы и отражающие физическое положение дроссельной заслонки попадают в контроллер управления ДВС (ECU). При нажатии на педаль тормоза происходит срабатывание первой контактной пары выключателя педали тормоза, после чего происходит срабатывание второй контактной пары. Первая контактная пара отвечает за работу стоп-сигнала (BLS), а вторая – за тестирование сигнала нажатия педали тормоза (BTS). Период времени между срабатыванием первой и второй контактной пары не превышает установленное значение

100 мс. При этом конструкция выключателя организована так, что в ней отсутствует дребезг контактов при нажатии на педаль. В случае отсутствия сигнала BTS в заданный интервал времени или появления его первым при нажатии на педаль тормоза, должна включаться система диагностики, которая для безопасности эксплуатации автомобиля может обеспечить отключение функции регулирования скорости.

Идентификация сигнала нажатия на педаль сцепления может быть реализована как программно, так и аппаратно. Программный метод позволяет распознать нажатие педали по изменению числа оборотов двигателя (которые определяются с помощью датчика положения коленчатого вала) по отношению к скорости автомобиля. В настоящее время для реализации данной функции, наиболее широкое применение нашли бесконтактные датчики педали сцепления и педали тормоза, основанные на эффекте Холла. Такие датчики позволяют с высокой точностью и быстродействием оповестить контроллеры о факте нажатия на ту или иную педаль. Они не прихотливы к внешним условиям эксплуатации и обладают повышенным сроком службы.

Дроссельная заслонка, подключенная к контроллеру управления двигателем, выполняет основную функцию регулирования скорости. В дроссельной заслонке имеется два датчика, представляющие собой потенциометры, которые позволяют контролировать величину открытия дроссельного патрубка. При обнаружении неисправности потенциометров, система диагностики производит деактивацию функции управления скоростью. При этом дроссельная заслонка приобретает приоткрытое «парковочное» положение. В таком положении дроссельной заслонки двигатель способен работать на холостом ходу и транспортное средство имеет возможность осуществлять дальнейшее движение в режиме постоянной скорости.

В зависимости от типа трансмиссии установленной на АКЭУ система переключения передач КПП управляется либо механически, либо с помощью электропривода. К системе регулирования скоростного режима можно адаптировать три типа КПП: механическую (МКПП); автоматическую (АКПП); роботизированную (РКПП).

Реализация различных типов КПП в составе АТС определяет особенности поведения системы регулирования скорости движения. В случае механической КПП, при переключении передач наблюдается некоторое запаздывание сцепления нажимного и выжимного дисков, что создает сложности при определении и текущей передачи, вплоть до момента полного сцепления. Самым простым способом решения этой проблемы является использование счетчика с калибровочной константой, в котором задается длительность отпуска педали сцепления (срабатывание контактных групп выключателя). После этого определение передачи считается корректным. По скорости изменения соотношения числа оборотов и скорости движения можно спрогнозировать номер передачи, который будет определен через определенный промежуток времени.

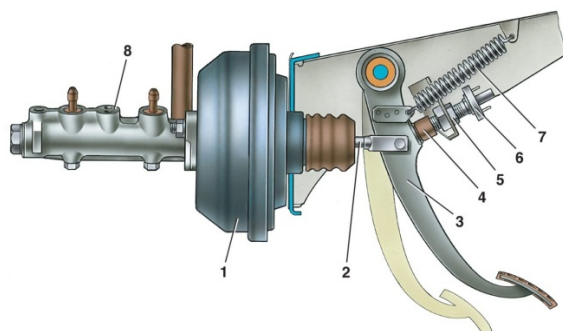
Главной особенностью автоматических и роботизированных типов трансмиссии является то, что переключение передач осуществляется посредством электроприводов. При этом важно обеспечить правильную логику обмена сообщениями по шине CAN между коробкой передач (АТ/АМТ Gearbox) и контроллером управления двигателем (ECU). Любые ошибки могут привести к критическим последствиям. Например, включение пониженной передачи на высокой скорости.

Основным компонентом системы регулирования скорости движения АКЭУ (рис. 2.14) конечно является контроллер управления ДВС. Именно он принимает решения связанные с активацией или деактивацией и запретом функции регулирования скорости. Централь-

ный блок кузовной электроники (BCM) берет на себя функции связанные с безопасностью и диагностикой системы.

Компонентную область системы регулирования скоростного режима составляют исполнительные элементы и органы управления, представленные на рис. 2.16.

1. Педаль (выключатель) тормоза



1 – гидроусилитель, 2 – шток, 3 – педаль, 4, 5, 6 регулировочный контактный механизм, 7 – возвратная пружина, 8 – главный тормозной цилиндр

2. Педаль (выключатель) сцепления



3. Педаль акселератора (потенциометр)



4. Рычаг (выключатель) стояночного тормоза



5. Дроссельная заслонка (привод и потенциометр)



6. Рычаг переключения передач



Рис. 2.16. Основные компоненты системы регулирования скорости движения легкового АКЭУ

Для высокого уровня качества функционирования системы регулирования скорости движения, необходимо обеспечить: заданный физический уровень шины (форма сигнала, уровень напряжение, смещение и искажение); соответствующий программный уровень. Контроллеры, подключенные к шине должны выполнять отправку и прием обозначенных информационных потоков. При этом некоторые из них должны отправляться или приниматься в заданном цикле, а другие по событию.

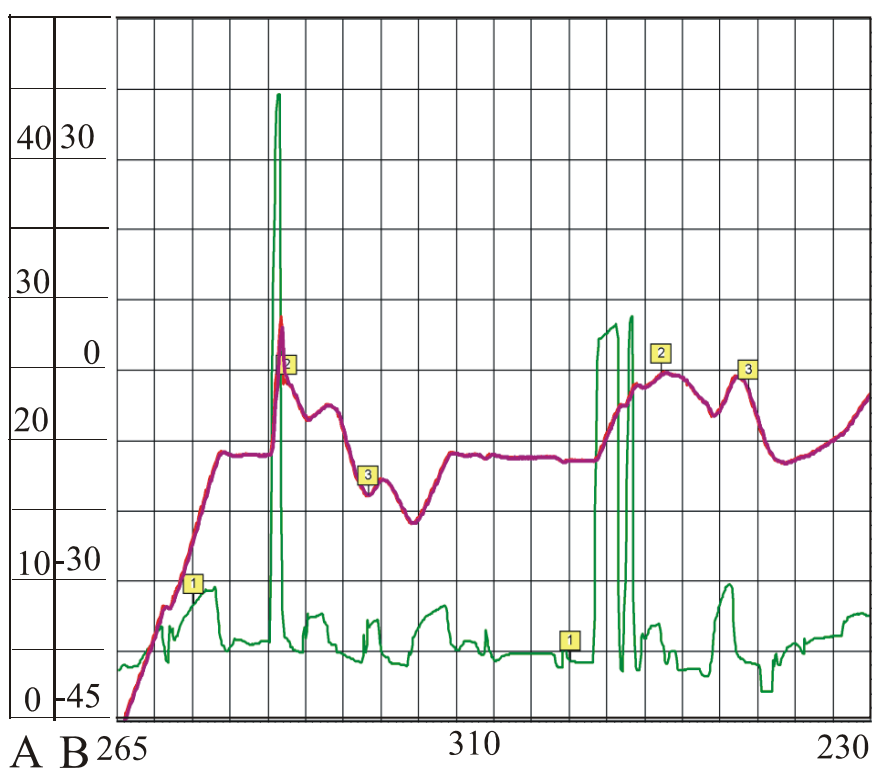


Рис. 2.17. Диаграммы проверки работы всепропускающего фильтра в функции времени с: 1 – положение дроссельной заслонки (%), 2 – скорость автомобиля км/ч; 3 – фильтрованная скорость (км/ч)

Проверка и адаптация системы регулирования скоростного режима. Первоначально проверяется работа всепропускающего фильтра. Данная функция является основой работы системы регулировки скорости, поэтому от качества ее работы зависит плавность регулировки. Функция фильтра программируется в контроллер управления ДВС вместе с основным программным обеспечением. На

АКЭУ устанавливается регистрирующее устройство, позволяющее проводить записи параметров в режиме реального времени. При проведении тестового заезда, регистрируются входные и выходные параметры фильтра. При этом производится корректировка коэффициентов фильтрации и определяются желаемые временные характеристики работы. Процесс проверки всепропускающего фильтра представлен на рис. 2.17.

Определение рассогласования заданной скорости

Для того чтобы осуществлять регулирование скорости определяют величину отклонения (рассогласования) заданной скорости от фактической. Данный механизм позволяет определить значение отклонения заданной в системе скорости от фактической. Соответствующая диаграмма оценки рассогласования скорости представлена на рис. 2.18.

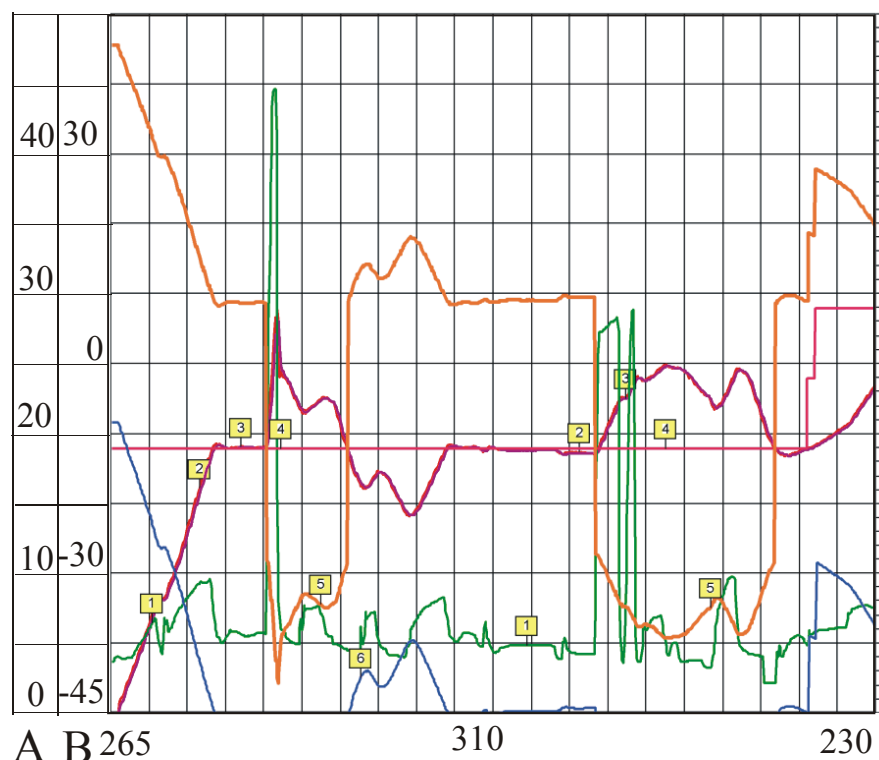


Рис. 2.18. Диаграмма, оценки рассогласования скорости, в функции времени с:
 1 – положение дроссельной заслонки (%); 2 – скорость автомобиля (км/ч);
 3 – фильтрованное значение скорости (км/ч); 4 – уставка скорости для режима ограничения (км/ч); 5 – дифференциальная скорость (величина рассогласования, км/ч); 6 – скорректированное значение рассогласования скорости (км/ч)

Отладка функций пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора

Для соответствующей отладки работы ПИ регулятора реализуются алгоритмы работы системы при движении АКЭУ по ровной дороге. Предварительно заполняются калибровочные таблицы для ПИ регулятора, что обеспечивает процесс инициализации табличного коэффициента для интегральной части регулятора в соответствии с текущим положением дроссельной заслонки.

Таким образом, показана система регулирования скоростного движения АКЭУ с реализацией функции централизации управления, в рамках единого комплекса, что обеспечивает более эффективную работу всех электронных модулей АТС за счет разделения информационных потоков по уровню приоритета.

2.3. Моделирование и реализация системы изменения фаз газораспределения (VVT) автомобилей с КЭУ

При разработке и моделировании алгоритма системы управления двигателем с VVT разработчики сталкиваются с проблемой синхронизации зубчатого диска коленчатого вала и распределительного вала, а также определения текущего положения распределительного вала, которое является основным входным параметром для алгоритма управления двигателем с изменяемыми фазами. Именно этот параметр используется для расчета уставки положения распредвала и в алгоритме ПИД регулирования.

Для решения этой задачи применяются программно-аппаратные алгоритмы синхронизации коленчатого вала и распредвала. Данные алгоритмы используют входные сигналы от датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) для определения текущего положения поршней в цилиндрах, расчета искры зажигания и момента подачи топлива. По

сигналу с датчика фазы (ДФ) определяется текущее положение распределителя и номер такта двигателя для быстрой синхронизации.

Общие принципы синхронизации по сигналу с датчика положения коленчатого вала приведены на рисунке 2.19. Для обеспечения базовой синхронизации по коленчатому валу используется группа таймеров из модуля таймеров общего назначения GPT (General Purpose Timers) и подключенный к ним регистр захвата/перезагрузки CAPREL. Таймер T1 предназначен для отсчета периода следования зубьев, а T2 предназначен для генерации виртуальных дискретных зубьев, разбивающих период следования зубьев $T_{\text{зуб}}$ на 8 или 16 дискретных зубьев, длительность чередования которых $T_{\text{дискр.зуб}}$. Разбитие на дискретные зубья требуется для обеспечения большей точности синхронизации впрыска и времени накопления искры зажигания.

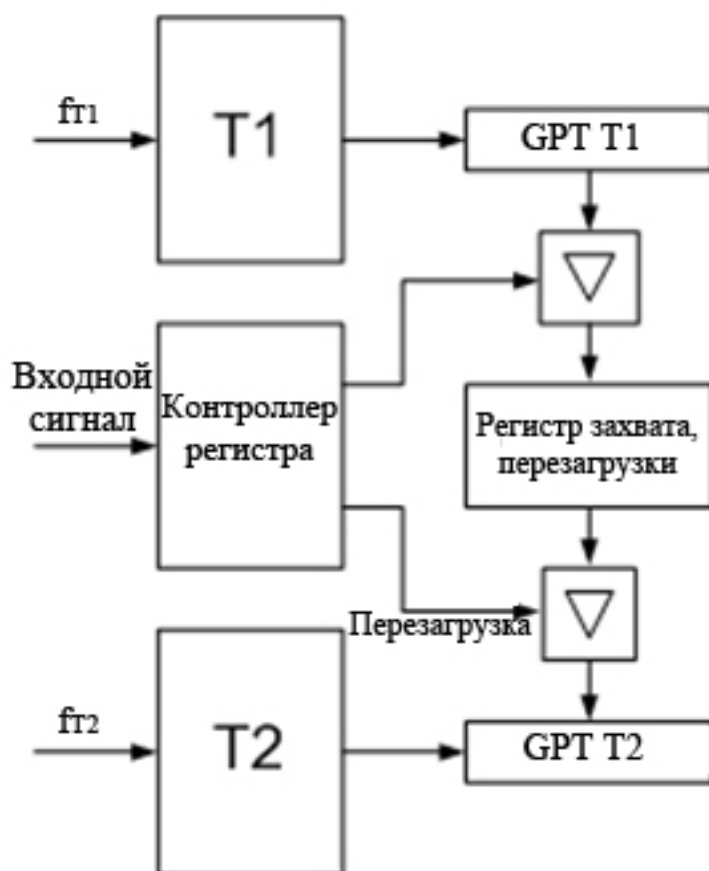


Рис. 2.19. Структура модуля синхронизации по сигналу с датчика положения коленчатого вала

Таймер T1 инициализируется сразу после инициализации контроллера и инкрементируется на каждом такте с частотой, определяемой предделителем системной частоты для таймера T1. Таймер настроен на прерывание по переднему фронту от зуба коленчатого вала и имеет высокий приоритет. При прерывании от каждого зуба вызывается функция синхронизации по коленчатому валу, в которой определяются и рассчитываются дополнительные параметры, требуемые для синхронизации.

Таймер T2 инициализируется одновременно с запуском таймера T1. После получения значения CAPREL он заполняет свой счетный регистр и декрементируется на каждом такте с частотой определяемой предделителем *системной* частоты для таймера в 8 или 16 раз большей, чем частота тактирования таймера T1. После каждого обнуления он вновь заполняется текущим значением регистра CAPREL.

Величина CAPREL показывает длительность периода чередования дискретных зубьев $T_{зуб}$. После прихода каждого нового зуба CAPREL обновляется новым значением, до которого успел досчитать таймер T1, а тот в свою очередь сбрасывается. Таким образом, это позволяет разбивать период следования зубьев коленчатого вала на интервалы времени, соответствующие длительности следования дискретных зубьев одинаковой величины. Значение CAPREL привязано к таймеру T1, а значит защелкнутое значение будет соответствовать периоду следования зубьев и вычисляться по формуле

$$T_{зуб} = CAPREL \cdot (1/f_{T1}). \quad (2.8)$$

Например: 1-й вариант конфигурации: при частоте T1 = 625000 Гц и частоте оборотов коленчатого вала 600 мин⁻¹, CAPREL = 1091: $T_{зуб} = 1091 \cdot (1/625000) = 0,0017456$ с. 2-й вариант конфигурации: при частоте T1 = 1250000 Гц и частоте оборотов коленчатого вала 600 мин⁻¹, CAPREL = 2182: $T_{зуб} = 2182 \cdot (1/1250000) = 0,0017456$ с.

В момент прихода двух пропущенных зубьев величина CAPREL отличается от нормального значения периода следования зубьев, поэтому для обновления таймера T2 используется предыдущее значение CAPREL. После того, как будет пройден первый зуб и пройдет его подтверждение путем определения второго зуба, величина счетчика дискретных зубьев сбрасывается после каждого второго оборота коленчатого вала или после одного полного оборота распредвала. Таким образом количество виртуальных дискретных зубьев соответствует величине 960 или 1920 (что определяется настройкой предделителя таймера T2).

По количеству пройденных дискретных зубьев определяется угол поворота коленчатого вала (ПКВ) в градусах поворота коленчатого вала. Отличие заключается в количестве дискретных зубьев, приведенных к величине угла поворота коленчатого вала. Количественная ошибка дискретных зубьев зависит от частоты оборотов и корректируется после каждого следующего реального зуба, если число зубьев отличается от теоретического значения. Пример реализации представлен в таблице 2.1

Таблица 2.1

Пример реализации алгоритма синхронизации
по сигналу с датчика положения коленчатого вала

Наименование параметра	1-й вариант конфигурации	2-й вариант конфигурации
$N_{\text{дискр.зуб}}$	284	142
$\alpha_{\text{дискр.зуба, ПКВ}}$	0,375	0,75
$\alpha_{\text{п.к.в., ПКВ}}$	106,5	106,5

При производстве ДВС распредвал и коленчатый вал устанавливаются по отношению друг к другу таким образом, чтобы два пропущенных зуба всегда соответствовали либо активному, либо нуле-

вому уровню сигнала с датчика фаз при любом взаимном положении распредвала в момент фазирования и в парковочной позиции фазера. Таким образом, начальный номер такта определяется по сигналу с датчика фаз.

В современных конструкциях ДВС распределительных валов может быть несколько, а система отсчета должна быть одна, относительно которой уже определяется отклонение положение распредвала от условного нулевого положения.

Длительность следования зубьев коленчатого вала определяется в прерывании по сигналу с ДПКВ. Время следования виртуальных зубьев, где $n = 8$, определяется настройкой предделителя.

В основу системы синхронизации заложена работа таймера GPT (рис. 2.19), который позволяет, прежде всего, произвести синхронизацию по зубчатому колесу коленчатого вала. В модуле GPT имеется, как правило, два таймера. Первый таймер считает в сторону увеличения с заданной частотой $f = f_{T1}$. Второй таймер T2 настроен с частотой в восемь раз больше, чем таймер T1. Назначение второго таймера это получение дополнительных дискретных зубьев, которые служат опорными точками при вычислении времени накопления искры зажигания и для определения времени открытия топливных форсунок.

Первоначальное состояние таймера T1 нулевое. Таймер инициализируется после подачи питания на контроллер при включенной клемме 15 при и пуске стартера. После этого при появлении сигнала на датчике положения коленчатого вала, соответствующего первому распознанному зубу, таймер сбрасывается в 0 и начинает расчет сигналов. В момент сброса таймера происходит копирование счетного регистра в регистр захвата и перезагрузки CAPREL (Capture reload register). После заполнения регистра CAPREL стартует таймер T2, который считает в 8 или 16 раз быстрее (в зависимости от типа зубчато-

го колеса) и работает в сторону декрементации. По каждому достижению нуля счетного регистра этого таймера срабатывает прерывание, показывающее на то, что пройден виртуальный дискретный зуб. Дискретные зубья необходимы для более точной синхронизации и расчета момента накопления искры зажигания и подачи топлива через форсунку. Виртуальные дискретные зубья соответствуют некоторой величине градусов поворота коленчатого вала. К примеру, если зубчатое колесо поворота коленчатого вала имеет 58 зубьев плюс два отсутствующих, то каждому реальному зубу будет соответствовать 8 или 16 виртуальных дискретных зуба, которые с большей точностью позволяют определить положение коленчатого вала. Необходимо помнить, что при изменении частоты вращения в сторону увеличения или уменьшения при прохождении каждого реального зуба должно быть 8 или 16 виртуальных дискретных зубьев. Если этого не произошло, тогда требуется скорректировать величину виртуальных дискретных зубьев по приходу прерывания от следующего зуба для обеспечения отсутствия ошибки в работе системы.

Синхронизация коленчатого вала и распредвала выполняется после того, как реализована синхронизация по коленчатому валу. Синхронизация распредвала с коленчатым валом выполняется по задним фронтам зубчатого колеса распределительного вала. Для того чтобы вычислить текущее положение коленчатого вала требуется определение нескольких параметров: номер зуба коленчатого вала, после которого произошло программно-аппаратное прерывание от распредвала, значение регистра таймера в момент прерывания от распределительного вала, номер такта, накопленное значение виртуальных дискретных зубьев.

До начала синхронизации по распределительному валу считается активный уровень сигнала с датчика фаз. Он может быть как

положительный, так и нулевой. Это позволяет определить порядковый номер такта после прохождения репера (двух отсутствующих зубьев). Это необходимо также для реализации алгоритма и инициализации счетчика фронтов от распредвала и определения начального номера такта ДВС. В прерывании от распределительного вала производится пересчет параметров из процессорного времени в условные физические единицы (рис. 2.20).

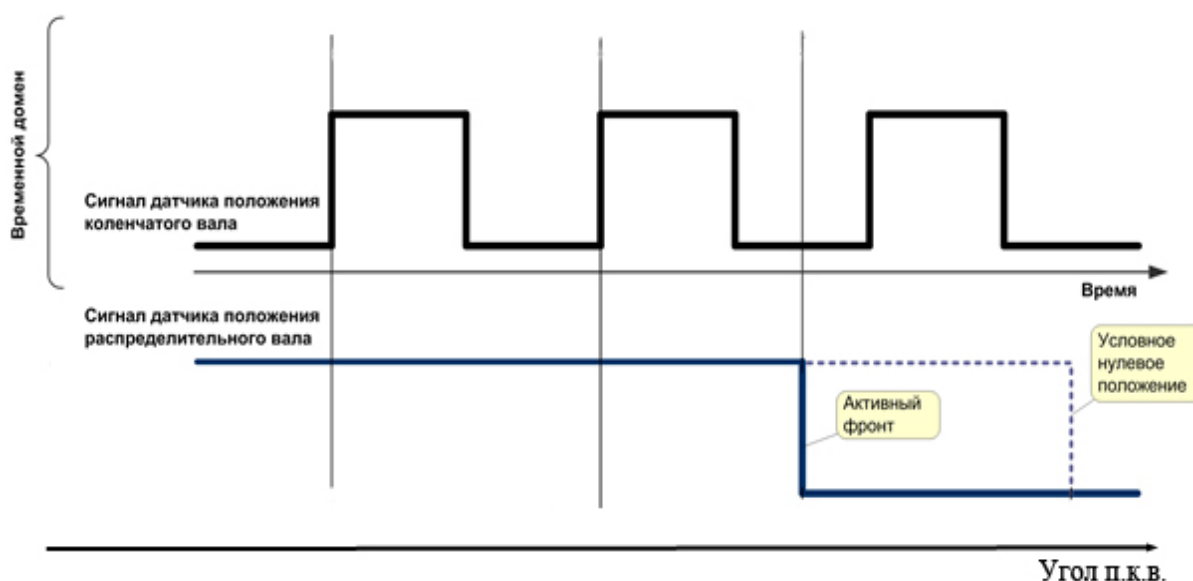


Рис. 2.20. Диаграмма синхронизации коленчатого и распределительного вала ДВС автомобиля с КЭУ

2.4. Моделирование и реализация электронной системы управления «Старт – Стоп» АКЭУ

Система «Старт – Стоп» предназначена для снижения вредного техногенного воздействия на окружающую среду автомобиля путем оптимизации работы ДВС, при этом достигаются эффекты: снижение расхода топлива; снижения вредных выбросов в атмосферу (рис. 2.21). Процессы улучшения связаны со снижением времени работы двигателя в режиме холостого хода, а также частичной рекуперации энергии при движении накатом или при торможении. Дополнительно система позволяет оптимизировать энергобаланс АКЭУ и увеличить ресурс

систем электропитания и пуска АТС не зависимо от индивидуального характера вождения и условий его эксплуатации.

Система «Старт – Стоп» позволяет выполнять быстрые и эффективные пуски, в результате которых снижается объем вредных выбросов и уменьшается время работы электростартера, производится подача топливовоздушной смеси с оптимальным соотношением и производится корректный расчет искры зажигания.

«Старт – Стоп» работает под управлением электронной системы управления ДВС (ЭСУД). Контроллер ЭСУД выполняет функцию диагностики датчиков системы «Старт – Стоп», а индикация отказов в системе реализована через комбинацию приборов. Контроллер регистрирует коды неисправностей и передает их по запросу диагностического оборудования.

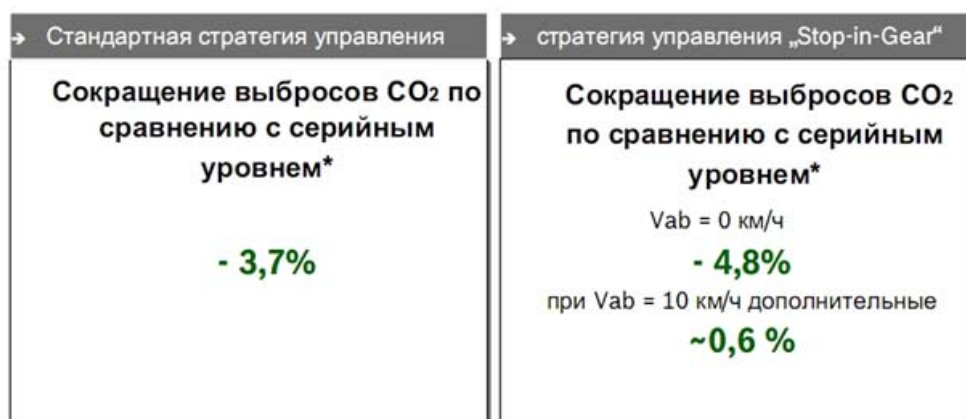


Рис. 2.21. Оценка параметров снижения уровня вредных выбросов при внедрении системы управления «Старт – Стоп»

Логическая структура электронной системы управления и модель электронной системы управления «Старт – Стоп» представлены на рис. 2.22, 2.23.

В аппаратный состав системы в качестве элементов исполнительного звена входят: датчик нейтрального положения рычага переключения передач; датчик педали сцепления; вакуумный насос тормозной системы; датчик угла поворота рулевого колеса; выключатель (кнопка

включения) системы с индикатором состояния; ремень безопасности водителя; выключатель закрытой двери; датчики температуры; выключатель капота; аккумуляторная батарея; интеллектуальная генераторная установка; регулятор напряжения; интеллектуальный датчик положения коленчатого вала на эффекте Холла; регулятор напряжения.

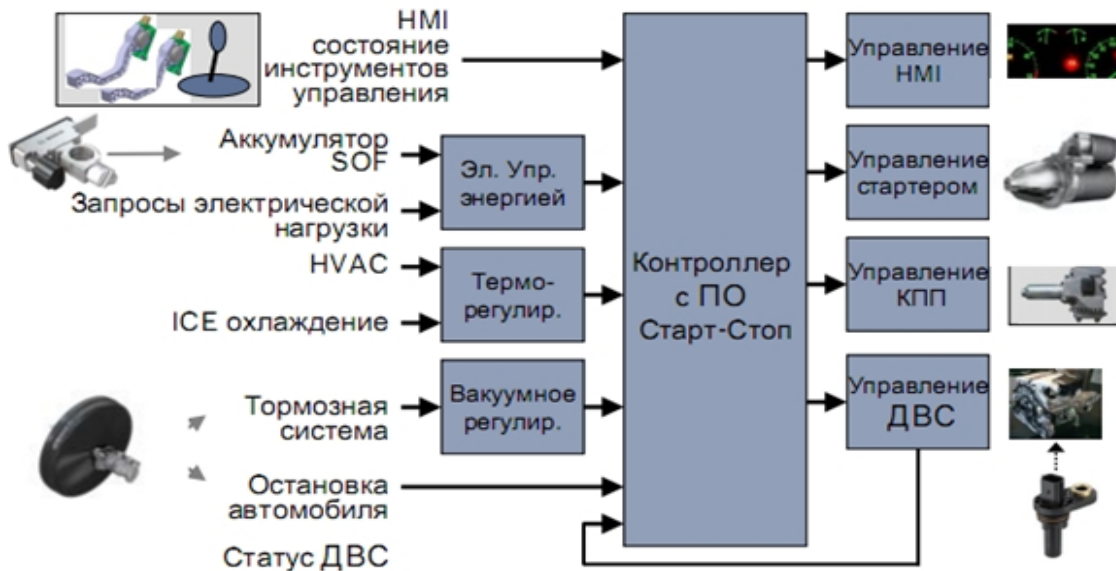


Рис. 2.22. Логическая структура электронной системы управления «Старт – Стоп»

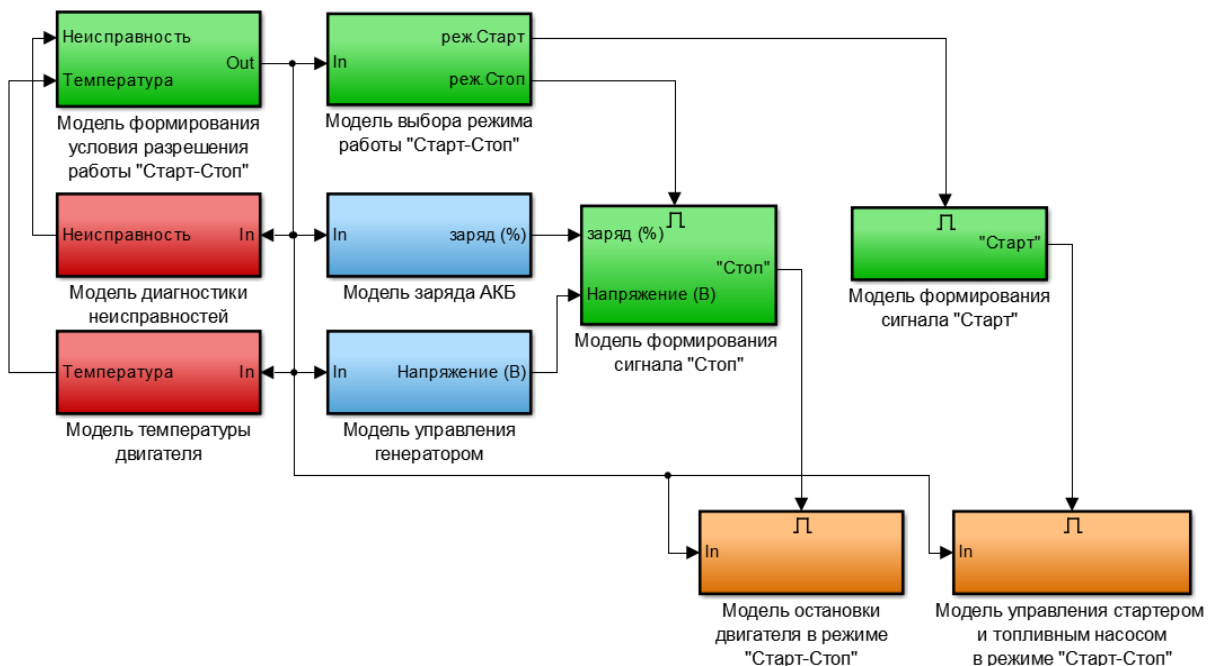


Рис. 2.23. Структура модели электронной системы управления «Старт – Стоп»

Для управления системой «Старт – Стоп» в программном обеспечении ЭСУД должны быть предусмотрены четыре основных модуля:

- 1) модуль формирования сигнала для активизации процесса останова двигателя;
- 2) модуль формирования сигнала «Старт» предназначенного для активизации процесса разрешения пуска двигателя;
- 3) модуль контроля заряда батареи;
- 4) модуль управления генераторной установкой.

При реализации электронной системы управления «Старт – Стоп» несколько меняется качественный состав основных компонентов системы электрооборудования: требуется установка электростартера с повышенным ресурсом (рис. 2.24); в систему интегрируется генераторная установка с элементами интеллектуального управления (рис. 2.25); вместо обычного электронного датчика положения коленчатого вала (ДПКВ), устанавливается интеллектуальный аналог (рис. 2.26); внедряется электронный датчик аккумуляторной батареи (рис. 2.27); устанавливается дополнительный стабилизатор напряжения DC/DC (рис. 2.28); кроме того, в систему устанавливается ряд дополнительных компонентов (рис. 2.29).

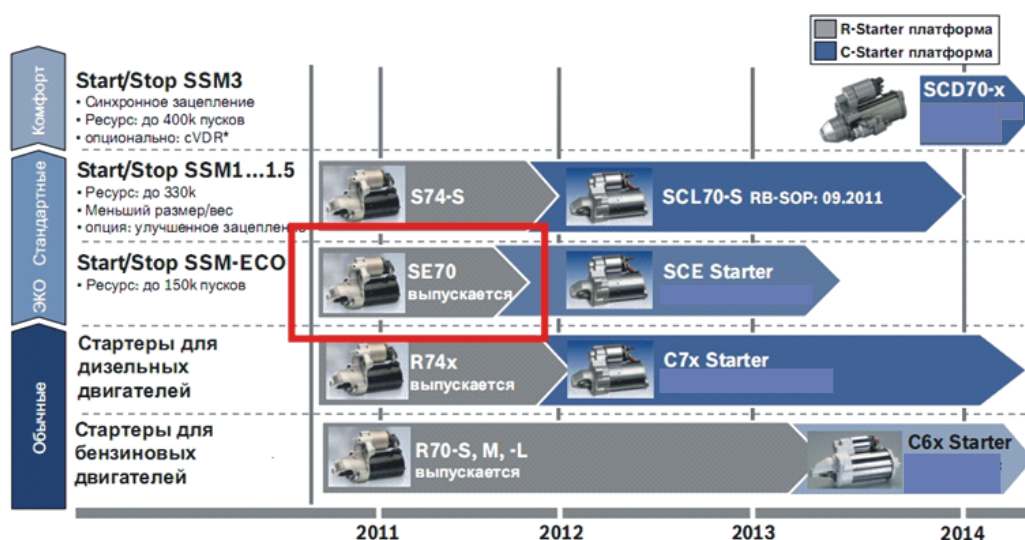


Рис. 2.24. Совершенствование конструкции электростартера в системе «Старт – Стоп»

Высокоэффективный генератор на базе V3-110 с регулятором LIN


Изделия до 125А							Компактные для легковых пассажирских автомобилей
Тип	V 1-70	V 3-70	V 3-90	V 3(E)-110	V 3P-115	V 5-125	
Мощность @ 1.800 об/мин [А]*	37	40	50	55	60	65	
Мощность @ 6.000 об/мин[А]*	70	70	90	110	115	125	
КПД. VDA [%]	54	62	62	63 (66)	62	66	
Макс. окр. температура. [°C]	95 (105)	95 (105)	95 (105)	95 (105)	95 (105)	95 (105)	
Инерция [кгсм²]	16,5	22	22	22	22	25	
Вес со шкивом [кг]	4,2	4,7	4,8	4,9	5,0	5,5	
Внешний диаметр [мм]	125	136	136	136	136	140	
Длина без шкива [мм]	117,5	117,5	117,5	117,5	117,5	120,5	
Магнитный шум [дБА]	< 74	< 74	< 74	< 74	< 74	< 74	
Аэродинамический шум [дБА]	< 94	< 94	< 94	< 94	< 94	< 94	

Рис. 2.25. Улучшение параметров генераторной установки в развитии системы «Старт – Стоп»



Особенности

- Определение направления вращения
- Работа на принципе Холла
- Для многополюсных и стальных задающих дисков
- Широкий температурный диапазон работы
- Высокая точность
- Широкий диапазон скорости 0 ... 10000 rpm
- Индивидуальная конструкция для клиента

Преимущества

- Надежная конструкция
- Высокая точность
- Широкий диапазон зазора с диском
- Малый размер
- Хорошие показатели ЭМС
- Питание 5V или 12V
- Низкий уровень выбросов, расход топлива
- Возможность использования в гибридных и автомобилях с системой Старт-Стоп

Рис. 2.26. Интеллектуальный датчик положения коленчатого вала в системе «Старт – Стоп»

→ **Особенности**

- Установка в минусовую нишу всех стандартных АКБ
- Подходит для установки в подкапотном пространстве (до 105°C)
- Очень высокая точность измерений и интегрированный алгоритм определения состояния батареи

• Ток	10 mA ... 1300A	+/- 1%
• Напряжения	6V ... 18V	+/- 0,25%
• Температура	-40 °C ... 80°C	+/- 4K
- Интерфейс LIN 2.1
- Штекер 2-pin AMP

→ **Преимущества для клиента**

- Пригоден для функций Старт-Стоп, рекуперации и энергоменеджмента
- Надежное электропитание потребителей в автомобиле
- Диагностика АКБ во время производства, транспортировки и в эксплуатации

Рис. 2.27. Реализация электронного датчика АКБ в системе «Старт – Стоп»



Рис. 2.28. Установка дополнительного стабилизатора напряжения DC/DC в системе «Старт – Стоп»

- Дополнительный датчик положения педали сцепления в следующей комбинации: 1 потенциометр + 1 переключатель или 2 переключателя (10% и 90%)
- Индикатор состояния системы Старт-Стоп: отдельный LED или информирование водителя через панель приборов, передавая информацию по шине CAN
- Кнопка принудительного отключения системы Старт-Стоп

Рис. 2.29. Установка дополнительного стабилизатора напряжения DC/DC в системе «Старт – Стоп»



Рис. 2.30. Функции системы «Старт – Стоп», влияющие на работу ЭСУД

Система «Старт – Стоп» оказывает определенное влияние на ЭСУД автомобиля (рис. 2.30).

Формирование сигнала разрешения остановки двигателя

Данный модуль инициализирует остановку двигателя. При появлении признака разрешения остановки двигателя производится запрет топливоподдачи, поддачи искры зажигания, что приводит к остановке двигателя. Функции топливоподдачи и расчета искры зажигания выполняются отдельно, поэтому для модуля остановки достаточно только сгенерировать запрет на прерывание. Разрешение остановки двигателя реализуется при комплексном выполнении условий: педаль сцепления не нажата; температура хладагента выше указанного порога, при котором разрешена остановка; функция включена и активна; обнаружено состояние простоя, при котором скорость автомобиля меньше, чем калибровочное значение в заданном интервале времени; величина уставки оборотов холостого хода меньше величины оборотов двигателя; выполняется условие простоя двигателя; уровень заряда аккумулятора больше установленного порога уровня заряда; «задняя» передача отключена; нажата педаль тормоза; после первого пуска двигателя максимальная скорость автомобиля больше барьера скорости, который должен быть преодолен для разрешения остановки двигателя.

В результате выполнения вышеперечисленных условий формируется бит разрешения остановки двигателя. После пуска двигателя бит разрешения остановки сбрасывается путем установки сигнала работы электростартера. Если стартер запущен, бит равен 1, и это означает, что разрешение на остановку двигателя не выполняется.

После появления запроса на остановку двигателя, контроллер управления двигателем должен выполнить действия по его остановке, аналогичные выключению замка зажигания. Отличие заключается в том, что время выключения главного реле должно увеличиться до ус-

тановленной величины. Если по истечении этого времени сигнал на запуск не поступил, то ЭСУД обеспечивает выключение главного реле и дальнейший запуск должен осуществляться поворотом ключа зажигания. Модуль разрешает пуск двигателя.

Для пуска двигателя в режиме «Старт – Стоп» необходимо выполнение следующих условий: режим «Старт – Стоп» включен, с помощью нажатия кнопки; разрешен пуск двигателя в режиме «Старт – Стоп»; рычаг коробки передач находится в положении «нейтраль»; время работы двигателя после остановки менее порога по времени, ниже которого разрешается старт автомобиля в режиме «Старт – Стоп».

В рамках работы системы ЭСУД и модуль контроля заряда батареи осуществляет измерение уровня ТАБ, используя вместо модельного параметра определения степени заряда, реально существующий параметр с электронного датчика заряда ТАБ.

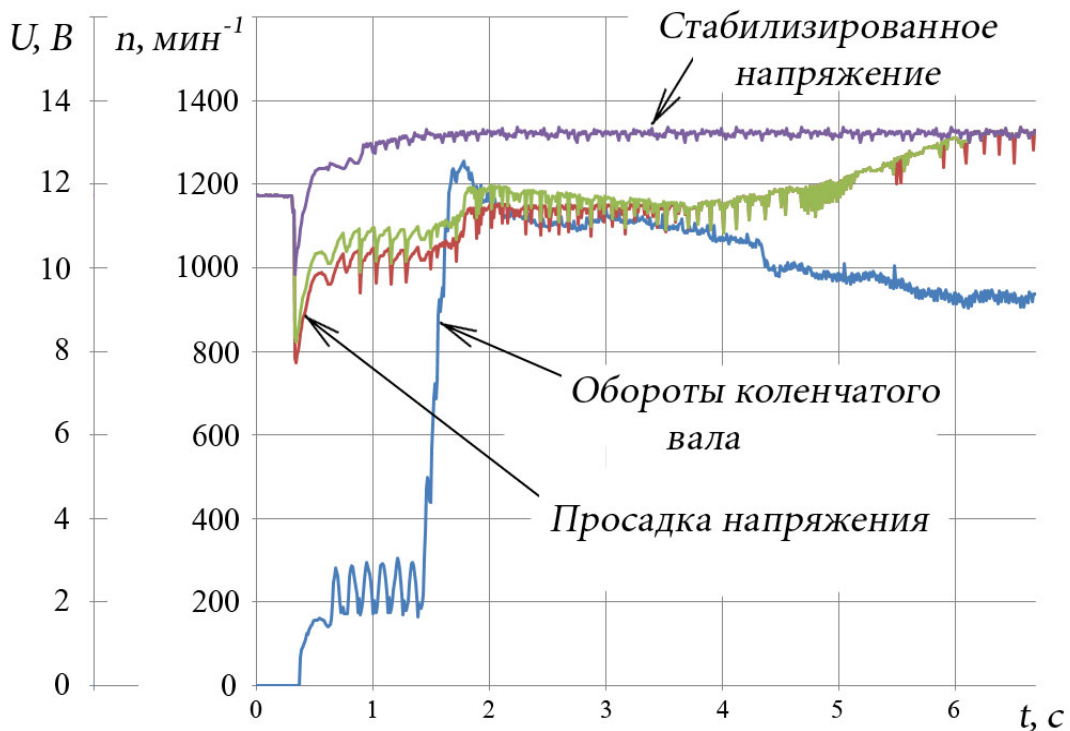


Рис. 2.31. Диаграммы исследования работы дополнительного регулятора напряжения

Модуль управления генераторной установкой осуществляет оптимизацию уровня выходных параметров тока и напряжения на разных оборотах ДВС с учетом необходимости обеспечения заряда ТАБ, а также питания основных потребителей бортовой системы автомобиля.

Результаты исследования работы электронного регулятора напряжения DC/DC в составе АКЭУ представлены на рис. 2.31. График стабилизированного напряжения (рис. 2.31), в сравнении с графиком посадки напряжения в момент пуска ДВС, наглядно показывает достоинства соответствующего комплекса состоящего из интеллектуальной генераторной установки и дополнительного регулятора напряжения.

Сравнительный анализ работы автомобиля в режиме пуска с системой «Старт – Стоп» и от ключа зажигания представлен на рис. 2.32.



Рис. 2.32. Диаграммы реализации режима «быстрый пуск» для автомобиля с системой «Старт – Стоп» и без нее

Диаграммы показывают, что в режиме пуска ДВС у автомобиля с системой «Старт – Стоп» обеспечивается существенное сокращение

времени пуска и меньшая просадка напряжения по сравнению с обычной системой управления, за счет установки в систему интеллектуального датчика положения коленчатого вала.

Обобщенный, сравнительный анализ работы АКЭУ при наличии и отсутствии на борту системы «Старт – Стоп» приведен на рис. 2.33. Из анализа параметров работы системы (рис. 2.33) видно, что в случае установки на автомобиле соответствующей электронной системы управления значительно улучшаются пусковые характеристики работы АКЭУ: уменьшается время пуска; падают максимальные обороты ДВС и как следствие снижается объем вредных выбросов.

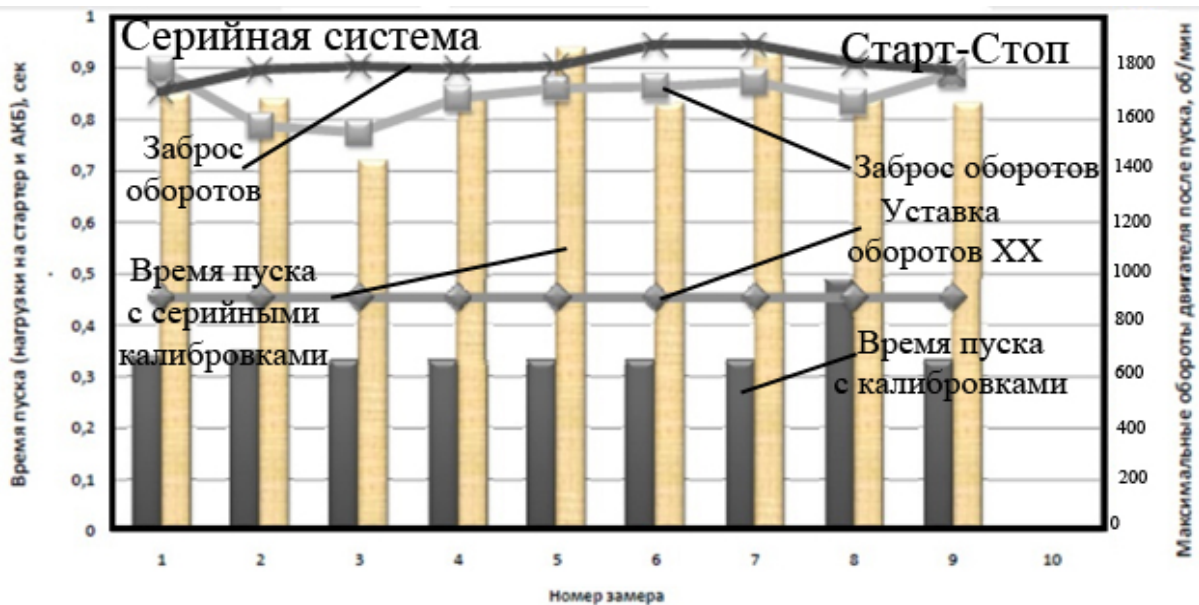


Рис. 2.33. Сравнительный анализ параметров работы автомобилей при наличии и отсутствии системы «Старт – Стоп»

Контрольные вопросы и задания

1. На каких основных функциях базируется процесс регулирования скорости?
2. Фильтр скорости второго порядка, поясните суть его модели.
3. Опишите процесс регулирования скорости в режиме ограничения скорости.

4. Поясните компонент расчета длительности отклонения от заданной скорости.

5. Расскажите об исполнительных элементах и органах управления, составляющих компонентную область системы регулирования скоростного режима.

6. Объясните работу системы изменения фаз газораспределения автомобилей с КЕУ.

7. Расскажите о основных модулях программного обеспечения ЭСУД управления системы «Старт – Стоп».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка и реализация транспортных комплексов с комбинированной энергоустановкой наиболее эффективна в случае системной интеграции в рамках проектов, соответствующих электронным системам оптимизации работы ДВС. К числу наиболее успешных инструментов проектирования соответствующих управляющих систем относятся компьютерные математические пакеты, к числу которых относится виртуальная среда Matlab, обеспечивающая возможность имитационного моделирования сложных технических объектов и алгоритмов управления.

Основные функции систем управления автомобилями с КЭУ определяются следующим образом: оптимизация работы ДВС по динамическим параметрам и топливной экономичности; снижение объема вредных выбросов в атмосферу; улучшение процессов энергетического баланса.

Реализация соответствующих функций в рамках имитационных моделей, а также физическая реализация систем управления показывает высокую степень эффективности работы АКЭУ в сравнении с аналогами, не имеющими в составе подобных систем.

Применение в составе электротехнических комплексов современных АТС электронных систем управления параметрами возможен при решении проектных и технологических проблем, связанных с созданием интеллектуальных компонентов системы электрооборудования: датчик положения коленчатого вала; дополнительный модуль регулирования напряжения; генераторная установка, датчик уровня зарядки ТАБ (АКБ); электростартер.

Успешная реализация комплексов электрооборудования в ЭМБ и АКЭУ, в состав которых входят перспективные исполнительные уст-

ройства и системы управления, создает предпосылки для перехода автомобильной промышленности на новый технологический уровень развития. Однако из-за сложности образуемых комплексов возникает проблема обеспечения требуемого уровня качества и надежности эксплуатации перспективных АТС. Для решения данной проблемы необходимо разработать и внедрить в практику комплекс инженерно-аналитических инструментов способных одинаково эффективно работать как в условиях жизненного цикла традиционных, так и перспективных АТС. Комплекс должен интегрировать в себе новые эффективные инструменты управления качеством и надежностью ЭМБ и АКЭУ, разработанные в развитие существующих инструментов управления комплексом электрооборудования автомобилей на основе стандартов ИСО 9001 и ИСО/ТУ 16949.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Строганов, В.И. Моделирование систем электромобилей и автомобилей с комбинированной силовой установкой в процессах проектирования и производства: монография / В.И. Строганов, В.Н. Козловский. – М.: МАДИ, 2014. – 264 с.

2. Моделирование электронной системы VVT управления двигателем легкового автомобиля / В.И. Строганов, В.Н. Козловский, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 4. – С. 5–12.

3. Электронная система моделирования скорости движения в режимах поддержания и ограничения скорости / В.И. Строганов, В.В. Дебелов, В.В. Иванов, В.Е. Ютт, В.Н. Козловский // Грузовик. – 2013. – № 12. – С. 19–24.

4. Строганов, В.И. Модель ремонтпригодности как инструмент прогнозирования качества и надежности легкового автомобиля / В.И. Строганов, В.Н. Козловский // Автомобильная промышленность. – 2013. – № 11. – С. 19–21.

Дополнительная

1. Мацкерле, Ю. Современный экономичный автомобиль / Ю. Мацкерле; пер. с чешск. В.Б. Иванова; под ред. А.Р. Бенедиктова. – М.: Машиностроение, 1987. – 320 с.

2. Строганов, В.И. Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой: дис. ... д-ра техн. наук / Строганов Владимир Иванович. – М., 2015. – 356 с.

Учебное издание

ЮТТ Владимир Евсеевич
СТРОГАНОВ Владимир Иванович

**ЭЛЕКТРОМОБИЛИ И
АВТОМОБИЛИ
С КОМБИНИРОВАННОЙ
ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ
РАСЧЕТ СКОРОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор И.А. Короткова

Редакционно-издательский отдел МАДИ. E-mail: rio@madi.ru

Подписано в печать 23.03.2017 г. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 6,75. Тираж 300 экз. Заказ . Цена 225 руб.
МАДИ, 125319, Москва, Ленинградский пр-т, 64.