

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

РАКОВ Вячеслав Александрович

**МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ
И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

доктора технических наук

Научный консультант

д-р техн. наук, профессор

Капустин Александр Александрович

Вологда – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
ГЛАВА 1 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И РАССМАТРИВАЕМЫХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ	16
1.1 Существующий опыт оценки эксплуатационных свойств автомобилей	16
1.2 Характеристика автомобильного парка России и других странах мира	22
1.3 Существующие оценки экологической безопасности автомобилей в РФ и других странах	26
1.4 Закономерности в развитии конструкции энергетических установок автомобилей	31
1.5 Развитие парка гибридных легковых автомобилей в мире	37
1.6 Развитие парка гибридных автобусов в мире	43
1.7 Производство и эксплуатация гибридных автомобилей в России	45
1.8 Анализ состояния инфраструктуры технического обслуживания и ремонта гибридных автомобилей в России	51
1.9 Особенности законодательства России по определению максимальной мощ- ности комбинированной энергоустановки гибридных автомобилей	54
1.10 Обоснование выбора исследуемых эксплуатационных свойств для оценки эффективности гибридных автомобилей	58
1.10.1 Виды эксплуатационных свойств и их влияние на основные характеристики автомобилей	58
1.10.2 Рассматриваемые эксплуатационные свойства и их структура	61
1.10.3 Факторный анализ значимости эксплуатационных свойств	63
Выводы по главе	71
ГЛАВА 2 МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	72
2.1 Обоснование стратегии и тактики приводимых методов оценки	72

2.2 Сравнительная оценка выбросов в окружающую среду автомобилей с бензиновыми, газовыми, дизельными ДВС и комбинированными энергоустановками на протяжении всего их жизненного цикла	74
2.3 Расчетно-экспериментальная методика определения средней мощности, развиваемой энергоустановкой автомобиля в условиях изменяющихся нагрузок	84
2.4 Расчетно-экспериментальная методика определения максимальной мощности энергоустановки автомобиля в условиях эксплуатации	89
2.5 Расчетно-экспериментальная методика определения расхода топлива и выбросов CO ₂ по параметрам встроенной системы самодиагностирования	94
2.6 Расчетный метод оценки эксплуатационных свойств на основе результатов обработки больших массивов данных параметров рабочих процессов движения автомобиля	98
2.7 Исследование комбинированных энергоустановок разных типов в лабораторных условиях	104
2.7.1 Конструкция экспериментальной комбинированной энергоустановки	104
2.7.2 Исследование эффективности рекуперации энергии торможения в стендовых условиях	112
2.7.3 Определение энергетического КПД комбинированной энергоустановки в стендовых условиях	118
2.7.4 Анализ стендовых испытаний	121
2.8 Исследования на экспериментальных автомобилях с комбинированной энергоустановкой в дорожных условиях	122
2.9 Теоретические методы оценки влияния характеристик рекуперативного торможения на топливную экономичность автомобиля	134
2.9.1 Взаимосвязь между тормозными свойствами, характеристиками электрического привода и свойствами рекуперации	134

2.9.2 Взаимосвязь между рекуперативным торможением, экономичностью и экологической безопасностью автомобиля	143
2.9.3 Оценка влияния рекуперативного торможения на экологическую безопасность и топливную экономичность в условиях эксплуатации	151
2.10 Оценка влияния условий эксплуатации на топливную экономичность автомобилей.....	163
2.11 Оценка надежности комбинированной энергоустановки гибридных автомобилей в условиях эксплуатации.....	170
Выводы по главе.....	177
ГЛАВА 3 МЕТОД ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ КЭУ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ЗАДАННОМУ ЦИКЛУ	180
3.1 Обоснование структуры, функциональной схемы и применяемые зависимости	180
3.2 Определение параметров движения автомобилей с разными типами КЭУ	196
3.2.1 Определение параметров движения автомобилей с комбинированной энергоустановкой последовательного типа	196
3.2.2 Определение параметров движения автомобилей с комбинированной энергоустановкой параллельного типа.....	201
3.2.3 Определение параметров движения автомобилей с комбинированной энергоустановкой последовательно-параллельного типа	201
3.2.4 Оценка влияния емкости накопителя энергии комбинированной энергоустановки на топливную экономичность автомобиля.....	214
3.3 Верификация разработанных алгоритмов прогнозирования топливной экономичности гибридного автомобиля.....	218
3.4 Результаты анализа эксплуатационных свойств автомобилей с различными типами энергоустановок.....	219

3.5 Рекомендации по использованию метода оценки расхода топлива гибридных автомобилей	220
Выводы по главе.....	222
ГЛАВА 4 МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ	223
4.1 Методика оценка экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей.....	223
4.2 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей.....	233
4.2.1 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категории M_1	233
4.2.2 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категорий M_2 и M_3	239
4.2.3 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категории N_1	247
4.2.4 Оценка возможного влияния гибридных автомобилей на эффективность автомобильного транспорта РФ.....	252
4.3 Оценка энергоэффективности гибридных автомобилей категории M_1 и N_1 на основе существующего стандарта.....	258
4.4 Оценка эффективности гибридных автомобилей на основе удельных показателей	260
Выводы по главе.....	263
ГЛАВА 5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	264
5.1 Рекуператор тепловой энергии отработавших газов для ускорения прогрева двигателей внутреннего сгорания	264

5.2 Предложения по повышению надежности гибридных автомобилей в эксплуатации.....	281
5.3 Предложения по внедрению комбинированных энергоустановок.....	283
5.4 Предложения по стимулированию производства и эксплуатации гибридных автомобилей.....	286
Выводы по главе.....	287
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	289
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	293
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	296
ПРИЛОЖЕНИЕ А (К ГЛАВЕ 1)	333
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (К ГЛАВЕ 2).....	337
ПРИЛОЖЕНИЕ В (К ГЛАВЕ 4)	353
ПРИЛОЖЕНИЕ Г (ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ)	380
ПРИЛОЖЕНИЕ Д (ПАТЕНТЫ).....	411
ПРИЛОЖЕНИЕ Е (СВИДЕТЕЛЬСТВА И ПАСПОРТА).....	417

ВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В Транспортной стратегии Российской Федерации определены ключевые направления развития автомобильного транспорта, среди которых отмечено стремление к снижению затрат при осуществлении перевозок, уменьшение негативного влияния автомобилей на окружающую среду и здоровье будущих поколений. В комплексе направлений реализации поставленных планов к 2035 году предусматривается введение в эксплуатацию до 26 % от общего автопарка электромобилей и гибридных автомобилей (ГА). Вместе с тем ожидается повышение требований к автотранспортным средствам и как следствие снижение расхода топлива автомобилями на 13-15%, что будет происходить за счет повышения эффективности энергоустановки, включая оптимизацию режимов работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС). Достижение этих требований должно обеспечиваться, в том числе за счет расширения парка эксплуатируемых гибридных автомобилей.

В соответствии с ГОСТ Р 59483-2021 «Колесные транспортные средства. Термины и определения» автомобиль, имеющий комбинированную энергоустановку (КЭУ), – гибридный. Количество эксплуатируемых в России гибридных автомобилей на начало 2025 года составило 485 тыс. шт.

Мониторинг индикаторных показателей, проведенный Минтранс России в рамках реализации Транспортной стратегии РФ, показал, что доля экологически чистых транспортных средств, включая гибридные автомобили, в общей численности автомобильного парка страны составила всего 4 % при целевом значении в 26 %. Расширение доли эксплуатируемых гибридных автомобилей затрудняется отсутствием объективных методов, апробированных методик, критериев оценки и обеспечения эффективности их эксплуатации.

Гибридные автомобили имеют ряд принципиальных отличий от традиционных автомобилей с ДВС, таких как: работа ДВС в оптимальном нагрузочном режиме; возможность движения с выключенным ДВС; отсутствие

холостого хода; возможность рекуперации энергии торможения. КЭУ гибридных автомобилей отличаются по типу в зависимости от схемы передачи энергии на ведущую ось, имеют разные характеристики электропривода и системы хранения электрической энергии. Рассматриваемые особенности влияют на *эффективность* использования гибридных автомобилей, включающую снижение затрат на осуществление перевозочного процесса энергоэффективность и экологическую безопасность (ГОСТ Р 58554-2019 Показатели энергоэффективности и экологии автотранспортных средств).

Имеющаяся теория расчета и теория технической эксплуатации автомобилей не учитывает широкий спектр особенностей и свойств гибридных автомобилей и влияние на них условий эксплуатации. Это затрудняет решение практических задач по повышению экологической безопасности и ресурсосбережения автомобильного транспорта при использовании гибридных автомобилей, предусмотренных в п. 2 и 7 Транспортной стратегии РФ, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 года № 3363-р.

Таким образом, решение проблемы дальнейшего развития методологии оценки и обеспечения эффективности гибридных автомобилей в заданных условиях эксплуатации является актуальным. Необходимо установить закономерности влияния конструктивных особенностей КЭУ, ее основных характеристик, свойств рекуперативного торможения на топливную экономичность гибридного автомобиля в заданных условиях движения. Ввиду разности климатических зон в России и возможной чувствительности химических источников энергии к низкой температуре требуется оценить приспособленность гибридных автомобилей к холодным условиям эксплуатации. Для априорной оценки эффективности эксплуатации гибридных автомобилей требуется разработать метод теоретического расчета расхода органического топлива, учитывающий условия движения и позволяющий определить кри-

терии оценки, связывающие снижение затрат на выполнение транспортной работы, энергоэффективность и экологическую безопасность. Также требуется рассмотреть вопросы обеспечения эффективности и повышения надежности гибридных автомобилей в различных климатических условиях, поддержания их работоспособности в условиях существующей инфраструктуры обслуживания.

Указанные вопросы требуют: установления факторов, влияющих на топливную экономичность различных типов гибридных автомобилей; разработки физических и расчетных моделей КЭУ, проведения серии экспериментальных стендовых и дорожных испытаний на экспериментальных образцах и серийных автомобилях; разработки методов прогнозирования топливной экономичности гибридных автомобилей с разными типами КЭУ; выработки критериев оценки и обеспечения эффективности гибридных автомобилей и установления границ экономической эффективности их эксплуатации; разработки технических решений и рекомендаций по приспособлению гибридных автомобилей к заданным условиям эксплуатации.

Отмеченные вопросы не могут быть решены без привлечения комплекса научных подходов и формируют цель, задачи, предмет и объект диссертационной работы.

Степень разработанности темы исследований. В работе проанализированы труды 48 отечественных и зарубежных ученых. Вклад каждого из них подробно рассмотрен в работе. Фундаментальная теория оценки эксплуатационных свойств автомобилей изложена д.т.н., проф. В.А. Иларионовым, теория технической эксплуатации автомобилей – в работах д.т.н., проф. Е.С. Кузнецова. Наиболее близкие работы, где рассмотрены вопросы топливной экономичности и экологической безопасности гибридных автомобилей опубликованы д.т.н., проф. Н.В. Гулия, д.т.н., проф. О.Н. Дидманидзе, д.т.н., проф. С.А. Ивановым, а также к.т.н., К.М. Сидоровым и к.т.н., В.К. Азаровым.

Научные разработки указанных авторов послужили базой для проведения исследований, направленных на расширение теории и практики оценки и обеспечения эффективности применения гибридных автомобилей.

Целью исследования является разработка методологии комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей учитывающей условия их применения и связывающей экономические, экологические критерии, тип и характеристики комбинированной энергоустановки.

Цель достигается решением следующих **задач**:

- определение факторов и установление влияния рекуперативного торможения на эффективность эксплуатации гибридных автомобилей;
- установление закономерностей влияния условий эксплуатации на топливную экономичность, экологические свойства гибридных автомобилей и изменения технического состояния КЭУ;
- разработка расчетного метода априорной теоретической оценки топливной экономичности гибридных автомобилей с различными типами КЭУ в заданных условиях эксплуатации;
- разработка метода комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающего критерии энергоэффективности и экологической безопасности, обоснование границ экономической целесообразности и методику определения снижения экономических издержек при эксплуатации;
- разработка технических решений и мероприятий, направленных на обеспечение эффективности и повышение надежности гибридных автомобилей в эксплуатации.

Объектом исследования является эксплуатация гибридных автомобилей.

Предмет исследования – комплекс взаимосвязанных методов и методик, позволяющий производить оценку и обеспечивать эффективность эксплуатации гибридных автомобилей.

Рабочая гипотеза: предлагаемая методология на основе установленных закономерностей влияния условий эксплуатации на топливную экономичность, экологические свойства, изменение технического состояния комбинированной энергоустановки, установления критериев энергоэффективности и обоснования границ экономической целесообразности позволит обеспечить эффективную эксплуатацию гибридных автомобилей.

Научная новизна исследования:

1. Установлены закономерности влияния рекуперативного торможения на эффективность эксплуатации гибридных автомобилей;
2. Выявлены зависимости влияния условий эксплуатации на топливную экономичность, экологические свойства гибридных автомобилей и изменение технического состояния КЭУ;
3. Разработан расчетный метод априорной теоретической оценки топливной экономичности гибридных автомобилей, учитывающий тип и характеристики КЭУ при заданных циклах движения и потери в цепочках передачи энергии;
4. Предложен метод комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающий критерии энергоэффективности и экологической безопасности, обоснование границ экономической целесообразности и методику определения снижения экономических издержек при эксплуатации;
5. Разработаны технические решения и мероприятия, направленные на обеспечение эффективности и повышение надежности гибридных автомобилей в эксплуатации.

Теоретическая значимость работы заключается в: установлении влияния рекуперативного торможения на эффективность гибридных автомобилей, включая разработанные методики определения и влияющие факторы; установлении влияния условий эксплуатации на топливную экономичность и экологические свойства гибридных автомобилей, а также закономерности изменения технического состояния КЭУ при эксплуатации; разработке метода априорной теоретической оценки топливной экономичности гибридных автомобилей с различными типами энергоустановок при разных циклах движения; разработке метода комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающего критерии энергоэффективности и экологической безопасности, обоснование границ экономической целесообразности и методику определения снижения экономических издержек при эксплуатации.

Практическая значимость работы заключается в: обосновании границ эффективной эксплуатации гибридных автомобилей с разными типами КЭУ в зависимости от годового пробега и периода эксплуатации, получении результатов оценки эффективности гибридных автомобилей разных категорий на основании разработанных критериев; разработке технических решений и мероприятий, направленные на улучшение эффективности и надежности гибридных автомобилей при эксплуатации.

Практическая значимость подтверждается применением результатов в российских предприятиях, осуществляющих разработку и производство электротранспорта, организациях эксплуатирующих гибридные автомобили, обеспечивающих техническую и информационную поддержку при эксплуатации гибридных автомобилей, а также в образовательном процессе при подготовке специалистов автотранспортного комплекса. Результаты работы нашли применение при реализации государственных программ поддержки, производства и использования экологически чистого транспорта.

Методология и методы исследования базируется на общеизвестных аналитических и прикладных методах системного анализа, в частности: наблюдении, измерении, анализе, экспериментировании, обобщении и прогнозировании. При разработке метода прогнозирования топливной экономичности гибридных автомобилей использованы элементы математического анализа, логики и обобщение. При определении закономерностей влияния рекуперации, типа КЭУ, характеристик ее компонентов на эксплуатационные свойства гибридных автомобилей – теоретическое экспериментирование. Значительная часть исследований связана с натурным моделированием и экспериментированием на стендах, опытных образцах и серийных гибридных автомобилях в лабораторных и дорожных условиях.

Положения, выносимые на защиту

1. Установленное снижение выбросов загрязняющих веществ и расхода топлива за счет рекуперативного торможения гибридных автомобилей;
2. Выявленные зависимости влияния условий эксплуатации на топливную экономичность, экологические свойства гибридных автомобилей и изменение технического состояния КЭУ;
3. Разработанный расчетный метод априорной теоретической оценки топливной экономичности гибридных автомобилей, учитывающий тип и характеристики КЭУ при заданных циклах движения и потери в цепочках передачи энергии;
4. Разработанный метод комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающий критерии энергоэффективности и экологической безопасности, обоснование границ экономической целесообразности и методику определения снижения экономических издержек при эксплуатации;
5. Разработанные технические решения и мероприятия, направленные на обеспечение эффективности и повышение надежности гибридных автомобилей в эксплуатации.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования обеспечивается применением известных общенаучных методов, использованием сертифицированных средств измерения, применением алгоритмов проверки и верификации, экспериментальным подтверждением полученных результатов и сопоставлением их с другими общеизвестными достижениями.

Апробация работы. *Основные положения работы обсуждались на:* 8–17-й Международных научно-технических конференциях «Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте» (Вологда, ВоГУ, 2013–2023 гг.); Международной научно-практической конференции «Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования» (Воронеж, ВГЛТА, 2014 г.); 12–16-й Международных конференциях «Организации и безопасность дорожного движения в крупных городах» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2016–2024 гг.); Международной научно-технической конференции «Лукинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса» (Москва, МАДИ, 2019 и 2025 гг.); 82-й Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции (Москва, МАДИ, 2024 г.); Всероссийской научно-технической конференции по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок. Заседания № 95–100 (Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020–2024 г.); Международной конференции «2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications» (Москва, МАДИ, 2021 г.); Международной конференции «Транспортная доступность Арктики: Сети и системы» (Санкт-Петербург, СПбГАСУ, 2021, 2024 г.); Международной научно-практической конференции АВТОНЕТ «Перспективные транспортные технологии» (Екатеринбург, 2023, 2024 г.).

Личный вклад автора. Автором определена концепция исследования, сформулированы цель и задачи, разработано и изготовлено эксперименталь-

ное оборудование, проведены исследования, на основе которых установлены теоретические зависимости, разработаны и внедрены расчетные и экспериментальные методы и методики комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, определены критерии оценки, обоснованы границы экономической целесообразности их эксплуатации, а также предложены технические решения и мероприятия, направленные на повышение надежности и эффективности гибридных автомобилей в эксплуатации.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта, а именно: п. 6. «Обеспечение экологической и дорожной безопасности автотранспортного комплекса; совершенствование методов автодорожной и экологической экспертизы, методов экологического мониторинга автотранспортных потоков» и п. 22 «Методы ресурсосбережения в автотранспортном комплексе».

Публикации Основные результаты диссертационного исследования изложены в 150 работах общим объемом 104 п.л. (авторских – 83 п.л.), в том числе 20 работ – в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ, 12 работ – в Международных индексируемых базах Scopus и Web of Science Core Collection. Издано 2 монографии, получено 2 патента на полезную модель, 1 свидетельство о регистрации программ ЭВМ и баз данных.

Структура и объем диссертации. Работа содержит 422 страницы текста, включая: введение, основную часть из пяти глав, заключение, список литературы из 265 наименований и 90 страниц приложений. Основная часть включает 101 иллюстрацию и 38 таблиц.

ГЛАВА 1 ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ И РАССМАТРИВАЕМЫХ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ

1.1 Существующий опыт оценки эксплуатационных свойств автомобилей

Формирование теории эксплуатационных свойств автомобилей началось в 20-х годах прошлого века. В 1928 году академиком Е.А. Чудаковым была опубликована работа «Динамические и экономические исследования автомобиля», а спустя 2 года была сформулирована и обобщена работа «Тяговый расчет автомобиля» [149]. В 1935 г. Е.А. Чудаковым был выпущен первый в мире учебник «Теория автомобиля». Изложенные в учебнике методы расчета не потеряли актуальность и в настоящее время. С появлением новых потребностей теория эксплуатационных свойств совершенствовалась. Так в 1932–1939 гг. профессорами Г.В. Зимелевым и Б.С. Фалькевичем продолжено развитие теории автомобиля. В последующие годы и настоящее время развитие общей теории перешло в углубленное изучение отдельных эксплуатационных свойств.

Продолжительную часть времени, фактически с момента начала производства автомобилей в Советском Союзе, характеристики автомобилей определялись исходя из необходимых народному хозяйству потребительских свойств. При существующей плановой системе производства это обеспечивало нужды экономики, но такую систему было сложно перестраивать. Пока производилась реализация плана выпуска автомобилей с необходимыми народному хозяйству эксплуатационными характеристиками, часть из этих свойств уже устаревала, а так как эксплуатационные свойства автомобилей

характеризуются огромным числом параметров, подстраиваться под изменяющиеся требования было затруднительно.

Важным этапом в развитии оценки эксплуатационных свойств автомобилей стал переход от оценки потребительских свойств, характеризующихся предельными значениями измеряемых параметров, заданных изготовителями, к системе оценки эксплуатационных свойств с помощью особых вычисляемых параметров эффективности, которые являются производными от потребительских свойств и параметров функционирования. Эта идея была сформулирована Д.П. Великановым, в 1956–1960 годах.

С 1950 по 1985 г. Д.П. Великановым, А.А. Чеботаевым, Ю.М. Власко, О.И. Гируцким и др. была обоснована требуемая для народного хозяйства структура автомобильного парка, в соответствии с которой был разработан типаж автомобилей.

Наибольший вклад в теорию оценки топливной экономичности и экологической безопасности автомобилей, внесен следующими авторами:

- Азаров В.К. – разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей [2–8];
- Александров И.К. – адаптивные трансмиссии и энергетический анализ механизмов и машин [9–19];
- Асоян А.Р. – исследование эффективности использования альтернативных топлив и энергии на автомобильном транспорте, электропривод, накопители энергии транспортных средств [20, 137];
- Гулия Н.В. – разработка комбинированных энергоустановок с маховичным накопителем энергии [23];
- Гаевский В.В. – оценка экологических свойств гибридных автомобилей [24];
- Гусаков С.В. – оценка экологических свойств гибридных автомобилей [25–27];
- Двадненко В.Я. – моделирование текущих параметров работы комбинированных энергоустановок автомобилей [28];

- Девянин С.Н. – использование альтернативных топлив и энергии на автомобильном транспорте и в сельскохозяйственных машинах [29,30];
- Дидманидзе О.Н. – улучшение эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов за счет использования комбинированных энергоустановок [32];
- Добрецов Р.Ю. – исследования в области электрических приводом транспортных машин [34,35];
- Ерохов В.И. – экологическая безопасность автотранспорта, электрический привод автотранспортных средств [37,38];
- Златин П.А. – вопросы, связанные с развитием конструкции электро-мобилей и гибридных автомобилей [42];
- Иваненко М.А. – рассматривал вопросы экономической эффективности использования автотранспортных средств с КЭУ [44];
- Иванов С.А. – разработка комбинированных энергетических установок [32, 139];
- Иларионов В.А. – описаны методы экспериментального определения и теоретического расчета эксплуатационных свойств. Приведены основы тягового расчета [43];
- Ипатов А.А. – занимался вопросами улучшения эксплуатационных свойств автомобилей за счет использования электрических и комбинированных энергоустановок [45];
- Карпухин К.Е. – совершенствовал алгоритмы управления КЭУ автомобилей [58];
- Капустин А.А. – исследование эффективности автомобилей на газовом топливе [46–56, 222–226];
- Литвинов А.С. – методы определения эксплуатационных свойств, установление их связи с конструктивными и эксплуатационными факторами, методика выбора и оптимизации параметров подвижного состава и требования к автотранспортным средствам [64];
- Ложкина О.В., Ложкин В.Н. – методы оценки воздействия транспорта в крупных городах на окружающую среду [74];

- Минкин И.М. – выполнил оценку влияния комбинированных энергетических установок на эксплуатационные свойства автомобилей [70];
- Ноздрин А.В. – улучшение некоторых технико-эксплуатационных свойств автомобилей с помощью комбинированной энергоустановки [73];
- Нагайцев М.В., Эйдинов А.А. – экологически чистый транспорт [72];
- Сайкин А.М. – методологические аспекты улучшения экологической безопасности автотранспортных средств [133, 134];
- Сидоров К.М., Kiyakli A.O. – энергетическая и топливная эффективность автомобилей с гибридной силовой установкой [136, 230];
- Сурин Е.И. – усовершенствовал методики оценки энергетической эффективности электромобилей и гибридных автомобилей [138];
- Тимков, А.Н. – выполнил научно-исследовательскую работу по разработке гибридного автомобиля на базе ЗАЗ-1102 [139];
- Трофименко Ю.В., Walsh M.P. – исследование экологической безопасности автомобилей [141, 142, 262];
- Умняшкин В.А. – усовершенствовал методики расчета и обоснования основных параметров КЭУ автомобиля [143];
- Филькин Н.М. – разработка алгоритмов управления гибридной энергоустановкой [144];
- Хамидуллин Р.П. – провел исследования по совершенствованию конструкции КЭУ параллельного типа за счет устранения жесткой кинематической связи между тепловым и электрическим двигателями [146];
- Хмелев Р.Н. – совершенствование конструкции ДВС, электрический привод транспортных средств [76];
- Эйдинов А.А. – решение проблемы обеспечения комплексной безопасности автомобилей средствами электрооборудования [151];
- Шелмаков С.В. – улучшение экологических характеристик автомобилей [150];
- Bohnes F.A., Benajes J. – воздействие на окружающую среду гибридных и электрических автомобилей в будущем [199, 203];

– Dunne J.F. [207], Liu B. [218], Li K. [219], Oleksowicz S.A. [237], Pistoia G. [240], Pipitone E. [241, 242]; Peñate B. [243] – исследование рекуперации энергии торможения;

– Pistoia G. – обобщил исследования по экологической безопасности, топливной экономичности гибридных автомобилей, приводит исследования инфраструктуры эксплуатации гибридных автомобилей [240].

Научные разработки указанных авторов послужили базой для проведения исследований, направленных на расширение теории и практики оценки и обеспечения эффективности применения гибридных автомобилей.

В последние 25 лет вслед за новыми требованиями к качествам автомобилей начинают формироваться направления оценки эксплуатационных свойств автомобилей с альтернативными типами энергетических установок. Приоритетным становится обоснование снижения экологического воздействия автомобилей на окружающую среду, повышение экономичности автомобилей. Достаточно полной многосторонней оценки возможных качеств автомобиля при использовании КЭУ, а также альтернативных видов топлива в российских условиях эксплуатации пока не представлено.

Согласно Стратегическому плану развития автомобильного транспортного комплекса РФ до 2035 года в целях оптимизации затрат на перевозки грузов и пассажиров Министерством транспорта РФ определен ряд ключевых направлений, среди которых стремление к снижению затрат при осуществлении перевозок и снижению негативного влияния автомобилей на окружающую среду и здоровье будущих поколений [131].

В комплексе направлений реализации поставленных планов к 2035 году предусматривается введение в эксплуатацию до 20 % от общего автопарка электромобилей и гибридных автомобилей. Вместе с тем ожидается, что технические требования к транспортным средствам будут развиваться, а повышение экологического класса автомобилей будет происходить за счет оптимизации работы ДВС и связанного с этим снижения удельного расхода топлива всего автомобильного транспорта на 13–15 %.

Технологии гибридных автомобилей и электромобилей предусмотрены в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, а также в Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 23 августа 2021 г. № 2290-р.

В соответствии с ГОСТ Р 59483-2021 «Колесные транспортные средства. Термины и определения» автомобиль, имеющий комбинированную энергоустановку, называется гибридный автомобиль. С 2020 года в России действует ГОСТ Р 59102-2020 «Электромобили и автомобили с комбинированными энергоустановками. Термины и определения», в соответствии с которым устанавливаются единые термины в отношении комбинированных энергоустановок гибридных автомобилей. В соответствии с ГОСТ Р 59483-2021 «Колесные транспортные средства. Термины и определения» также устанавливается понятие энергоустановка гибридного автомобиля: комбинированная энергоустановка (КЭУ).

Постановление Правительства РФ от 12.07.2017 № 832 «О внесении изменений в Постановление Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090» вводится понятие «гибридный автомобиль» [177]. Согласно внесенным в правила дорожного движения поправкам гибридный автомобиль – это транспортное средство, имеющее не менее 2 различных двигателей или 2 различных (бортовых) систем аккумулирования энергии для целей приведения в движение транспортного средства. Одновременно в этом же постановлении вводятся новые дорожные знаки, ограничивающие эксплуатацию транспортных средств с низким экологическим классом.

Таким образом, формируется правовое законодательство, которое позволяет делить транспортные средства по степени их влияния на окружающую среду.

1.2 Характеристика автомобильного парка России и других стран мира

В настоящее время во всем мире эксплуатируется уже 1,2 млрд автомобилей. Их ежегодное производство составляет 100 млн штук, 60 млн старых автомобилей утилизируется, а остальная часть составляет естественный прирост автопарка (40 млн). С учетом существующих темпов роста в ближайшие 30 лет мировой автопарк должен удвоиться.

Основным показателем оценки уровня автомобилизации во всем мире является число зарегистрированных автомобилей на 1000 жителей. В России он составляет 322, в Германии – 587, в Японии – 591, в США – 837, в Великобритании – 579, в Китае – 173 авто/1000 чел. Этот показатель зависит от площади страны, уровня экономического развития, численности населения, особенностей системы налогообложения и других факторов. Почти во всех странах мира он продолжает расти и в будущем может остановиться на отметке 900 авто/1000 чел.

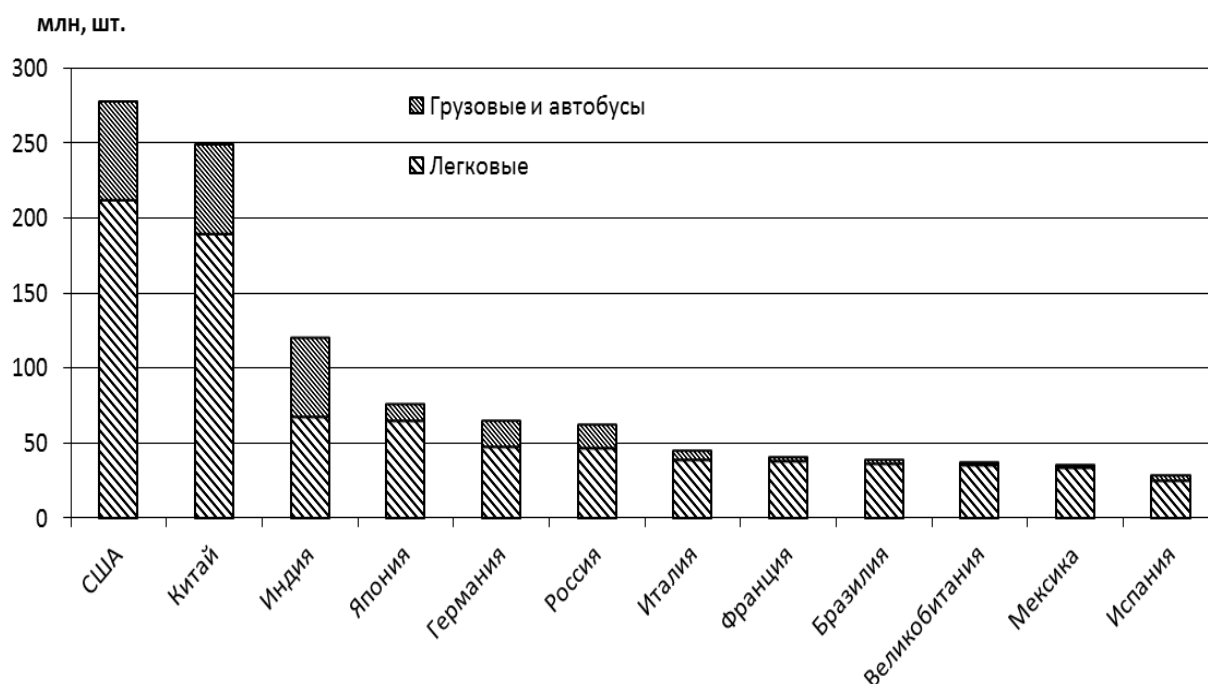


Рисунок 1.1 – Сравнение самых крупных автомобильных парков стран мира

По общей численности автопарка первое место занимает Китай – 440 млн автомобилей, второе Индия – 345 млн автомобилей, затем США – 278 млн, Япония – 76 млн, Германия – 48,5 млн, Россия – 55 млн (рисунок 1.1). Во всем мире эксплуатируется 1,5 млрд автомобилей [195].

В начале 2024 года в России насчитывалось 46 млн легковых автомобилей, при этом 27 млн из них имеют возраст более 10 лет (57 %), от 5 до 10 лет – 14,7 млн (30 %), до 5 лет – 13 % [155, 195]. При неизменной численности населения в стране автомобильный парк увеличивается ежегодно в среднем на 5 % (рисунок. 1.2).

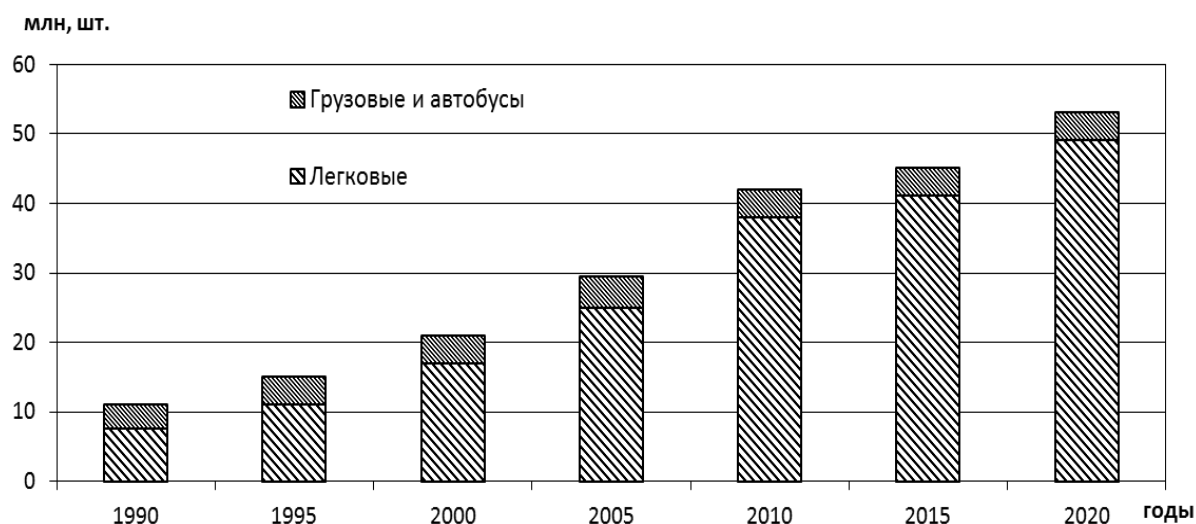


Рисунок 1.2 – Изменение численности автопарка России

По числу производимых автомобилей Россия занимает 15 место в мире (1073 тыс. шт. произведено в 2024 году).

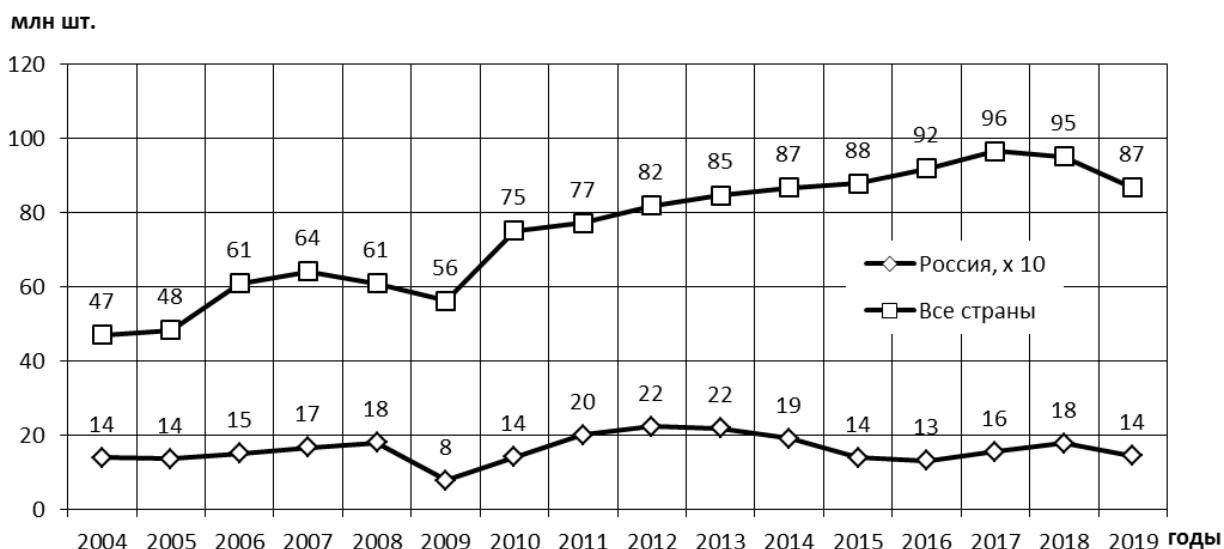


Рисунок 1.3 – Динамика производства автомобилей в России, млн ед.

На рисунке 1.3 представлен график изменения числа производимых в России автомобилей за период в 15 лет. Данный график показывает общую тенденцию к увеличению числа производимых автомобилей. Учитывая периоды падения, можно сделать вывод о том, что на производство автомобилей сильное влияние оказывает социально-экономическая обстановка в стране.

Для производства такого количества автомобилей требуются огромные трудовые, финансовые и человеческие ресурсы. Средняя стоимость одного автомобиля в России – 3,35 млн рублей (2024 год). В целом в нашей стране на покупку новых автомобилей тратится ежегодно 9 трлн рублей, что составляет 4 % ВВП и сопоставимо со всеми затратами на образование и науку или затратами на медицину. Согласно новой стратегии развития автомобильной промышленности в России до 2035 года этот показатель должен вырасти. Потребление бензина для эксплуатации автомобильного парка страны в 2024 году составило 44 млн тонн бензина и 85 млн тонн дизельного топлива, что в стоимостном выражении составило 5,8 трлн рублей.

Развитие автомобильного транспорта характеризуется такими параметрами, как численность автопарка, рост численности автопарка, относительная

оснащенность населения автомобилями и их доступность, а также другими характеристиками.

При этом в течение всего времени существования автомобилей наблюдались кризисы в развитии, т.к. их производство зависит от потребностей человека и социальных, экономических и даже политических аспектов.

Так, в период существования Советского Союза автомобильный транспорт являлся средством или инструментом достижения хозяйственной деятельности. Все предприятия автомобильной отрасли были государственными, и развитие осуществлялось согласно запросам государства. Это ставило на передний план некоторые эксплуатационные характеристики: грузоподъемность, пассажироместимость, приспособленность к условиям эксплуатации. Другие эксплуатационные свойства тоже развивались, но очень медленно.

Постепенно с появлением понятия «персональный автомобиль» – автомобиль для личного пользования – с 1950 по 1970 г. активно стали развиваться такие свойства, как эргономика и эстетика. В основных качествах легковых автомобилей стал преобладать дизайн и комфорт.

В 70–80-е гг. с расширением дорожной сети, увеличением численности автопарка и повышением скоростей движения бурно развивается транспортная безопасность автомобилей.

С 1995 по 2015 г. Россия все больше стала интегрироваться в общемировые тенденции развития автотранспорта. Этот период характеризуется переходом от требуемых эксплуатационных свойств к конкурентным преимуществам, а также переходом на общемировые стандарты экологической безопасности.

В настоящее время автомобильный транспорт как отдельная отрасль уже не рассматривается, поскольку большая часть автотранспортных предприятий является частной и развитие автомобилей подчинено желанию по-

требителя. Это означает, что все больше будут преобладать экономические свойства, эргономика, эстетика и безопасность.

В то же время роль государства в автомобилизации также высока: общемировой тенденцией государственного регулирования автомобильной отрасли во втором десятилетии XXI века является стимулирование повышения экологической безопасности транспорта как одного из основных загрязнителей окружающей среды. Причем в европейских странах этот подход реализуется настолько жестко, что приводит к кардинальным изменениям в развитии автотранспорта: происходит вытеснение автомобилей с ДВС электромобилями (хотя экономическая и экологическая составляющая этого решения противоречива).

Количество эксплуатируемых в России гибридных автомобилей на начало 2025 год составило 485 тыс. шт. А их доля в общей численности растет и к 2030 году по прогнозам МАДИ [142] должна достигнуть 15 % от общего числа автомобилей.

1.3 Существующие оценки экологической безопасности автомобилей в РФ и других странах

Удельные значения выбросов загрязняющих веществ от сгорания топлива приведены в Руководстве по инвентаризации выбросов 2013 [184]. Требования к токсичности отработавших газов автомобилей приведены в Постановлении Правительства № 609 от 30.04.2014 [190]. Схема введения экологических классов в странах ЕС, России и Таможенного союза приведена в докладе Трофименко Ю.В. [142].

Измерение выбросов загрязняющих веществ в отработавших газах автомобилей с КЭУ регламентируется ГОСТ Р ИСО 23274-2013 [157].

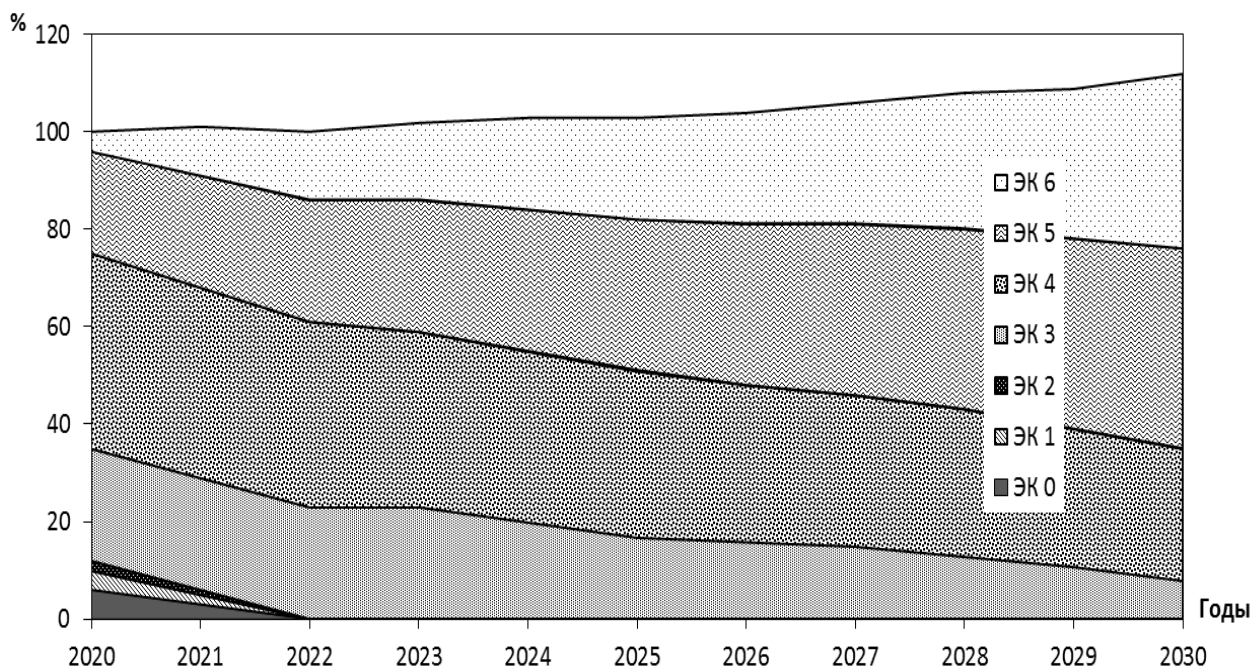


Рисунок 1.4 – Состав автопарка легковых автомобилей по экологическим классам в Москве по годам с прогнозом до 2030 года [142]

Согласно прогнозу (Приложение А) доля электромобилей не превысит 6 %, доля автомобилей с КЭУ составит 10 %, дизельных – 12 %; газовых – 7 %. Численность всего автопарка вырастет на 25 % (рисунок 1.4).

В Приложении А также представлен прогноз изменения структуры парка автомобилей в России до 2031 года по данным исследований Московского автодорожного института. Согласно прогнозу доля легковых автомобилей с комбинированной энергоустановкой вырастет до 15 %. Доля грузовых автомобилей и автобусов составит 4%.

Из Национального доклада РФ о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом от 2021 года, известно, что при сжигании топлива автомобилями за год выброшено 250 млн т парниковых газов в CO_2 -экв. Несмотря на сокращение выбросов парниковых газов отдельными автомобиля-

ми, с 2000 года наблюдается ежегодный рост общего объема выбросов, что объясняется ростом численности автопарка в целом.

В докладе [142] представлен прогноз оценки валовых выбросов парниковых газов автомобильным транспортом, сделанный в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).

В крупных городах на автомобильный транспорт приходится 15 % всех выбросов CO_2 . Из них на долю легковых автомобилей – более 50 %.

Для достоверной оценки выбросов парниковых газов транспортом в городах используются следующие данные:

- среднее число поездок, совершаемых каждым видом транспортом в день;
- средняя дистанция поездки, км;
- средняя наполняемость транспорта, пасс/ТС;
- средняя скорость движения, км/ч;
- распределение автомобилей по видам потребляемого топлива, %;
- средний удельный расход топлива или электроэнергии автомобилями, л/км ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{км}$);
- удельные значения выбросов CO_2 для разных видов топлива, г/кг топлива или для транспортной работы г/пасс·км, или $\text{кг}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ для электроэнергии).

Вместе с тем существенной проблемой является отсутствие объективных данных о расходе топлива для оценки валовых выбросов ПГ автотранспортом, т.к. автопроизводители указывают в характеристиках средний расход в процессе испытаний по стандартному протоколу. Реальный же эксплуатационный расход оказывается на 20–40 % выше.

При этом экологические нормы, принятые для автомобилей с дизельным двигателем, оказались настолько трудновыполнимы, что автомобильные концерны стали умышленно занижать значения реальных выбросов по отдельным веществам в 35–60 раз.

Российские справочные системы [163] также подтверждают, что расход топлива в эксплуатации отличается от рекламируемого заводского.

Оценка эмиссии ПГ для легковых автомобилей на разных видах топлива (энергии) показывает, что при использовании бензина выбрасывается 84 г CO_2 -экв/МДж, при использовании природного газа – на 21 % меньше, сжиженного нефтяного газа – на 13 % меньше. Наибольшие выбросы возникают при использовании электрической энергии от ТЭС, работающих на угле [142].

Во многих странах ведется оценка социальных издержек при выбросе 1 т CO_2 -экв. (Приложение А). В Российской Федерации не сформулирована модель (концепция) возможного учета и регулирования парниковых эмиссий в качестве инструмента национальной экономической политики. Однако исследования в данной сфере существуют. По данным исследований Ложкиной О.В. [74] этот показатель может быть определен на основании сопоставления данных с другими странами. Применяются также другие методы анализа оценки воздействия транспорта на окружающую среду [216, 234].

По прогнозам аналитиков США к 2050 году число автомобилей с экологически чистыми двигателями (включая КЭУ, подзаряжаемые КЭУ, электрические и водородные) должно приблизиться к 80 %.

Уже к 2035 году каждый проданный в мире автомобиль будет иметь электрический привод. На рисунке 1.5 показаны продажи электромобилей по странам мира.

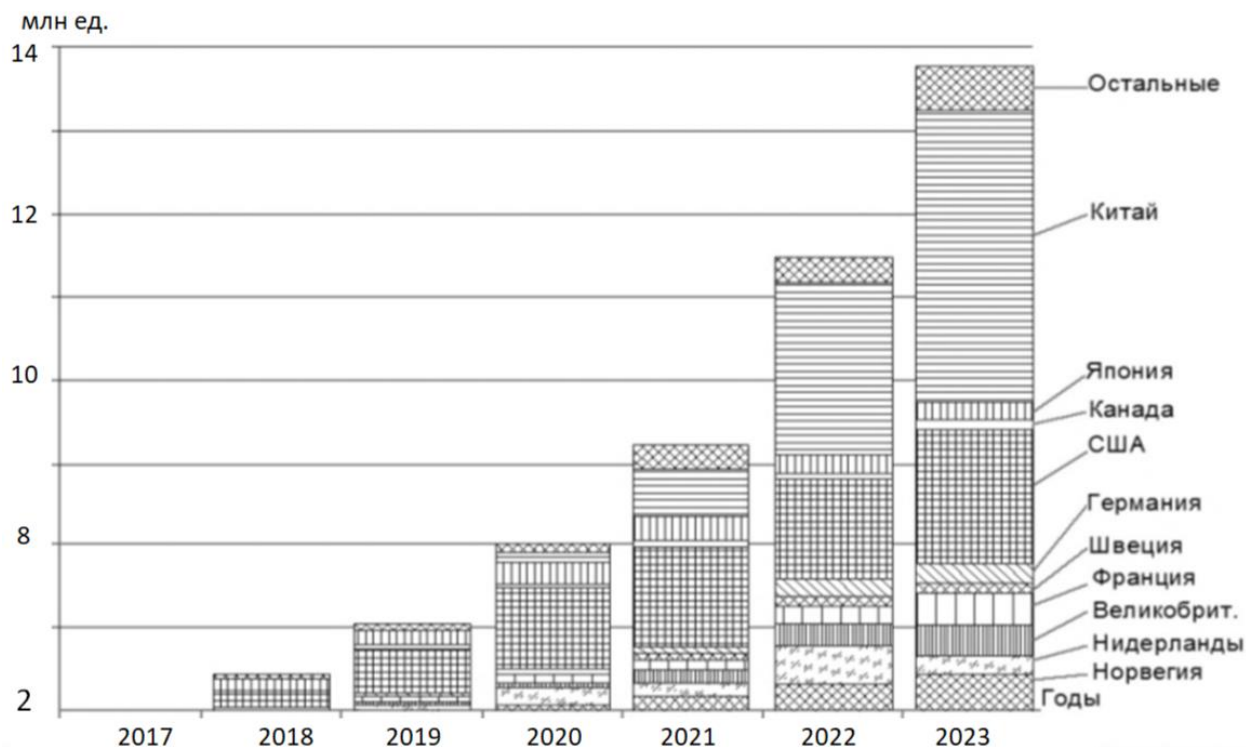


Рисунок 1.5 – Продажи электромобилей и подзаряжаемых гибридных автомобилей по странам мира

На рисунке 1.6 показаны темпы роста парка электромобилей по странам мира. Однако следует отметить, что большая доля роста численности автопарка вызвана искусственной продажей. После отмены налоговых льгот и других преференций численность автопарка в странах снижаться.

Наиболее быстрыми темпами растут продажи электромобилей в Китае.

С 2017 по 2024 г. в США, Норвегии, Гонконге, Германии и других странах мира рост численности электромобилей стал замедляться в связи с отменой налоговых льгот. Однако вместе с ростом производства электромобилей продолжает снижаться и цена на них. Так, за последние 15 лет цена на литий-ионные аккумуляторы снизилась в 10 раз и продолжает снижаться. В ближайшие годы также ожидается рост численности автопарка электромобилей за счет продолжающегося ужесточения экологических норм в странах мира.

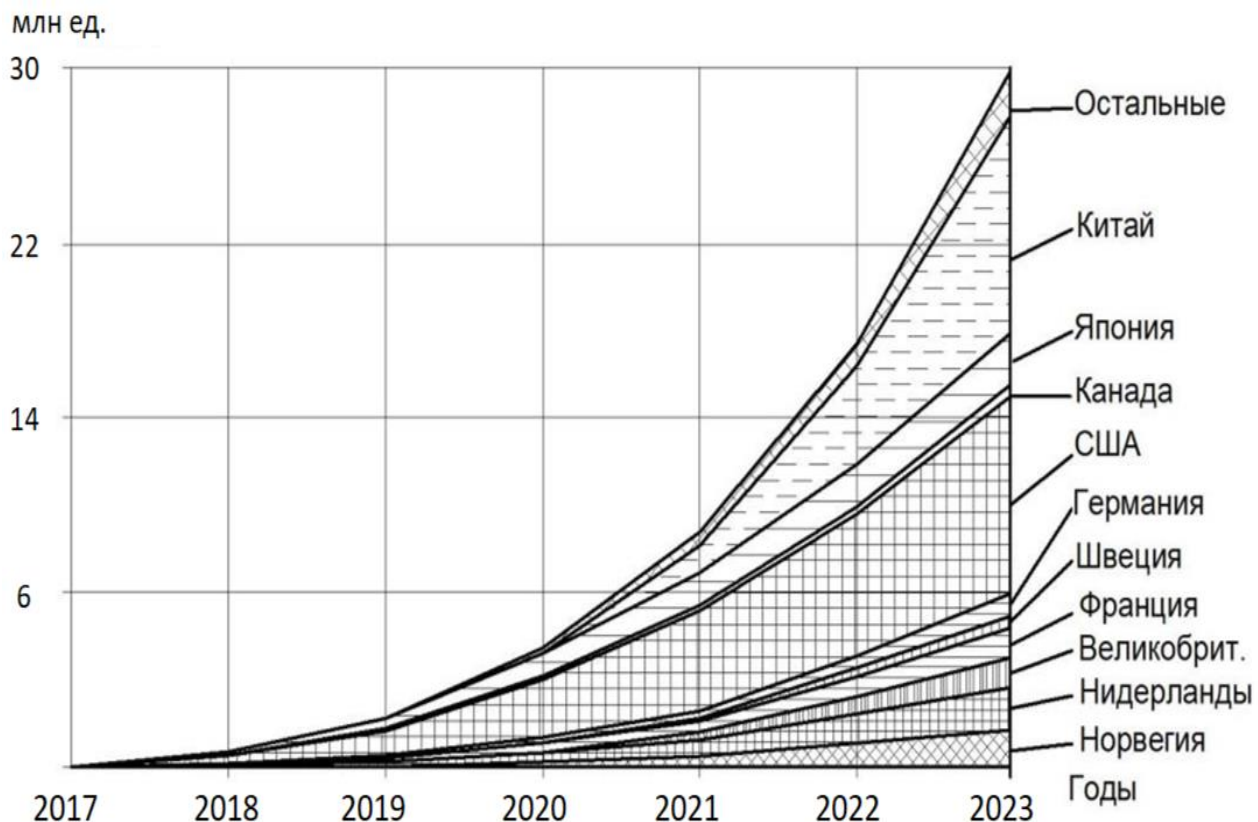


Рисунок 1.6 – Темпы роста численности парка электромобилей и подзаряжаемых гибридных автомобилей по странам мира

Существующие исследования в МАДИ в отношении экологической безопасности автомобилей представлены в исследованиях А.С. Литвинова и Я.Е. Фаробина [64], В.К. Азарова [2–8], А.М. Сайкина [133-134], А.В. Ноздрина [73], А.В. Козлова [57] и др. авторов.

Методики оценки экологической безопасности автомобилей с учетом степени токсичности загрязняющих веществ разработаны В.К. Азаровым [2–8].

1.4 Закономерности в развитии конструкции энергетических установок автомобилей

Наиболее значительные изменения в конструкции автомобилей наблюдаются с 1990 года, что обусловлено в первую очередь введением экологических требований к выпускаемым автомобилям. Одновременно с этим оказывает влияние естественное развитие техники в условиях рыноч-

ной конкуренции. Если 20 лет назад в автопарке страны преобладали автомобили с механической трансмиссией и отсутствующими системами снижения токсичности, то начиная с 2020 года ситуация изменилась на противоположную. По причине рыночной конкуренции вытесняются автомобили с управляемыми механически трансмиссиями. Совершенствование экологического законодательства стимулирует совершенствование конструкции энергоустановок. Так с конца 20 века в ДВС было широко внедрено: система контроля токсичности отработавших газов с каталитическими нейтрализаторами и датчиками кислорода, электронная система управления фазами газораспределения (Variable valve timing), система электронного управления дроссельной заслонкой (E-GAS), впускной коллектор с изменяемой длиной (Variable-length intake manifold), система непосредственного впрыска топлива в цилиндр (Gasoline direct injection) и турбонаддув впускного воздуха [208]. В дизельных ДВС также внедрены системы восстановления оксидов азота за счет впрыска сульфата аммония.

Нововведения привели к росту литровой мощности ДВС, повысилась его экономичность и экологическая безопасность.

Из графика (рисунок 1.7) следует, что развитие конструкции ДВС характеризовалось S-образной кривой.

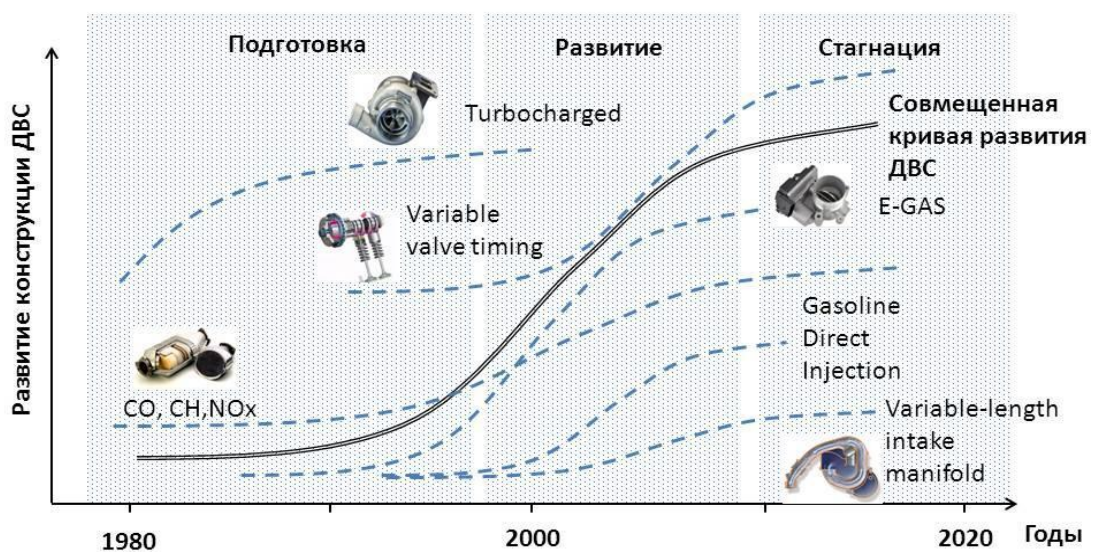


Рисунок 1.7 – Совмещенный график интенсивности развития ДВС

Наиболее интенсивное развитие происходило с 1991 по 2012 годы. Однако все попытки дальнейшего развития конструкции пока не получили распространения. Кардинальных изменений в конструкции ДВС уже не происходит.

Данный процесс совпадает с теорией развития техники, описанной Ю.П. Саломатовым [135], история использования любой технологии заканчивается стагнацией, что и наблюдается в настоящее время в конструкции ДВС [85]. В 2020-2024 годах кардинальных изменений в конструкции двигателей не происходит. Развитие сводится к доработке существующих конструкций с целью повышения надежности и удешевления. Это говорит об этапе окончания развития ДВС и наступления «стагнации». Следуя из того что развитие техники не может остановиться «стагнация» неизбежно приводит к появлению абсолютно новых технологий [241].

На смену исчерпавшему развитие ДВС приходят альтернативные энергоустановки. К таковым в России относятся газовые двигатели, комбинированные энергоустановки, электрические двигатели. Согласно Стратегии развития транспорта в РФ до 2030 года их доля должна увеличиться до 26%. Кардинальным толчком в развитии эксплуатационных свойств могут стать полностью электрические энергоустановки. Характеристики электрических двигателей лучше приспособлены к динамичным разгонам и торможениям, они имеют более высокий КПД, не загрязняют воздух в городах. Однако, не смотря на множество мер стимулирования и экономической поддержки развитие электромобилей происходит очень медленно. А рост их численности в других странах обусловлен активным субсидированием и стимулирующими льготами со стороны государства. После отмены стимулирующих мер поддержки продажи электромобилей резко падают. На развитие электрических энергоустановок с накопителем энергии высокой емкости также может повлиять и недостаток первичного сырья для их изготовления – лития. В 2020-е годы электромобиль все ещё не может заменить автомобиль с ДВС ввиду имеющихся недостатков ограниченного пробега на одном заряде, длительности самого заряда. Как следствие электромобили не заменя-

ют парк автомобилей с ДВС, а дополняют его, становясь 2-ми или 3-ми у владельцев.

Более приемлемым является переход от энергетических установок на основе ДВС к комбинированным энергетическим установкам. В такой комбинации, где первоисточником энергии является традиционный ДВС, а второстепенным – электрическая аккумуляторная батарея, появляются более высокие перспективы улучшения характеристик энергетических установок автомобилей.

Первые электромеханические комбинированные энергоустановки появились более 100 лет назад, когда Фердинанд Порше установил на известный в то время электромобиль автономный бензиновый электрогенератор. Это позволило увеличить запас хода электромобиля. Однако конструкция такой энергоустановки на основе имевшихся в то время технологиях получилась очень громоздкой и в последствии распространения не получила.

На протяжении 100 лет, прошедших после впервые предложенной схемы энергетической установки с двумя двигателями, попытки их внедрения в серийный автомобилих продолжаются, но не всегда с положительным результатом. Это можно объяснить неверной оценкой эксплуатационных свойств гибридных автомобилей.

Во время активной автомобилизации растет потребность в автомобилях: это значит, что необходима простая, доступная и несложная в эксплуатации конструкция. Именно поэтому сложные автомобили с КЭУ не пользовались спросом.

К началу XXI века автомобилизация достигла такого уровня развития, когда простые и практичные конструкции уже не могли удовлетворять требованиям по функциональным свойствам (эргономике, безопасности и экономичности). Это привело к необходимости дальнейшего совершенствования энергоустановок и распространению электромеханических трансмиссий. Но перейти на этап серийного производства и устойчивых продаж получилось далеко не у всех. Внедрение автотранспортных средств с КЭУ в мире происходит постепенно, глобального перехода на новые типы энергоустановок не

происходит. В России оно началось с начала эксплуатации в 1998 году автомобилей с КЭУ смешанной схемы (Hybrid Synergy Drive) Toyota Prius [47]. Эксплуатация автомобилей данной компоновочной схемы показала их высокую надежность. Не смотря на отсутствие каких-либо законодательных стимулов схема Hybrid Synergy Drive стала наиболее популярным типом КЭУ. За последние 25 лет во всем мире их выпущено более 13 млн шт.

Российские автопроизводители АО «АВТОВАЗ», ООО «УАЗ», ПАО «КАМАЗ», Группа ГАЗ и другие имеют свои концептуальные разработки КЭУ. Однако их серийное производство в настоящее время не осуществляется. Также нужно учитывать, что согласно законам развития техники [135] энергетическая установка на основе ДВС с коробкой переменных передач исчерпала свои возможности роста. Это подталкивает к поиску новых решений, которыми могут стать комбинированные энергоустановки [68, 71].

Важным фактором расширения эксплуатации автомобилей с КЭУ являются эргономические свойства автомобилей. В большинстве типов КЭУ крутящий момент на ведущих колесах создается электрическим приводом, который не требует частых переключений режимов работы трансмиссии. А одним из недостатков ДВС является необходимость его адаптации к условиям движения с помощью многоступенчатых трансмиссий. Частое переключение режима работы трансмиссии для водителя является не удобным, требует навыков, поэтому стали развиваться автоматические трансмиссии. В масштабах всей истории автомобиля это произошло очень быстро. В течение 25 лет количество продаваемых автомобилей с автоматическими трансмиссиями. По данным аналитического агентства «Автостат», в 2021 году их доля составляла 66 % и продолжает расти. А в 2024 году доля продаваемых автомобилей с МКПП сократилась до 10%. Автоматическими трансмиссиями оснащаются автобусы и грузовые и легковые автомобили даже в самой массовой категории М1. В настоящее время это гидромеханические преселективные ступенчатые, и бесступенчатые трансмиссии.

Важным является то, что никаких законодательных предпосылок к развитию автоматических трансмиссий нет. Их внедрение обусловлено только рыночной конкуренцией и потребительским спросом на эргономику.

Бесступенчатые трансмиссии, устанавливаемые на автомобили массового класса с 2010 года, отвечают самым высоким требованиям эргономики. Это означает, что дальнейшее их развитие за счет эргономических свойств происходить не будет. Однако в условиях рыночной конкуренции развитие остановиться не может и на смену имеющимся технологиям должны прийти более совершенные. С этой точки зрения следующим направлением развития станут те эксплуатационные свойства, развитие которых еще не исчерпано. В энергоустановках с первоисточником энергии ДВС это экономичность, тягово-динамические свойства. Развитие таких свойств обеспечивается только за счет внедрения электрических приводов.

Комбинированные энергоустановки имеют высокий потенциал дальнейшего развития. Однако внедрение таких технологий является рискованным для автопроизводителей. Для минимизации технологических и экономических рисков ввод КЭУ может начаться с параллельной схемы. Такие схемы уже начинают внедряться. В зависимости от мощности тягового электропривода это может быть маломощная стартер-генераторная система, как в автомобилях компаний Volvo и Geely (2021). При увеличении мощности тягового электропривода улучшаются тягово-скоростные свойства: такие схемы имеются на автомобилях Honda, BMW, Augus. С применением электрического привода расширяются возможности передачи крутящего момента на несколько ведущих осей, например система e-4WD для переднеприводных автомобилей Mazda, Nissan.

Таким образом, создаются предпосылки для появления в автопарках страны автомобилей с комбинированными энергоустановками, имеющими отличительные эксплуатационные свойства.

На рисунке 1.8 показан график развития мирового парка автомобилей с наложением основных этапов развития энергоустановок. График показывает, что активное внедрение технологий КЭУ в серийных автомобилях началось

на этапе ужесточения требований экологической безопасности, а также совпадает с активным развитием трансмиссий. И, если фактор влияния экологических требований закономерен, то развитие трансмиссий продиктовано естественными процессами развития техники в условиях рыночной конкуренции.

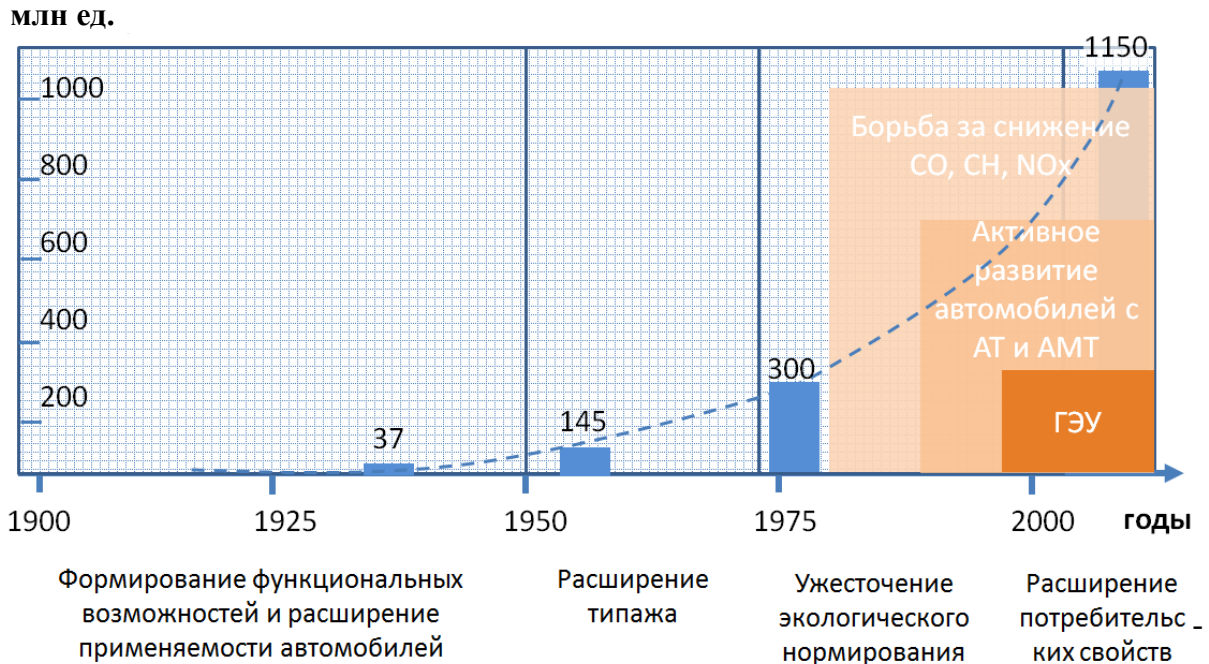


Рисунок 1.8 – Этапы развития парка автомобилей и требований к ним

Анализ развития энергоустановок показывает, что расширение парка гибридных автомобилей в эксплуатации является естественным процессом, не стимулируемым искусственно. Это происходит ввиду роста эргономических требований, требований к энергоэффективности и динамическим качествам автомобилей, формируемых законами рыночной конкуренции. Комбинированные энергоустановки сочетают преимущества ДВС и электрического привода и соответствуют существующим требованиям [53, 84].

1.5 Развитие парка гибридных легковых автомобилей в мире

Эксплуатация гибридных автомобилей началась в России с начала 2000-х годов, после начала серийного производства их в 1998 году в Японии.

Статистические государственные и частные агентства большинства стран мира размещают информацию по численности автопарков и числу проданных автомобилей. Публикуют информацию и сами автопроизводители. Это позволяет оценить текущее развитие автопарков крупных стран мира. Значительная часть исследований автопарка выполнена ранее [77, 109, 116], однако статистическая информация постоянно обновляется.

В США эксплуатируется более 10 млн гибридных автомобилей. В 2021 году было продано 370 тыс. автомобилей с КЭУ и еще 400 с подзаряжаемыми КЭУ. Темпы роста численности также растут. Аналитические агентства прогнозируют, что через 10 лет доля гибридных и электрических автомобилей в общем объеме продаж составит более 50 %. Спрос на гибридные автомобили в США определяется их более низким расходом топлива, доступной ценой и стимулирующими государственными мерами поддержки.

В стране действуют программы субсидирования покупки новых гибридных автомобилей при сдаче старых в утилизацию. В таксопарках США значительная часть автомобилей имеет гибридный двигатель. Особенностью автопарка также является эксплуатация гибридных автомобилей с возрастом от 10 до 15 лет для частного использования. Это можно объяснить их высокой надежностью, низкими затратами на обслуживание и малым расходом топлива. Налоговая и страховая система США также стимулирует эксплуатацию автомобилей с малой мощностью ДВС и низким расходом топлива.

В Евросоюзе в связи с новыми требованиями по ограничению выбросов углекислого газа в 2017 году автомобили на основе с ДВС стали не выгодными для продажи. К 2021 году на автомобильном рынке остались только те производители, которые имеют модели с комбинированными, электрическим и водородно-топливными энергоустановками. Законодательство позволяет эксплуатировать автомобили с ДВС с большими выбросами CO₂, однако продажи таких автомобилей жестко лимитированы квотами на выброс и объемами продаж. Ежегодный прирост гибридных автомобилей в ЕС составляет 1,9 млн шт. Гибридные и электрические автомобили в ЕС в 2021 году по продажам превысили бензиновые ДВС.

Активному внедрению гибридных автотранспортных средств в ЕС способствуют государственные субсидии на покупку, производство и разработку. Автотранспортная сеть стран ЕС отличается большим количеством городских и пригородных участков. В таких условиях средняя скорость и длина поездки низкая, что и стимулирует расширение автопарка экологически чистых автомобилей. В автопарках такси гибридные автомобили также популярны ввиду низкого расхода топлива в условиях городского движения, а также низкими затратами на ремонт.

Пробег до продажи в автопарках такси гибридных автомобилей европейских стран составляет 300–500 тыс. км. В условиях налогового стимулирования с государственного субсидирования покупка автомобиля с КЭУ в ЕС является более выгодной, чем автомобиля с ДВС. Многие страны союза декларируют на государственном уровне полный отказ от автомобилей с ДВС до 2035 года. Однако уточняется, что это не относится к ДВС в составе комбинированной энергоустановки.

Япония является родоначальником гибридных автомобилей. Их развитие именно в Японии обусловлено высоким уровнем автомобилизации населения в малой по протяженности улично-дорожной сети. В таких условиях свойства экологической безопасности являются очень значительными. Жесткого запрета на автомобили с бензиновым ДВС в этой стране нет, и именно гибридные автомобили, а не электромобили представляются в этой стране основным направлением снижения выбросов в окружающую среду. Ежегодные продажи гибридных автомобилей в Японии в 2024 году составляли 2 млн шт. За все время японские автопроизводители продали более 25 млн гибридных автомобилей по всему миру.

Отличительной особенностью автопарка Японии является большее число разнообразных модификаций КЭУ на разных моделях от самых малых классов городских автомобилей категории M_1 до грузовых категории N_3 .

Условия эксплуатации в Южной Корее также характеризуются высоким уровнем автомобилизации населения при высокой плотности населения, что повышает требования к свойствам экологической безопасности автомобилей.

Автопроизводители Южной Кореи, как и Японии, сориентированы большей частью на внешние рынки, что также обуславливает тенденции развития автомобилей. В Южной Корее в 2024 году было зарегистрировано 1,5 млн гибридных автомобилей.

Китайский автопарк является самым крупным в мире. Спрос на гибридные автомобили здесь обуславливается в первую очередь активным государственным стимулированием. Их доля в общей численности автопарка растет и в 2024 году составила 51 %, что в абсолютных единицах составляет 160 млн шт. Автопроизводители Китая активно осваивают передовые технологии, за счет чего значительно расширяется модельный ряд и предложения. Программа развития транспорта Китая предусматривает постепенный рост гибридных и электрических автомобилей до 75 % к 2030 году.

В России. Климатические и географические условия нашей страны отличаются большими средними пробегами, перепадами температур от -50 до +40 °С. Высокая экологическая нагрузка от транспорта при этом наблюдается только в крупных городах. В связи с этим в России отсутствуют какие-либо экономические стимулирующие меры по эксплуатации гибридных автомобилей. Эти обстоятельства выводят на первое место в развитии автопарка с КЭУ их эргономические свойства и экономичность. А ввиду того, что большая часть автомобильного рынка России формируется иностранными компаниями, их цена очень значительна и затрудняет получение экономического эффекта от эксплуатации. Не смотря на это, после 2024 года появились серийные гибридные автомобили, собранные в России из комплектов китайских автопроизводителей. Это сделало их еще более доступными. Разница в стоимости по сравнению с бензиновыми аналогами удерживается на уровне 10-15%. При такой разности в цене и ввиду значительной экономии топлива, а также других преимуществ такие автомобили могут быть выгоднее в эксплуатации. Однако, отсутствие понимания их эффективности в заданных условиях эксплуатации без имеющегося опыта затрудняет практическое внедрение. Это также подтверждает актуальность диссертационной работы.

Все это создает предпосылки для развития собственного производства высокотехнологичных энергоустановок. Создание таковых на отечественной базе уже существует – комбинированная энергоустановка автомобилей Augus, включая ДВС, электрическую машину, батарею и инвертор, созданы российскими предприятиями.

Особенностью существующего автопарка в России является эксплуатация автомобилей с КЭУ, ввезенных из других стран. Наибольшая доля гибридных автомобилей в общей численности автопарка наблюдается в восточных городах России: Хабаровске, Новосибирске, Владивостоке, Южно-Сахалинске, Благовещенске. Гибридные автомобили в России используются для коммерческого использования в таксопарках и для личного использования в крупных городах. Общая численность гибридных автомобилей в России на начало 2025 года достигла 485 тыс. шт.

Концептуальные разработки в области гибридных автомобилей имеют большинство отечественных автопроизводителей легковых, грузовых автомобилей и автобусов.

Разработками серийных автомобилей с КЭУ занимаются в Центральном научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте «НАМИ» [45, 63, 70, 72, 139, 232].

С 2017 года на базе НАМИ по заказу Минпромторга России организовано производство автомобилей премиум класса AURUS, имеющих КЭУ параллельного типа. Заявленный объем производства в 2019 году – 500 шт. в год, а с 2021 года – от 2000 шт. в год. КЭУ разработана и изготавливается из комплектующих, произведенных в России. С начала 2024 года предприятие «Моторинвест» запустило сборку серийных гибридных автомобилей категории M₁ Evolute I-Space.

На рисунке 1.9 показан график числа эксплуатируемых гибридных автомобилей в разрезе отдельных стран и по всему миру. Данные собраны и обобщены на основе статистики продаж автомобилей в отдельных странах мира. Из графика следует, что каждый год парк гибридных автомобилей увеличивается на 7 млн шт. [116].

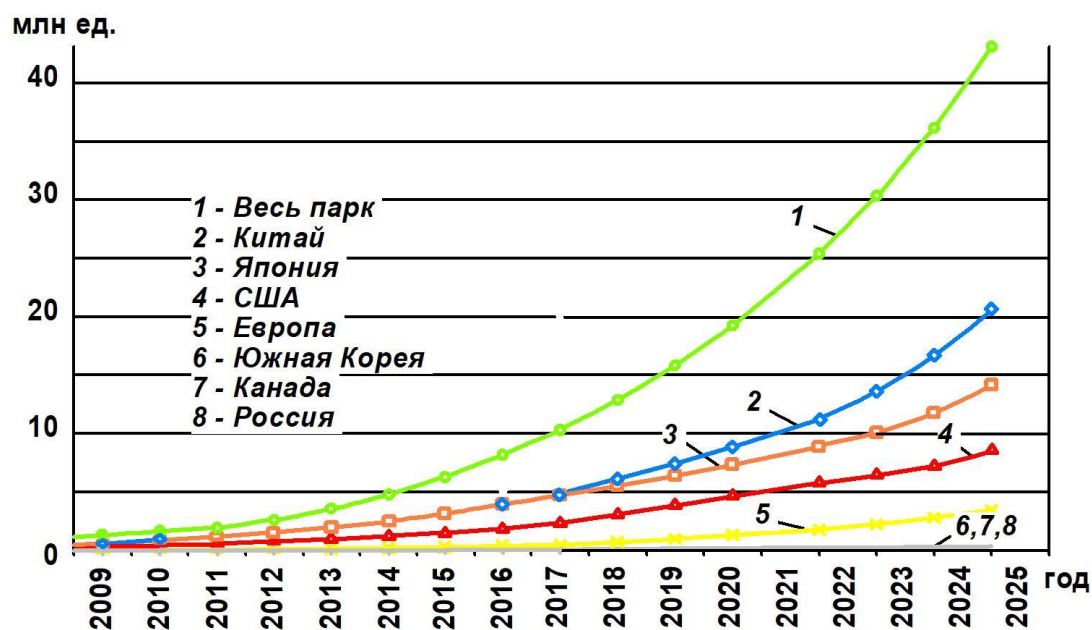


Рисунок 1.9 – График числа эксплуатируемых гибридных автомобилей по странам мира

На рисунке 1.10 показана диаграмма распределения парка гибридных автомобилей во всем мире по моделям.

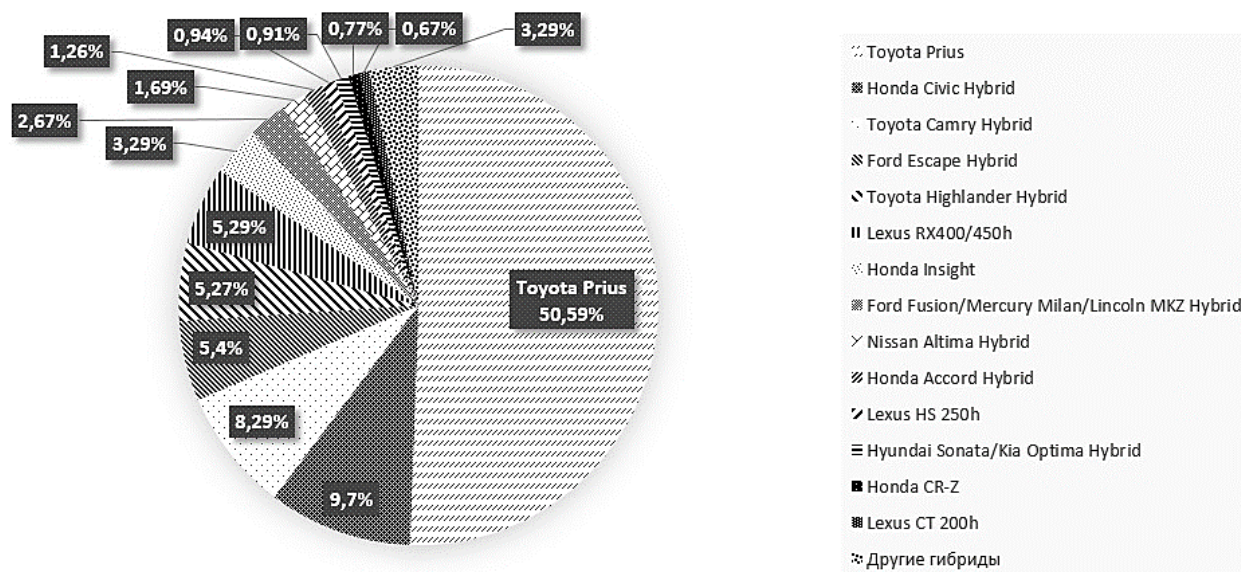


Рисунок 1.10 – Распределение парка гибридных автомобилей по маркам и моделям (по часовой стрелке, начиная с Toyota Prius)

Наибольшую долю (80 %) занимают автомобили с КЭУ смешанного типа, выпускаемые компаниями Toyota и Lexus.

Статистический опрос показывает, что к наиболее важным эксплуатационным свойствам гибридных автомобилей относятся:

- *низкий средний расход потребляемого углеводородного топлива;*
- *высокий комфорт и технологичность используемых решений;*
- *высокие тягово-динамические свойства при двигателе малого рабочего объема;*
- *высокая надежность, которая обеспечивается заменой сложных механических систем электрическими.*

Вместе с тем недостатками гибридных автомобилей, которые отмечают автовладельцы, являются:

- *более высокая первоначальная стоимость;*
- *малое число предприятий по обслуживанию гибридных автомобилей.*

1.6 Развитие парка гибридных автобусов в мире

Созданием автобусов с КЭУ занимаются автопроизводители США, Европы, Китая, Южной Кореи и Японии. Среди американских компаний наиболее активно гибридными автомобилями занимались: Azure Dynamics, Allison Transmission.

Некоторые примеры выпускаемых в США автобусов с КЭУ:

- коммерческий автобус малой пассажироместимости американской компании Azure Dynamics (объем производства 500 шт. в год);
- национальная американская лаборатория NREL совместно с компанией Allison Transmission выпустила опытные образцы длинномерных пассажирских автобусов с КЭУ (разработан опытный образец);
- опытные образцы автобусов с КЭУ разработала компания Eaton;
- компания Enova производила грузовые автомобили с КЭУ в количестве 2500 шт. Коммерческие автомобили и автобусы с КЭУ в США используются почтовыми и курьерскими службами, а также государственными автоперевозчиками.

Создание автобусов с КЭУ в Европе активно началось в 2010 году. Несколько опытных машин эксплуатировалось в Германии, Франции, Бельгии.

Большее распространение автобусы с КЭУ получили в Великобритании – в Лондоне эксплуатировалось несколько десятков таких машин.

Коммерческие разработки автобусов с КЭУ имеют: немецкие компании MAN, KirschBuss, Mercedes; шведские компании Volvo и Scania.

В конструкции гибридных автобусов используются как правило последовательные и параллельные схемы КЭУ. При использовании последовательной схемы за основу конструкции используют тяговый привод троллейбуса, который затем оснащают автономным электрогенератором и накопителями электрической энергии. Последовательную схему КЭУ с суперконденсаторами в качестве накопителей энергии модифицировала в серийном автобусе MAN Lion's City немецкая компания MAN Truck & Bus, а Scania создает модификацию автобуса с КЭУ OmniLink Voith (Австрия) и суперконденсаторов Maxwell (США).

В КЭУ параллельной схемы используется автоматическая трансмиссия автобуса с ДВС, между которыми встраивается электрическая машина.

Серийно выпускаемые автобусы с КЭУ:

- пассажирский автобус с комбинированной энергоустановкой британской компании BAE Systems (разработан опытный образец);
- автобус с КЭУ австрийской компании Voith (разработан опытный образец);
- КЭУ для автобусов и грузовых автомобилей GM совместно с компанией Allison Transmission (серийное производство).

Автобус с КЭУ BYD F3DM оснащается электродвигателем и бензиновым двигателем объемом 1 л. Суммарная мощность энергоустановки составляет 167 л.с. При этом мощность ДВС составляет всего 67 л.с.

Энергоустановка BYD F3DM Hybrid способна функционировать в двух режимах: на бензиновом топливе либо в режиме комбинированного

привода, используя и работу аккумуляторов. Также установлен новый тип генератора и система контроля над работой двигателя. В автономном режиме модель BYD F3DM Hybrid может проехать до 100 км. Комбинированная трансмиссия – собственная разработка компании BYD, на сегодняшний день являющейся одним из крупнейших в мире производителей аккумуляторных батарей.

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

В Москве эксплуатировались автобусы Euro V Hybrid с КЭУ, а также гибридные автобусы Тролза-5250. По информации производителя это транспортное средство расходует 29 л топлива на 100 км, сокращая потребление масла и выбросы отработавших газов в атмосферу. Однако в настоящее время в Москве полностью отказались от использования автобусов с ДВС ввиду неизбежного ухудшения их свойств экологической безопасности при эксплуатации – автобусы с дизельными двигателями заменяются электробусами, которых в 2024 году уже 2200 шт.

В Пекине также хорошо распространен общественный транспорт с КЭУ – там эксплуатируется около тысячи автобусов.

1.7 Производство и эксплуатация гибридных автомобилей в России

Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года с перспективной до 2035 предусматривает реализацию программы по снижению негативного воздействия автомобильного транспорта на окружающую среду и экономию энергоресурсов [131]. В рамках реализации этой программы Правительством РФ принят «Комплексный план мероприятий поддержки производства и использования экологически чистого транспорта», который реализуется в насто-

ящее время [165]. Согласно одному из пунктов плана Министерство промышленности и торговли, Министерство финансов при взаимодействии с другими Министерствами, при поддержке научного сообщества разрабатывают предложения, направленные на увеличение производства и использования экологически чистых автомобилей, их компонентов и соответствующей заправочной инфраструктуры. Одной из ключевых задач, решаемых в рамках реализации данных мероприятий, является определение показателей экономичности автомобилей и степени их влияния на окружающую среду.

Развитие технологии гибридных автомобилей и электромобилей предусмотрено в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, а также в Концепции по развитию производства и использования электрического автомобильного транспорта в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 августа 2021 г. № 2290-р.

С 2019 года в России действует новый национальный стандарт (ГОСТ Р 58554-2019), классифицирующий транспортные средства по показателям энергетической эффективности [158].

Таким образом, в РФ формируется правовое законодательство, направленное на практическое внедрение гибридных автомобилей в эксплуатацию.

Как было отмечено ранее, большинство автопроизводителей в России имеют разработки автомобилей с КЭУ. Как правило, данные проекты субсидировались государством при софинансировании частных предприятий.

Самым значимым для внедрения новых экологически совершенных силовых установок является такой сектор автомобильного парка, как автобусы и грузовые автомобили [259].

Наиболее крупные проекты, реализуемые при поддержке государства:

Государственное стимулирование разработки и внедрения энергоэффективных двигателей реализуется через государственные фонды развития производства, поддержки предприятий, а также за счет научных грантов. Ос-

новная доля выполняемых работ принадлежит ведущим российским научно-исследовательским организациям.

1. НИОКР «Разработка гибридных силовых установок для автомобильной техники, производимой российскими предприятиями». 2009 год.

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

Задачей работы являлось обеспечение создания конкурентоспособных, готовых к внедрению в производство автомобильных платформ для автотранспортной техники, производимой ОАО «АвтоВАЗ», ОАО «ГАЗ» и ОАО «УАЗ», с полной массой до 3,5 тонн на базе комбинированной энергоустановки, состоящей из ДВС и стартер-генераторного устройства с уровнем выброса вредных веществ, обеспечивающих соответствие требованиям Экологического стандарта – 5 и пониженным на 20–25 % расходом топлива.

Объем финансирования: бюджетных средств – 80 млн рублей, привлечение внебюджетных средств – не менее 12 млн рублей.

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

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

Целью работы является разработка и изготовление опытной партии автотранспортных средств на базе существующей транспортной техники, производимой ОАО «АвтоВАЗ», ОАО «УК "Группа ГАЗ"» и ОАО «Соллерс» с полной массой до 3,5 тонн, оснащенных КЭУ ШИФР АВТ-10-021, в целях

реализации важнейшего инновационного проекта «Создание и организация производства автотранспортных средств полной массой до 3,5 тонн со стартер-генераторным устройством».

Задачей работы является обеспечение создания конкурентоспособных, готовых к внедрению в производство технологий для автотранспортной техники производства ОАО «АвтоВАЗ», ООО «УК "Группа ГАЗ"» и ОАО «Соллерс» с полной массой до 3,5 тонн на базе КЭУ, состоящей из ДВС, стартер-генераторного устройства и других компонентов, обеспечивающей соответствия удельных выбросов отработавших газов требованиям экологического стандарта – 5 и пониженным на 20–25 % расходом топлива по сравнению с аналогичными автомобилем без КЭУ.

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

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

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

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

Задачей проекта является разработка автоматизированного процесса технологической подготовки производства, дающего полное представление о конструкции и постановке на производство коммерческих среднеразмерных автотранспортных средств на базе ресурсосберегающих и экологически более безопасных комбинированных энергоустановок, оборудованных комплексными интеллектуальными системами управления и безопасности.

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

Ведущая организация, производящая работы по тендеру, – НАМИ.

Проекты, реализуемые за счет отраслевых предприятий:

С июня 2020 года в России серийно производится автомобиль AURUS, оснащенный комбинированной энергоустановкой параллельного типа, разработанной научным центром НАМИ.

Другие попытки создания автомобилей с КЭУ в России:

1. Проект «Ё-Мобиль» по созданию линейки автомобилей с КЭУ последовательного типа компании «Ё-авто». Разработано и изготовлено несколько предсерийных образцов. Особенностью данного автомобиля является использование ДВС с кольцевой камерой сгорания на первом этапе мощностью до 60 кВт, а также пластиковый несущий кузов вместо металлического. Вторичным источником энергии являлась сверхвысокоемкая конденсаторная батарея. Проект был прекращен на этапе подготовки серийного производства из-за технологических трудностей и ошибок в технико-экономическом обосновании.

2. Разработка пассажирского автобуса ЛиАЗ-5292 с КЭУ группой компаний «ГАЗ» совместно с концерном «Русэлпром». Автобус имел последовательную компоновочную схему КЭУ с вторичным источником энергии на основе сверхвысокоемкой конденсаторной батареи компании MAXWELL.

3. Гибридный автобус компании «Тролза-5250» был разработан на основе троллейбуса «Тролза-5265». В качестве первичного источника энергии

использовался газотурбинный электрогенератор CAPSTONE C65 HEV мощностью 65 кВт и рабочим напряжением постоянного тока 50–700 В. В качестве топлива использовался сжатый природный газ. Тяговая асинхронная электрическая машина имела номинальную электрическую мощность 120 кВт. Вторичным источником энергии служили сверхвысокоемкие конденсаторы российской компании «Элтон», а система управления энергоустановкой разработана компанией ООО «Чергос» (г. Санкт-Петербург).

Научно-исследовательские институты и университеты нашей страны также имеют наработки в области создания КЭУ для транспорта. Среди них: «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана»; «Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт»; «Московский инженерно-физический институт (Национальный исследовательский ядерный университет)», НП «Росэлектротранс», «Московский энергетический институт (Технический университет)» и другие.

Серийное производство отечественных автомобилей с КЭУ под маркой August в настоящее время организовано в научном центре московского института НАМИ.

По результатам проведенной оценки в 2024 году в автомобильном парке России эксплуатируются гибридные автомобили следующих марок:

- смешанного типа: Toyota (Prius, Estima, Camry, Highlander); Lexus RX 400h, Ford Escape Hybrid (по лицензии Toyota)) Chery Tiggo 8 Pro e+1.5, Chery Tiggo 7 Pro e+1.5;

- последовательного типа: CHERY TIGGO 8 PRO e+; Mitsubishi Outlander PHEV; Volvo XC60/XC90; BMW i3REX; Chevrolet Volt; Range Rover P400e [47], Evolute I-Space, LiXiang; Changan UNI-K iDD1.5, Skywell HT-i, Voyah Dream 1.5 PHEV, Voyah Free 1.5 EVR, Geely Monjaro Xingyue L Hi P 1.5;

- параллельного типа: Geely Atlas Pro, Mercedes-Benz S-400 Hybrid, BMW 7-Series Active Hybrid, HONDA (FIT, SHUTTLE, Civic, Insight) [47].

1.8 Анализ состояния инфраструктуры технического обслуживания и ремонта гибридных автомобилей в России

В нашей стране эксплуатация автомобилей с КЭУ началась в 2000 году, т.е. опыт технического обслуживания и ремонта насчитывает более 20 лет. Т.к. энергоустановка гибридного автомобиля имеет в своей основе такой же ДВС, как и на других автомобилях, его сервисное обслуживание и ремонт выполняется в имеющейся широкой инфраструктуре.

Наибольшую сложность представляет ремонт электрической трансмиссии и связанные с ней неисправности. Все автомобили, эксплуатируемые в начальный период эксплуатации, ремонтируются и обслуживаются в рамках гарантийных обязательств дилерской сети производителей. Автомобильные компании, занимающиеся продажей автомобилей с КЭУ, имеют свои сети обслуживания в крупных городах страны. Однако особенностью автопарка РФ является эксплуатация автомобилей с КЭУ после истечения гарантийных обязательств. В таких условиях спрос на услуги, связанные с ремонтом КЭУ, привел к появлению сети частных предприятий, которые накопили уже необходимый опыт по гибридным автомобилям. В настоящее время специализированные технические центры, оказывающие услуги по ремонту автомобилей с КЭУ, имеются в Благовещенске, Барнауле, Владивостоке, Иркутске, Кемерово, Красноярске, Краснодаре, Москве, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Омске, Перми, Петропавловске-Камчатском, Ростове-на-Дону, Санкт-Петербурге, Сургуте, Сочи, Туапсе, Томске, Уфе, Улан-Удэ, Уссурийске, Хабаровске, Ярославле, и других городах. С 2023 года в дилерских центрах китайских автопроизводителей налаживается система ТО и ремонта гибридных автомобилей.

Техническое информационное обеспечение по ремонту гибридных автомобилей является доступной для водителей и станций технического обслуживания благодаря сети Интернет. Автомобильными специалистами издаются книги по ремонту и обслуживанию, в т.ч. учебные пособия для водителей и обучающихся. Появляются информационные интернет-порталы с большим количеством информации по ремонту и обслуживанию.

Для сервисной сети доступным является диагностическое оборудование с сервисами технической поддержки. Компания ОАО «Легион-Автодата», г. Москва выпустила мобильное приложение MotorData OBD, поддерживающее функции диагностирования КЭУ гибридных автомобилей. Также эта компания выпускает и диагностическое оборудование для гибридных автомобилей.

Также организуется и обучение специалистов по ремонту и обслуживанию автомобилей с КЭУ. Как было отмечено ранее, изданы специализированные учебные пособия для обучающихся техникумов и вузов [47]. Разработаны и ведутся дисциплины по обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей в Российском университете дружбы народов, Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете, Московской сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева. В Российском университете дружбы народов создано отдельное направление подготовки «Гибридные автомобили».

В Вологодском государственном техническом университете были разработаны методики оценки технического состояния автомобилей с КЭУ [79, 81, 92, 98, 99, 111, 125, 247, 258].

Эксплуатация автомобилей с КЭУ в России регламентируется нормативными документами, основными из которых являются:

1. «Руководящий документ РД 37.009.026-92 "Положение о техническом обслуживании и ремонте автотранспортных средств, принадлежащих гражданам (легковые и грузовые автомобили, автобусы, минитракторы)" с изменениями от 31 января 2017 года».

2. «Технический регламент Таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств"» [191].

3. ГОСТ Р 59483-2021. «Колесные транспортные средства. Термины и определения» [160].

4. «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» с изменениями и дополнениями [162].

Т.к. электрическая силовая часть гибридных автомобилей может иметь опасное для жизни напряжение, в соответствии с требованиями по электробезопасности [101, 175,176] специалисты по ремонту должны пройти соответствующее обучение и инструктирование. Руководство по обслуживанию и ремонту автомобилей имеет брошюры по безопасному ремонту автомобилей. Конструкция силовой электрической части КЭУ имеет специальные сервисные блокировочные устройства, исключающие опасность при работах.

Как показывает наблюдение за эксплуатацией гибридных автомобилей на протяжении 15 лет, элементы автомобилей с КЭУ имеют ресурс более 250 тыс. км и не требуют ремонта. Дальнейшая эксплуатация сопряжена с ростом случаев неисправностей высоковольтной батареи. В зависимости от климатических и дорожных условий эксплуатации ее ресурс может составлять от 250 до 700 тыс. км. Наиболее сильно на ресурс высоковольтной батареи влияет интенсивность ускорений и температура окружающего воздуха. Наблюдения показывают, что вероятность безотказной работы КЭУ выраженная гамма-процентным ресурсом $\gamma=80\%$ наблюдается на пробеге 250 тыс. км. Наибольшую сложность представляет восстановление утраченного ресурса

высоковольтной батареи: это обусловлено неравномерной потерей емкости отдельных ячеек батареи и, как следствие, необходимостью подбора ячеек такой же емкости.

Таким образом, инфраструктура технического обслуживания и ремонта создается как часть сервиса, направленная на удовлетворение спроса на ремонт и обслуживание гибридных автомобилей. Отсутствие сложностей в ремонте автомобилей с КЭУ способствует их эксплуатации во многих городах частными автовладельцами и таксопарками.

Также нужно отметить отличия в эксплуатации автомобилей с КЭУ европейского и японского производства. Наибольшие сложности возникают при ремонте и обслуживании автомобилей европейских автопроизводителей, таких как Volvo, Range Rover, BMW, Mercedes, Peugeot, из-за их низкой надежности.

1.9 Особенности законодательства России по определению максимальной мощности комбинированной энергоустановки гибридных автомобилей

Движение гибридных автомобилей обеспечивается как минимум двумя двигателями. При этом ДВС является первичным источником энергии, а электрический привод позволяет накапливать и более эффективно использовать накопленную им энергию. Согласно налоговому и таможенному законодательству оплата налогов транспортных средств осуществляется по тарифам за максимальную мощность или рабочий объем двигателя. Чем больше рабочий объем двигателя и его максимальная мощность, тем выше будет таможенная пошлина, транспортный налог и стоимость страхового полиса [108].

В отношении автомобилей, использующих для движения два и более типа двигателей, за налоговую базу принимаются мощность и объем, указанные в паспорте транспортного средства [82].

Министерство промышленности и торговли РФ своевременно выпустило разъясняющее письмо от 22 сентября 2011 г. N АЗ-101-26/8058 [193].

В письме разъясняется, что первичным и единственным источником энергии является ДВС, а электрический привод является вторичным преобразователем энергии и относится к трансмиссии. Таким образом, при определении налогооблагаемой мощности электродвигателя следует использовать максимальную мощность ДВС энергоустановки.

В связи с появлением большого числа подзаряжаемых гибридных автомобилей в конце 10-х годов вопрос Министерства Финансов РФ написало новое разъясняющее письмо [194].

Согласно этому письму при наличии помимо ДВС электрических двигателей в энергоустановке их общая мощность должна суммироваться. При этом за мощность электропривода принимается его максимальная 30-минутная мощность в системе постоянного тока. В настоящее время нет точных разъяснений по всем типам гибридных автомобилей. Следуя этой логике, в расчет мощности электропривода также должны включаться и характеристики высоковольтной тяговой батареи, а именно максимальный запас ее энергии в кВт или кДж. Проблема при таможенном оформлении может возникнуть, если в характеристиках автомобиля не указана максимальная мощность тягового электропривода в 30-минутном режиме. В этом случае специалисты таможенной службы должны производить расчет этой мощности самостоятельно.

Методика определения максимальной полезной мощности системы электротяги при постоянном токе, которую система тяги может обеспечивать

в течение 30-минутного периода времени определяется п.п. 2.4. ГОСТ Р 41.85-99. (Правила ЕЭК ООН № 85). Там указано, что измерение мощности должно проводиться на стенде, т.е. электропривода отдельно от автомобиля, что на практике для экспертных организаций не представляется возможным. Это приводит к затруднению в определении максимальной мощности (рисунок 1.11).

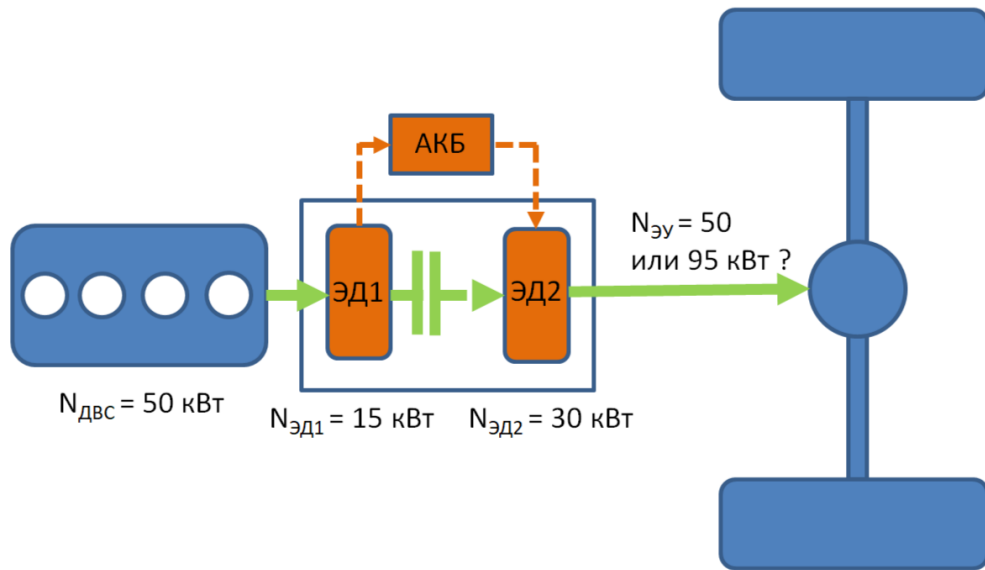


Рисунок 1.11 – Комбинированная энергоустановка смешанного типа.

Особенности определения мощности

Для упрощения данной задачи до появления новых уточняющих методов рекомендуется рассматривать тяговый электропривод в совокупности с бортовым накопителем энергии (БНЭ), непосредственно влияющим на тяговые характеристики энергоустановки. В этом случае при расчете учитывается также запас энергии в БНЭ [129].

В таблице 1.1 приведены результаты расчета 30-минутной мощности в системе постоянного тока по характеристиками тяговых электродвигателей и емкости БНЭ.

Таблица 1.1 - Сравнение 30-киловаттной мощности тягового электропривода подзаряжаемых гибридных автомобилей с учетом БНЭ

Марка и модель	ДВС мощность, кВт	Электродви- гатели мощность, кВт	Емкость батареи, кВт·ч	30-минутная мощность, кВт	
				по сумме всех двига- телей	по запасу энергии в БНЭ
Chery Tiggo 8 Pro e+1.5	108	65	19,27	173	146,54
Evolute i-Space PHEV 1.5	80	130	17,52	210	115,04
Changan UNI-K iDD1.5	121	85	30,7	206	182,4
Skywell HT-i	76	130	21,7	206	119,4
Voyah Dream 1.5 PHEV	95	130+160	25,57	385	146,14
Voyah Free 1.5 EVR	79	255+255	33	589	145
Geely Monjaro Xingyue L Hi P 1.5	110	107	41,2	217	192,4
Toyota Prius PHV 1.8	72	53+23	8,8	148	89,6
Volvo XC90 Recharge Ul- timate T8	233	52+107	18,8	392	270,6
Mitsubishi Outlander PHEV 2.4 4B12	98	40+40	20	178	138

Как следует из таблицы 1.1 мощность КЭУ эксплуатируемых в России гибридных автомобилей, с учетом отдаваемой 30-минутной электрической мощности БНЭ, значительно меньше принимаемой для налогообложения. При установлении объективной мощности КЭУ для целей налогообложения необходимо учитывать 30-минутную мощность всех элементов электропривода, включая мощность БНЭ.

Сложившаяся ситуация с определения налогооблагаемой мощности КЭУ говорит о несовершенстве существующих методик оценки. Также с учетом стратегических планов развития более безопасных и эффективных автомобилей в России объективнее было бы взимание транспортного налога не за максимальную (средние) мощность двигателей, а за степень влияния

его на окружающую среду или эффективность его работы. Такой принцип внедрен в Китае, откуда в Россию поставляется значительная часть автомобильной техники.

Сложности также возникают при определении норм списании топлива подзаряжаемых гибридных автомобилей. Когда требуется разделение доли затрат на топливо и электроэнергию. В настоящее время норма расхода топлива или электроэнергии определяется по рекомендациям Минтранс РФ [162, 178, 179] для автомобилей с ДВС и электромобилей. Для подзаряжаемых гибридных автомобилей требуется вести отдельный учет пробега на бензине и электричестве.

1.10 Обоснование выбора исследуемых эксплуатационных свойств для оценки эффективности гибридных автомобилей

1.10.1 Виды эксплуатационных свойств и их влияние на основные характеристики автомобилей

Гибридный автомобиль эксплуатируется в системе, включающей водителя и среду, поэтому его эксплуатационные свойства должны рассматриваться также в системе.

Условия эксплуатации автомобилей можно разделить на:

- дорожные – определяемые характеристиками автомобильной дороги (подъемы, спуски, повороты, покрытие дороги, ширина проезжей части и т.д.), интенсивностью движения транспортного потока, законодательно ограниченным значением скорости;
- природно-климатические – определяемые температурой, влажностью, давлением окружающего воздуха, интенсивностью осадков, сезонным изменением состояния дорожного покрытия;

- транспортные – определяемые дальностью перевозок и расстояниями между остановочными пунктами, видом и характеристиками груза, числом пассажиров и т.д.;
- экономические – определяемые уровнем цен, тарифов, налогов в том или ином государстве;
- социальные – определяемые представлениями потребителей автомобилей о моде, престижности и т.д.

Дорожные условия эксплуатации достаточно полно описываются сочетанием следующих характеристик: продольный профиль; профиль в плане; ширина дороги и обочин; интенсивность движения; ровность покрытия; число вынужденных остановок на 1 км; значение законодательно ограниченной скорости; допустимая осевая нагрузка.

Все дороги общего пользования транспортной сети России в зависимости от среднесуточной интенсивности движения автомобилей в обоих направлениях подразделяются на категории (1-я, 2-я и т.д.).

Природно-климатические условия, меняющиеся ежедневно, целесообразно классифицировать по погодному состоянию проезжей части и условиям метеорологической видимости. Различают четыре характерных состояния дорожного покрытия: сухое покрытие; влажное покрытие; заснеженное покрытие; гололед.

Основными признаками экономических условий эксплуатации автомобилей являются: тарифы на перевозку; цена самого автомобиля, стоимость запасных частей, технического обслуживания; стоимость топлива и эксплуатационных материалов; стоимость труда водителей и обслуживающего персонала; обязательные налоги. В зависимости от значений перечисленных признаков может меняться значимость того или иного свойства автомобиля для потребителя.

Эти свойства разделяются на три основные группы: функциональные, потребительские и свойства общественной безопасности.

Функциональные свойства характеризуют способность автомобиля выполнять заданную функцию. Согласно общепринятой теории к ним относятся:

- тягово-скоростные свойства (движение с высокой средней скоростью, интенсивность разгона и преодолеваемые подъемы);
- тормозные свойства (снижение скорости и надежное удержание на месте);
- управляемость и устойчивость (способность изменять или поддерживать постоянными параметры движения в соответствии с желаниями водителя);
- топливная экономичность (расход топлива в заданных условиях эксплуатации);
- маневренность (изменение направления движения на ограниченной площади);
- проходимость (движение по плохим дорогам, сложному рельефу местности и бездорожью);
- плавность движения по неровной дороге, включая уровень вибрации для водителя, пассажиров или груза;
- надежность (способность сохранять основную функцию на протяжении определенного промежутка времени).

Потребительские свойства характеризуют способность удовлетворять другим требованиям, не связанным с выполнением основной функции. С этой точки зрения автомобиль уже рассматривается не как транспортное средство, а как автомобиль, находящийся в пользовании, или личная вещь владельца.

Потребительские свойства обобщают большую группу качеств и особенностей конструкции, которые определяет сам водитель. К ним можно отнести: престижность модели, внешнюю и внутреннюю эстетику, эргономику, наличие вспомогательных систем удобства пользования, качество применяемых материалов, свойства мультимедийной системы и т.д.

Свойства *безопасности* сочетают в себе активную, пассивную и экологическую безопасность. При этом нужно отметить, что гибридные автомобили имеют более высокий уровень безопасности.

Высокая пассивная безопасность обеспечивается более низким центром тяжести кузова и равномерным распределением массы между осями, что обеспечивается расположением аккумуляторной батареи. Свойства активной безопасности обеспечиваются более простым управлением энергоустановкой, не имеющей ступенчатых передач, что не отвлекает водителя от управления автомобилем и позволяет ему сосредоточиться на безопасности. Улучшение тормозных свойств обеспечивается дополнительной системой активного динамического торможения. Уровень шума и вибрации от КЭУ, как правило, ниже за счет стабилизации режима работы ДВС и использования тягового электропривода.

Свойства экологической безопасности гибридных автомобилей также более высокие за счет снижения расхода топлива, уменьшения времени работы двигателя на переходных режимах.

Эксплуатационные свойства автомобилей определяют соответствие их заданным условиям эксплуатации, включая тягово-скоростные, тормозные, топливную экономичность, устойчивость, управляемость, маневренность, плавность хода, проходимость.

1.10.2 Рассматриваемые эксплуатационные свойства и их структура

Наиболее значимые эксплуатационные свойства гибридных автомобилей связаны с энергоэффективностью (топливной экономичностью) и низким выбросом загрязняющих веществ (рисунок 1.12). Эти свойства сочетаются со Стратегией развития транспорта в РФ. При рассмотрении экономической выгоды от эксплуатации гибридных автомобилей помимо заявленной автопроизводителем топливной экономичности следует учитывать совокупность

влияющих факторов системы автомобиль-водитель-среда. Так первоначальная цена, налоговые отчисления, затраты на обслуживание и ремонт, простои из-за отказов существенно влияют на стоимость перевозочного процесса. В таком случае оценивать необходимо не только топливную экономичность, но и все основные затраты на эксплуатацию, что формулирует эффективность эксплуатации гибридных автомобилей.

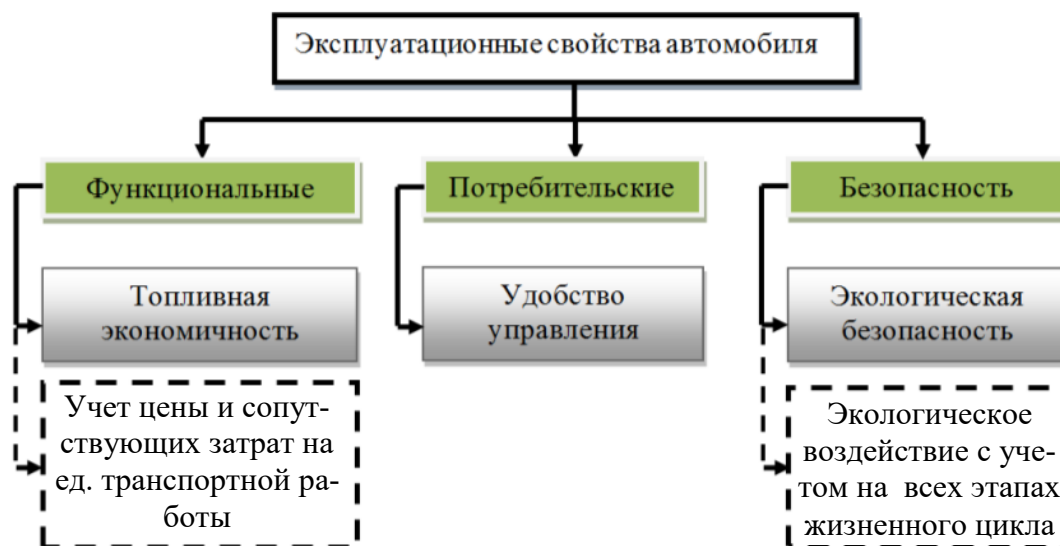


Рисунок 1.12 – Существующие и наиболее значимые в будущем (штриховая линия) эксплуатационные свойства автомобилей

Свойства экологической безопасности в последние 10 лет занимают одно из ведущих мест среди всех эксплуатационных характеристик автомобилей. Однако принято оценивать экологическую безопасность автомобилей выбросами загрязняющих веществ, связанными с эксплуатацией. При этом экологическое воздействие на этапах производства и рециклинге автомобилей не рассматриваются.

В последнее время некоторые исследователи рассматривают экологическую безопасность автомобилей с точки зрения воздействия на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла.

1.10.3 Факторный анализ значимости эксплуатационных свойств

В теории эксплуатации автомобилей движение автомобиля по дороге рассматривается при взаимодействии с водителем и средой. Такую систему называют «автомобиль – водитель – среда» (АВС). Как и любая система, она обладает оригинальными свойствами, не присущим ее элементам, т.е. эмергентностью. Так, например, автомобиль эксплуатируется не сам по себе, а управляется водителем. У водителя есть свойства и пожелания, влияющие на автомобиль. Эти свойства могут отличаться у разных водителей. В то же время эксплуатация автомобилей оказывает воздействие на окружающую среду. Эксплуатационные свойства самого автомобиля влияют на окружающую среду и, в свою очередь, могут оказывать влияние как на водителя, так и на автомобиль. Сила влияния автомобилей на среду зависит от самой среды – в разных районах эксплуатации она различается. В районах с высоким загрязнением окружающей среды экологические характеристики автомобилей будут мало влиять на общее ее состояние. Например, если в системе есть другие значительные загрязнители, то свойства автомобилей мало влияют на окружающую среду [189]. Если же кроме автомобилей других загрязнителей нет, то его степень влияния будет высокой.

Автомобиль нельзя рассматривать только по свойствам, например из-за их численности. В начальный период развития автомобильного транспорта их было немного – один или несколько автомобилей мало могли повлиять на окружающую среду, даже если индивидуальное его влияние в целом было высоким. Сегодня в крупных городах сосредоточенно эксплуатируются сотни тысяч и миллионы автомобилей. Свойства каждого из них мало влияют на окружающую среду, но все вместе – уже значительно. В то же время есть маленькие города и населенные пункты, где автомобильный транспорт не сильно оказывает влияние на состояние окружающей среды.

Само понятие «окружающая среда» также нельзя рассматривать как отдельный элемент. Если рассматривать влияние автомобилей на окружающую среду в масштабах всего мира, будет один результат, если в масштабах маленького государства, например Нидерландов, – другой, если в масштабах

Российской Федерации – третий результат. Далее можно рассматривать его влияние в масштабах крупного мегаполиса, но и мегаполисы тоже бывают разные. Москва и Санкт-Петербург имеют высокую численность автомобильного транспорта, но в Санкт-Петербурге его влияние ниже, т.к. город обдувается ветрами со стороны Финского залива, который приносит чистый воздух. Климат и географические особенности района также воздействуют на степень влияния автомобилей на окружающую среду [209].

В некоторых ситуациях эксплуатационные свойства автомобилей необходимо оценивать и в экономической среде: экологические свойства автомобилей по отношению к его стоимости (стоимости его транспортной работы) и стоимости экологического благополучия человека. Например, можно создать автомобиль с очень низким влиянием на окружающую среду, но при этом очень дорогой, и его высокая стоимость негативно отразится на социальном благополучии человека. Возможно, такой автомобиль никто не сможет купить.

Получается, что свойство каждого элемента системы (факторы) – автомобиля, водителя или среды – необходимо рассматривать в композиции всей системы (рисунок 1.13).

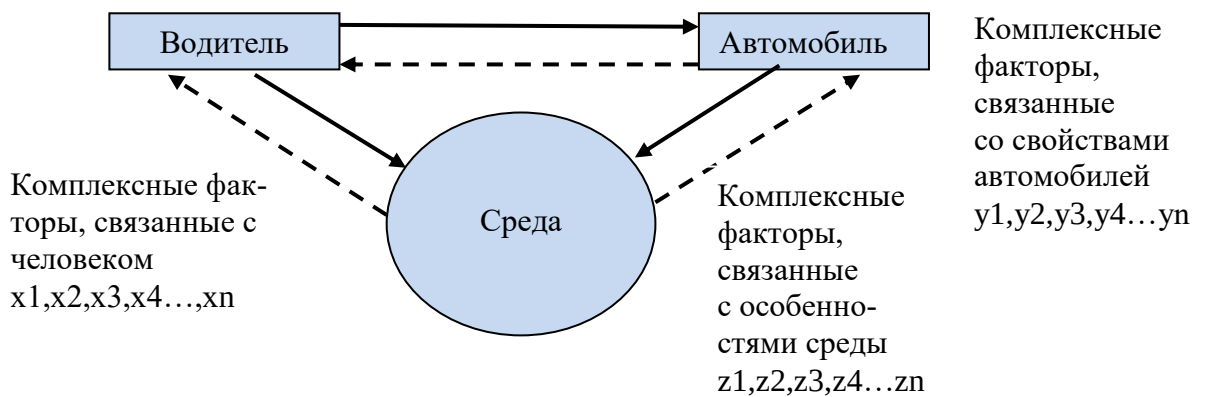


Рисунок 1.13 – Схема взаимодействия в системе
«автомобиль – водитель – среда»

Деятельность человека, в том числе в эксплуатации автомобильного транспорта, всегда имеет конкретную цель. Осуществляя деятельность, человек ставит перед собой практическую цель – достижение хозяйственного эф-

фекта. В отношении транспорта – это перевозка людей или грузов из одной точки в другую.

Связи между структурными элементами системы показывают их взаимное влияние. В то же время каждый из элементов системы можно рассматривать с его точки зрения.

Например, водитель (человек) влияет на интенсивность перевозочного процесса, устанавливает требования к характеристикам автомобилей и нормирует показатели окружающей среды, влияет на автомобиль [37-38]. Но в то же время и автомобиль может влиять на человека. Также водитель, достигая свою хозяйственную цель (выполняя перевозочный процесс), влияет на среду. Окружающая среда же оказывает влияние на водителя и автомобиль.

В данной схеме «водитель» рассматривается как субъект действия, причем взаимодействие с окружающей средой и автомобилем может рассматриваться как одного человека, группы людей населения города, страны или мира в целом. Он характеризуется следующими факторами:

х1 – численные характеристики перевозочного процесса (дальность поездок, число поездок);

х2 – уровень безопасности перевозочного процесса (экологической и дорожной);

х3 – эргономика и эстетика перевозочного процесса;

х4 – экономические параметры перевозочного процесса;

х5 – число или плотность людей;

х6 – степень владения населением автомобилями.

«Автомобиль» в данной схеме также может рассматриваться и как отдельный объект, и как автопарк в целом. Автомобиль должен выполнять свою заданную функцию – транспортный процесс, при этом обеспечивая уровень безопасности, комфорта, влияния на окружающую среду и функциональности.

Автомобиль в рассматриваемой системе характеризуют факторы, описанные ранее, все они делятся на 3 большие группы: функциональные, потребительские и свойства общественной безопасности [60, 61, 64].

Свойства активной безопасности, определяют способность автомобилей снижать вероятность дорожно-транспортного происшествия, включают:

- y11 – тормозные свойства;
- y12 – управляемость и устойчивость;
- y13 – обзорность с места водителя;
- y14 – внешнюю информативность;
- y15 – уровень шума на рабочем месте водителя.

Свойства пассивной безопасности, определяющие способность автомобиля снижать тяжесть последствий:

- y21 – снижающие уровень травмирования водителей и пассажиров;
- y22 – снижающие при аварии уровень травматизма пешеходов;
- y23 – пожаробезопасность, определяемую конструкцией топливной системы автомобиля, местом расположения топливного бака и т.д.

Свойства экологической безопасности:

- y31 – уровень вредных выбросов в отработавших газах;
- y32 – уровень внешнего шума;
- y33 – степень использования экологически безвредных материалов в конструкции автомобиля;
- y34 – приспособленность к утилизации.

Эксплуатационные свойства автомобиля определяют характер его движения.

«Среда» в рассматриваемой системе характеризует условия осуществления перевозочного процесса. К факторам среды, влияющим на взаимодействие с остальными объектами, относятся:

- z1 – состояние атмосферного воздуха;
- z2 – удельный показатель автомобилизации;
- z3 – особенности климата;

z4 – экологическая нагрузка от других загрязнителей;

z5 – экономический фактор, характеризующий уровень ценности экологической безопасности в данном районе.

В предлагаемой группе факторов для проведения дальнейших исследований необходимо исключить те, которые не влияют или не вносят существенной значимости в систему «автомобиль – водитель – среда». В таблице 1.2 представлены результаты анализа выявленных факторов каждого из элементов системы, влияние каждого из факторов отмечено показателем.

Таблица 1.2 – Факторный анализ влияния каждого из элементов на систему

Наименование фактора	Элемент системы		
	Автомобиль	Водитель	Среда
x1	1.1/2.1	_*	1.3/2.1
x2	1.3/2.3**	-	1.1/2.1
x3	1.3/2.3**	-	1.1./2.1
x4	1.3/2.2	-	1.2/2.1
x5	1.2/2.1	-	1.3/2.2
x6	1.2/2.2	-	1.3/2.3**
y11	-	1.2/2.1	1.1/2.1
y12	-	1.2/2.1	1.1/2.1
y13	-	1.2/2.1	1.1/2.1
y14	-	1.1/2.1	1.1/2.1
y15	-	1.3/2.1	1.1/2.1
y21	-	1.3/2.3	1.1/2.1
y22	-	1.1/2.2	1.1/2.1
y23	-	1.1/2.1	1.1/2.1
y31	-	1.3/2.3**	1.3/2.3**
y32	-	1.3/2.1	1.2/2.2
y33	-	1.1/2.3	1.3/2.3**
y34	-	1.1/2.2	1.3/2.2
z1	1.3/2.3**	1.3/2.3**	-
z2	1.3/2.3**	1.3/2.3**	-
z3	1.2/2.1	1.2/2.2	-
z4	1.3/2.3**	1.3/2.3**	-
z5	1.3/2.3**	1.3/2.3**	-

*в таблице учитывается влияние фактора только на другие элементы системы;

** наиболее значимые факторы.

Для определения величины влияния факторов установлены следующие показатели:

фактическое влияние на элемент системы:

- 1.3. Фактор приводит к значительному влиянию на элемент системы.
- 1.2. Показатель слабо влияет на элемент системы.
- 1.1. Показатель не оказывает сильного влияния на элемент системы.

значимость в современных условиях:

- 2.3. Значительно меняется в данных условиях.
- 2.2. Мало меняется в современных условиях.
- 2.1. Практически не меняется в современных условиях.

В таблице 1.3 все факторы указаны в списке по частоте влияния на элементы системы в убывающем порядке.

В результате анализа (свойств отдельных элементов системы) установлены сильно влияющие на элементы системы факторы. К ним относятся:

у31 – уровень вредных выбросов в отработавших газах автомобильных двигателей;

z1 – нормативные показатели качества воздуха;

z2 – плотность автомобилей в районе эксплуатации;

z4 – экологическая нагрузка от других антропогенных загрязнителей;

z5 – экономический фактор, характеризующий уровень ценности экологической безопасности в данном районе.

Таблица 1.3 – Сводная таблица результатов факторного анализа

Наименование фактора	Суммарное значение фактора	Ранг фактора	Частота использования
y31	12	1	высокая
z1	12	1	
z2	12	1	
z4	12	1	
z5	12	1	
x6	10	2	средняя
y33	10	2	
x2	8	3	
x3	8	3	
x4	8	3	
x5	8	3	
y21	8	3	
y32	8	3	
y34	8	3	
z3	7	4	
x1	6	5	низкая
y15	6	5	
y11	5	6	
y12	5	6	
y13	5	6	
y22	5	6	
y14	4	7	
y23	4	7	
y31	4	7	

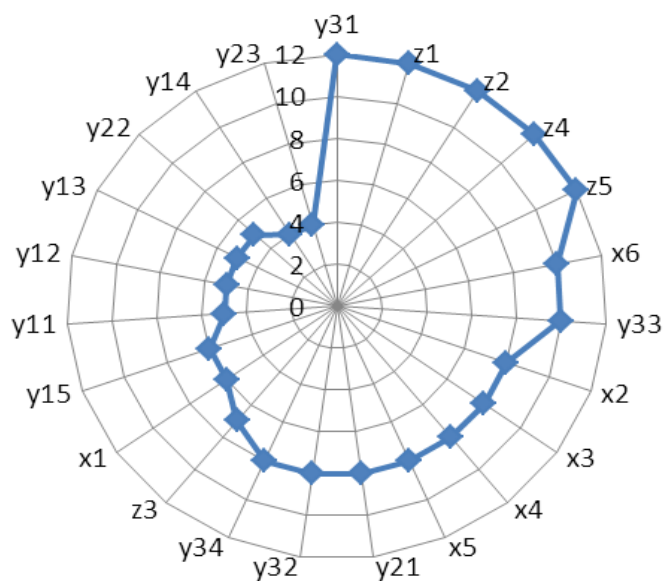


Рисунок 1.14 – Диаграмма влияния факторов (эксплуатационных свойств)
на систему «автомобиль – водитель – среда»

Результаты проведенного факторного анализа (рисунок 1.14) позволяют сделать вывод о том, что в современных условиях автомобили меняются в направлении снижения воздействия на окружающую среду и снижения затрат на перевозочный процесс. Дальнейшие исследования должны быть направлены на установление границ экономичности и экологичности автомобилей.

С учетом сформулированных целей и задач сформирована схема диссертационного исследования (рисунок 1.15).



Рисунок 1.15 – Схема диссертационного исследования

Выводы по главе

Улучшение эксплуатационных свойств автомобилей за счет использования КЭУ является одним из перспективных направлений развития автомобилей. При этом преимущества энергоустановок гибридных автомобилей (работа ДВС в стационарном нагрузочном режиме при минимальном удельном расходе топлива, отсутствие холостого хода, возможность движения с выключенным ДВС, возврат и сохранение энергии движущихся автомобилей при рекуперативном торможении) не всегда улучшают эксплуатационные свойства автомобилей, поэтому должны рассматриваться с учетом характера условий их работы и типа КЭУ.

Результаты проведенного факторного анализа говорят о необходимости оценки наиболее важных эксплуатационных свойств: экологической безопасности и экономической эффективности. Она должна осуществляться с учетом условий эксплуатации гибридных автомобилей.

ГЛАВА 2 ПРИМЕНЯЕМЫЕ МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

2.1 Обоснование стратегии и тактики приводимых методов оценки

Гибридные автомобили потенциально могут иметь большую эффективность, чем автомобили с ДВС, ввиду ряда причин указанных, в первой главе. Однако не всегда их использование может быть целесообразным. Как следует из принятой гипотезы работы, требуется обосновать условия эффективной их эксплуатации. В условиях отсутствия полной информации о предмете и объекте исследования целесообразно разделить работу на следующие основные блоки:

1. Сбор информации об эффективности эксплуатации гибридных автомобилей с помощью известных и разработанных методов и методик.
2. Установление наиболее значимых свойств КЭУ и оценка их влияния на топливную экономичность гибридных автомобилей.
3. Разработка методики прогнозирования топливной экономичности гибридных автомобилей с учетом типа и характеристик КЭУ самого автомобиля и цикла его движения.
4. Разработка метода комплексной оценки эффективности эксплуатации гибридных автомобилей.
5. Разработка предложений и рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации автомобильного транспорта за счет использования гибридных автомобилей.

Такая структура позволяет обосновать и обеспечить эффективность гибридных автомобилей с разными типами КЭУ, включая те, которые предполагается эксплуатировать в будущем.

Информация об эффективности работы КЭУ в условиях идеализированного эксперимента может быть получена в лабораторных условиях. Для этого необходим лабораторный стенд, позволяющий имитировать работу КЭУ различных типовых схем.

Лабораторные исследования должны быть подтверждены натурными испытаниями, проводимыми в дорожных условиях. В связи с этим также требуются и методики оценки эффективности работы КЭУ, включая оценку текущих параметров энергоустановки. В испытаниях требуется оценить несколько типов энергоустановок, экологическую безопасность гибридных автомобилей с учетом всего жизненного цикла, влияние особых свойств КЭУ, таких как рекуперация, на экологическую безопасность гибридного автомобиля. В данном разделе также требуется проанализировать оценку надежности гибридных автомобилей в условиях эксплуатации на основе наблюдений за отказами и неисправностями при эксплуатации. Для получения объективной информации об эффективности эксплуатации гибридных автомобилей требуется наблюдение в течение длительного времени.

В разделе «Методика оценки топливной экономичности гибридных автомобилей с разными типами КЭУ при движении по заданному циклу» должно быть получено представление о влиянии цикла движения на экономичность гибридных автомобилей. Результаты прогнозирования должны лечь в основу методологии комплексной оценки и обеспечения и эффективности эксплуатации гибридных автомобилей.

В разделе «Комплексная оценка эффективности эксплуатации гибридных автомобилей на основе разработанных методик и алгоритмов» даны ответы на поставленные вопросы, а именно получен комплекс методик, позволяющий оценить эффективность эксплуатации гибридных автомобилей по выбранным критериям.

В разделе «Разработка предложений и рекомендаций по повышению эффективности эксплуатации автомобильного транспорта за счет использования гибридных автомобилей» должны быть даны рекомендации по эксплуатации гибридных автомобилей, а также повышению эффективности автомобильного транспорта за счет использования гибридных автомобилей.

2.2 Сравнительная оценка выбросов в окружающую среду автомобилей с бензиновыми, газовыми, дизельными ДВС и комбинированными энергоустановками на протяжении всего их жизненного цикла

Развитие автомобильного транспорта направлено на снижение расхода энергии, уменьшение вреда природе и снижение опасности движения. Для этого автостроители и законодатели устанавливают более строгие нормативы эксплуатационных свойств автомобилей. Например, токсичность отработавших газов ограничивают по содержанию вредных веществ CO, NO_x, HC. В 2020 г. в Евросоюзе вступили требования по снижению выбросов парникового газа CO₂ при эксплуатации автомобилей массового производства. А с 2021 г. действуют ограничения для грузовых автомобилей (регламент № 2019/1242). Аналогичные правила действуют для всех автопроизводителей, импортирующих автомобили, производимые в ЕС.

В России в 2020 году вступил в силу Национальный стандарт «Показатели энергоэффективности и экологии» [158], который также привязан к выбросам CO₂. Согласно этому стандарту большинство легковых автомобилей, эксплуатируемых сегодня в России, относящихся к категории M₁, по шкале от А до G относятся к классу E, что соответствует выбросам 160 г/км CO₂. Для соответствия классу В автомобиль должен иметь выбросы не более 95 г/км, что соответствует среднему расходу топлива 4,2 л/100 км.

Уменьшить расход топлива и выбросы CO₂ можно за счет:

- исключения неэффективных режимов работы ДВС с низким КПД;
- применение энергоустановок, позволяющих осуществлять рекуперативное торможение;
- снижения массы и улучшения аэродинамических свойств кузова.

Однако помимо эксплуатации автомобиль оказывает воздействие на окружающую среду также при производстве комплектующих, сборке и утилизации автомобилей, в том числе и при функционировании инфраструктуры

обслуживания. В России также готовится новое законодательство по стимулированию сокращения выбросов CO_2 в атмосферу.

С повышением средней температуры климата на планете все большее внимание уделяется задаче снижения выбросов парниковых газов. Это продиктовано желанием решить проблему загрязнения воздуха в крупных городах и затормозить процесс изменения климата на планете.

Снижение выбросов загрязняющих веществ автомобиля за счет усложнения конструкции энергоустановки приводит к существенному повышению стоимости автомобиля и снижению его ресурса. Основные пути снижения выбросов автомобилями инженеры-разработчики видят в расширении производства комбинированных и электрических энергоустановок, имеющих более высокую экономичность. Чтобы определить экологическую безопасность гибридных автомобилей, требуется также учесть дополнительные выбросы от производства и утилизации, т.е. оценивать экологическую безопасность в комплексе.

В связи с вышесказанным разработана методика оценки выбросов автомобилей с различными типами энергоустановок в окружающую среду на всех этапах жизненного цикла [225].

При оценке использован метод сравнения. Сравниваются легковые автомобили с бензиновым ДВС, с дизельным ДВС, автомобили, работающие на газовом топливе и автомобили с комбинированной энергоустановкой.

В качестве основных токсичных веществ рассматриваются: оксид углерода (CO) и оксиды азота (NO_x). Также приводится оценка по выбросу парникового газа (CO_2). В методике не учитывается тепловое воздействие автомобилей на окружающую среду и воздействие инфраструктуры обслуживания. В сравнении не рассматриваются автомобили с зарядом электроэнергии от внешней электрической сети.

Исходными данными для оценки выбросов на этапе производства автомобилей являются снаряженная масса, а также удельные значения выбро-

сов от изготовления. На этапе эксплуатации выбросы рассчитываются исходя из среднего расхода топлива и удельных выбросов при его сгорании [48, 51].

Этап производства

При изготовлении автомобилей используются металл, стекло, пластик, резина, лакокрасочные материалы и технологические жидкости. Их производство также сопряжено с выбросами и требует оценки. Сборочное производство, инфраструктура доставки запчастей также требует энергии, сопряжено с отходами.

Выбросы на этапе производства будут зависеть от применяемых материалов и массы автомобиля.

По данным исследований [48, 49, 51, 240] при изготовлении автомобиля с ДВС затрачивается 8 ГДж энергии, а удельные выбросы ($m_{уд}$) в пересчете на 1 кг массы известны из ранее опубликованных источников [182]: оксид углерода (CO) – 0,12 кг/кг; оксиды азота (NO_x) – 0,07 кг/кг; углекислый газ (CO₂) – 3,2 кг/кг.

Выбросы загрязняющих веществ ($M_{зв}$) на этапе производства автомобилей будет зависеть от массы автомобиля (m_A).

$$M_{зв} = m_A \cdot m_{уд}, \quad (2.1)$$

Результаты расчета выбросов по каждому загрязняющему веществу на этапе производства приведены в таблице 2.1.

Выбросы при производстве бортового накопителя энергии (БНЭ) автомобиля с КЭУ рассматриваются отдельно. В гибридных автомобилях наблюдается тенденция использования литий ионные (Li-Ion) аккумуляторов. Масса БНЭ не подзаряжаемых гибридных автомобилей не превышает 50 кг.

По данным исследований, приведенных в источниках [54, 240] при изготовлении батарей на 1 кг массы выбрасывается 2 кг CO₂. Эти выбросы также включены в расчет и представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сравнение выбросов при производстве автомобилей с различными типами ЭУ

Тип энергоустановки	Масса автомобилей, кг	Масса выбросов, кг		
		CO	NO _x	CO ₂
Бензиновый ДВС	1130	13,8	8,5	3584
Дизельный ДВС	1400	17,1	10,5	4441
Газовый ДВС (КПГ)	1380	16,8	10,35	4377
Комбинированная, всего	1500	18,0	11,2	4670
- автомобиль*	1450	17,5	11,0	4570
- Ni-MH батарея	50	-	-	100

*без учета массы тягового аккумулятора

Этап эксплуатации

На этапе эксплуатации рассматриваются выбросы отработавших газов, являющиеся продуктом сгорания топлива. Как и на этапе изготовления, наиболее значимыми с точки зрения негативного влияния на человека и окружающую среду являются выбросы CO, NO_x и CO₂.

Производители автомобилей представляют рекомендованные данные о расходе топлива, полученные с помощью методик испытаний в стандартизованных условиях. Однако, для реальных условий эксплуатации разработаны рекомендации Министерства транспорта РФ [179, 180].

В таблице 2.2 представлены значения заводских и рекомендуемых Министерством транспорта РФ данных по расходу топлива сравниваемых автомобилей.

С учетом указанных в таблице значений по расходу топлива сравниваемых автомобилей определено количество сжигаемого ими топлива за условно принятый пробег (500 тыс. км). Этот пробег по оценкам авторов приближен к среднему ресурсному пробегу сравниваемых автомобилей.

Таблица 2.2 – Средний расход топлива сравниваемых автомобилей

Тип энергоустановки	Средний расход топлива, л/100 км	
	Рекомендованный заводом-изготовителем	Рекомендованный нормами Минтранс РФ с учетом поправочных коэффициентов*
Бензиновый ДВС	6,5	10,6
Дизельный ДВС	7,4	10,0
Газовый ДВС	7,5	13,7**
Комбинированная	3,9	6,0

* для крупных городов, при частых запусках и прогревах двигателя и эксплуатации при низкой температуре окружающей среды;

** для автомобилей, работающих на сжиженном углеводородном газе (СУГ), рекомендовано устанавливать норму из расчета 1 л бензина соответствует «1,32 л СУГ, не более» [163].

Исходя из известного содержания выброса загрязняющих веществ и данных об объеме израсходованного за период эксплуатации топлива, определена масса загрязняющих выбросов за период эксплуатации (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Масса выбросов загрязняющих веществ автомобилей за период эксплуатации

Тип энергоустановки	Расход топлива за период эксплуатации, тыс. л (кг)*	Масса выбросов					
		CO		NO _x		CO ₂	
		г/кг	Всего, т	г/кг	Всего, т	г/кг	Всего, т
Бензиновый ДВС	52,75 (40,1)	21,5	0,86	5,8	0,23	3,12	125,1
Дизельный ДВС	50,0 (42,5)	7,5	0,32	30	1,27	3,1	131,7
Газовый ДВС (СУГ)	68,5 (36,3)	21,5	0,78	5,8	0,21	2,97	107,8
Комбинированная	30,0 (22,8)	21,5	0,49	5,8	0,13	3,12	71,14

* с учетом плотности топлива: АИ-95 – 0,76 кг/л; ДТ – 0,85 кг/л; СУГ – 0,53 кг/л.

Следует отметить, что для расчета выбросов загрязняющих веществ была использована «Инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух» (таблицы 3.1–3.3 [164]).

Производители автомобилей предоставляют другие данные по выбросам загрязняющих веществ, указываемые, как правило, в граммах на километр пробега.

Этап утилизации (рециклинга)

Затраты энергии на этапе утилизации связаны с выбросами при переработке и обезвреживании автомобильных компонентов для получения готового к использованию сырья.

Одним из главных критериев экологического воздействия на окружающую среду при рециклинге автомобилей является их масса. На предварительном этапе разборки и измельчения утилизируемых автомобилей задействуется электрическая энергия. Как следует из данных компаний по переработке измельчительного оборудования требуется 50 кВт·ч электрической энергии на переработку автомобилей на одну тонну массы. Производство этой электроэнергии в свою очередь сопряжено с выбросами электростанций. [50].

Выбросы углекислого газа от произведенной электроэнергии для утилизации одного легкового автомобиля составят не более 100 кг. Учитывая близкую массу сравниваемых автомобилей отдельно сравнивать выбросы от производства энергоустановок не требуется [50].

Благодаря переработке и сортировке на отдельные компоненты с последующей переработкой удастся повторно использовать до 75% компонентов по массе. Оставшаяся часть подлежит обезвреживанию, сжиганию или захоронению (таблица Б.1 Приложения Б).

Отдельно следует рассматривать утилизацию применяемых никель-металлогидридных (Ni-MH) и литий-ионных (Li-ION) аккумуляторов [50].

Согласно докладу, подготовленному для Европейской экономической комиссии в 2019 году [265], при переработке удастся извлечь большую часть лития, кобальта и никеля. В таблице Б.1 Приложения Б представлены сравнительные характеристики некоторых аккумуляторов электромобилей [50].

Ресурс электрических накопителей гибридных автомобилей по данным автопроизводителей составляет не менее 8 лет эксплуатации. Наблюдения показывают, что в гибридных автомобилях они могут служить 15 и более лет. Согласно имеющимся официальным данным (таблица Б.1 Приложения Б) срок службы накопителей электрических и гибридных транспортных средств составляет 10–15 лет или 200–300 тыс. км. пробега [50].

Переработка аккумуляторов на основе лития или никеля уже производится на заводах в России. Ввиду концентрации высокой энергии такие батареи при неправильном обращении могут вызвать нагрев и взрыв. Безопасность их хранения, эксплуатации, переработки нормируется по ГОСТР МЭК 60086-4–2018.

Аккумуляторы на основе лития и никеля принимаются в пунктах приема металлолома по цене от 45 до 50 руб./кг. Ввиду наличия экономической выгоды от сдачи на утилизацию можно сделать вывод, нет предпосылок попадания их в окружающую среду. Так же как и свинцово-кислотные АКБ автомобилей они будут утилизироваться организованно на специализированных предприятиях.

Таким образом, выбросы на этапе утилизации гибридных автомобилей не существенно отличаются от выбросов при переработке автомобилей с ДВС и дополнительно их учитывать при оценке не требуется.

Просуммировав выбросы на всем этапе жизненного цикла, получим экологическое воздействие автомобилей на окружающую среду. Результаты представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Масса выбросов ЗВ на всем этапе жизненного цикла автомобилей

Тип ЭУ	Выбросы ЗВ, т		
	СО	NO _x	CO ₂
Бензиновый ДВС	0,90	0,25	128,7
Дизельный ДВС	0,34	1,30	136,2
Газовый ДВС (КПГ)	0,80	0,22	112,2
Комбинированная ЭУ	0,50	0,15	75,8

Результаты расчета показывают, что масса выбросов загрязняющих веществ автомобилей с разными типами энергоустановок существенно отличается только на этапе эксплуатации. Наибольшая масса выбросов оксидов углерода СО (0,9 т у автомобилей с бензиновым и газовым ДВС (рисунок 2.1).

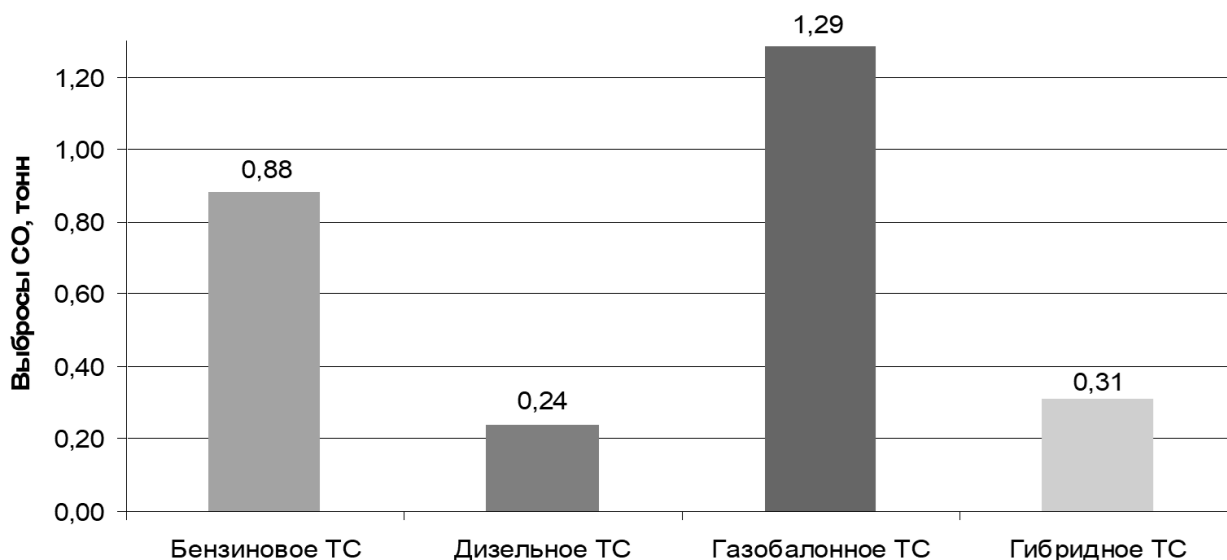


Рисунок 2.1 – Выбросы оксидов углерода сравниваемых автомобилей

Гибридные автомобили за счет меньшего расхода топлива имеют более низкие выбросы СО. В конструкции ДВС каталитический нейтрализатор окисляет выбросы СО до безопасного уровня. При условии, что система снижения токсичности работает исправно, сравнивать значение выбросов нет необходимости. Экологические стандарты 4–6 поколения практически не влияют на нормы выбросов СО. Для легковых автомобилей они составляют 1,0 г/км.

Выбросы оксидов азота NO_x для бензиновых и газовых двигателей являются незначительными. Поэтому их разница между автомобилями с бензиновым, газовым ДВС и КЭУ также незначительна. Износ двигателя в процессе эксплуатации практически не влияет на размер выбросов NO_x . Гибридный автомобиль за весь период эксплуатации выбрасывает 140 кг NO_x , что меньше на 41 %, чем у автомобиля с бензиновым ДВС (рисунок 2.2).

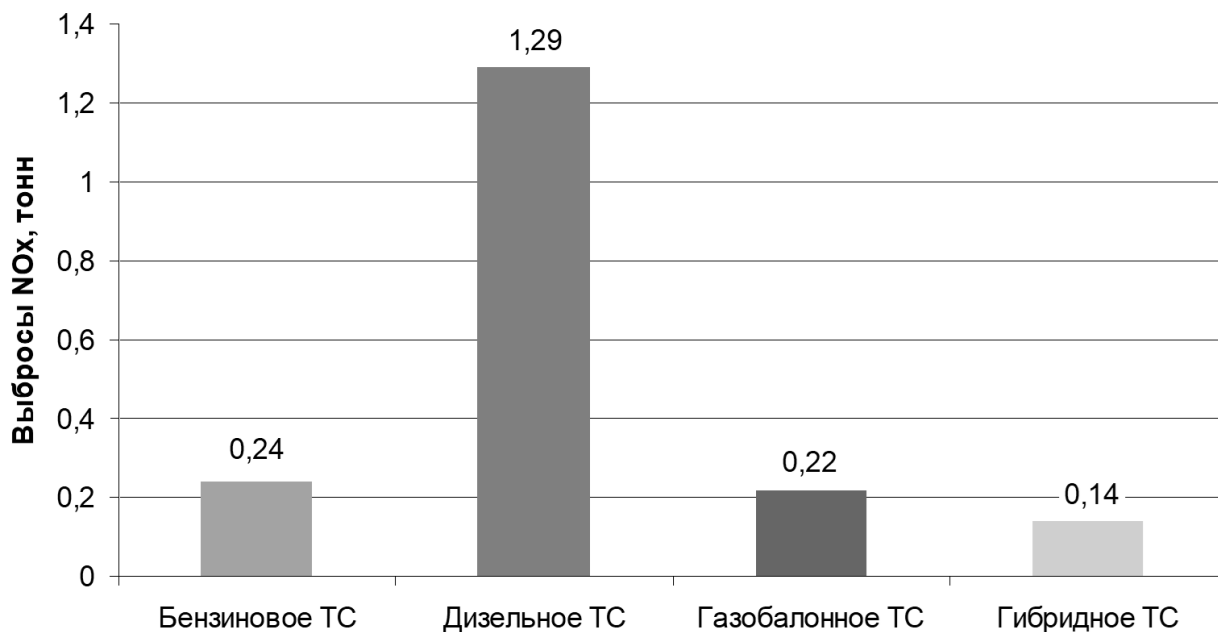


Рисунок 2.2 – Выбросы оксидов азота NO_x сравниваемых автомобилей

Дизельные двигатели потенциально имеют гораздо большие выбросы NO_x , но за счет применяемых систем снижения токсичности они снижаются до приемлемых значений. Однако при эксплуатации неизбежно техническое состояние ухудшается, из-за чего дизельные двигатели склонны к повышению выбросов NO_x .

Выбросы углекислого газа, характеризующего глобальное влияние автомобиля на климат, зависят в большей степени от количества сжигаемого топлива.

Согласно Инструкции по инвентаризации выбросов [182] при сгорании 1 кг бензина выбрасывается 3,5 кг CO_2 . Т.е. за весь период эксплуатации автомобиля с ДВС выбросит около 130 т CO_2 (рисунок 2.3).

Автомобиль работающий на сжиженном газе выбросит 112 т CO_2 .

Гибридный автомобиль за счет меньшего расхода топлива выбросит 75,8 т CO_2 , что на 40 % меньше, чем автомобиль с бензиновым ДВС.

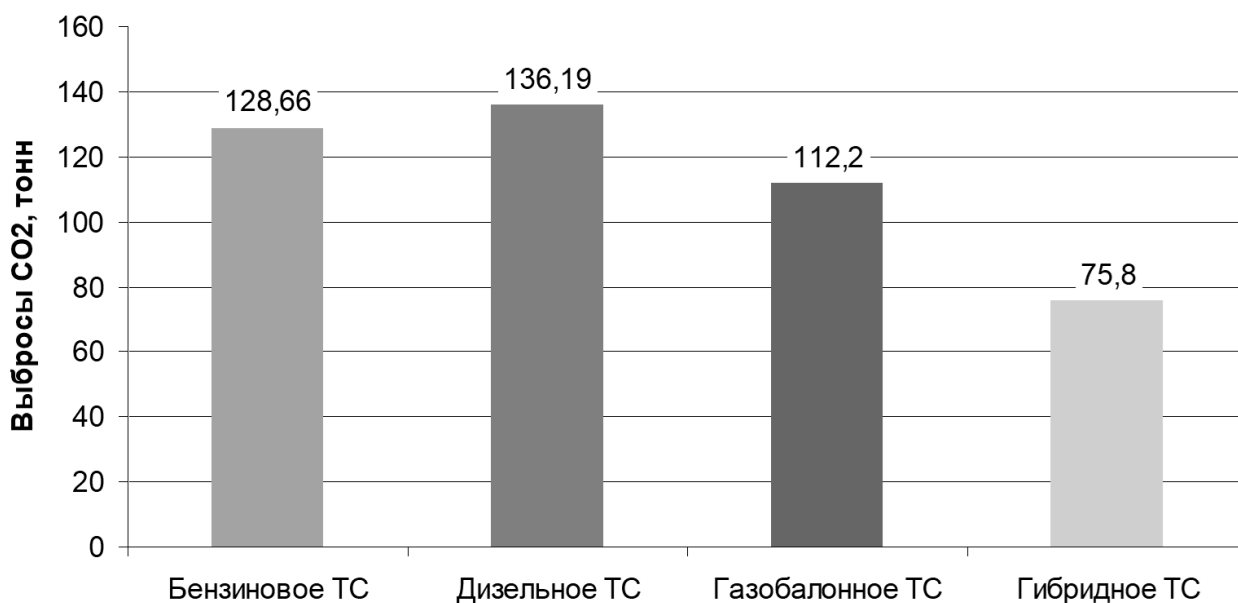


Рисунок 2.3 – Выбросы углекислого газа CO_2 сравниваемых ТС

Таким образом, автомобили с комбинированной ЭУ и бензиновым ДВС имеют более низкие выбросы токсичных и загрязняющих веществ с учетом всех этапов жизненного цикла. Это обстоятельство позволяет использовать существующие надежные ДВС, работающие совместно с электроприводом для кардинального снижения выбросов загрязняющих веществ автомобилями при одновременном улучшении их топливной экономичности и тягово-динамических свойств. Дополнительные выбросы от производства тягового электропривода, аккумуляторных батарей и других компонентов КЭУ, а также их утилизации увеличивают выбросы в значительно меньшей степени, чем снижение выбросов от эксплуатации.

2.3 Расчетно-экспериментальная методика определения средней мощности, развиваемой энергоустановкой автомобиля в условиях изменяющихся нагрузок

В ряде случаев требуется оценить эксплуатационные свойства энергоустановки в реальных условиях эксплуатации. С этим сталкиваются при необходимости оценки приспособленности автомобиля к условиям его работы. Тягово-скоростные свойства автомобиля зависят от мощности, развиваемой энергоустановкой. Определение энергетических характеристик двигателя в стендовых условиях не представляет сложностей кроме того, что этот процесс достаточно трудоемкий. Однако в условиях эксплуатации это становится затруднительным, т.к. требует измерения скорости вращения коленчатого вала и крутящего момента ДВС. В случае электродвигателя требуется измерение силы тока и напряжения в цепи питания электропривода.

Наибольшую сложность представляет определение крутящего момента на выходном валу. В стендовых условиях крутящий момент измеряется с помощью электрической тормозной машины или тензометрическими датчиками, но для условий эксплуатации они не пригодны из-за сложности подготовки и проведения измерения.

Известен способ определения мощности в ДВС при движении по индцированию давления в цилиндрах. Сложность такого способа состоит в необходимости устанавливать высокоточный датчик давления в камеру сгорания.

Также известен способ определения энергетического КПД двигателя, который заключается в сравнении его работы при эксплуатации с изменяющейся нагрузкой и без нагрузки на холостом ходу. В условиях эксплуатации для этого используется расход топлива. Т.к. между расходом топлива и развиваемой мощностью существует линейная связь. Недостатком данного способа является неточность измерений, т.к. не учитывается возможная работа двигателя в неэффективных режимах работы [31, 150].

Ввиду того, что для оценки топливно-энергетических свойств достаточно усредненных данных за поездку, предложено использовать в качестве исходных данных не мгновенное вычисление, а данные за поездку. В этом случае отпадает необходимость в мгновенной обработке текущих данных.

В основе методики лежит сопоставление полученных исходных данных с заводской внешней скоростной характеристикой. В процессе поездки необходимо записать несколько текущих параметров движения: частота вращения коленчатого вала (RPM), об/мин; расчетную нагрузку (LOAD), % [185]. Параметром, характеризующим работу двигателя без нагрузки, может быть «угол открытия дроссельной заслонки», ($\alpha_{дз}$), %. Все эти параметры доступны через диагностический интерфейс, имеющийся в каждом автомобиле [124,125, 239].

Каждый ДВС имеет оригинальную внешнюю скоростную характеристику (ВСХ), зависящую от его конструктивных особенностей. Аксиомой является то, что при любой частоте коленчатого вала его мощность и крутящий момент не могут быть выше значений, указанных в ВСХ. С другой стороны известно, что ДВС может работать и на частичных нагрузочных режимах, когда его основные характеристики ниже ВСХ. Это режимы частичной подачи топлива [30, 140]. При торможении двигателем или в других случаях, когда передача или сцепление выключено, мощность ДВС также не соответствует ВСХ. Выявив режимы нагружения двигателя, можно учесть их в расчете мощности ДВС.

Т.к. методика опирается на заводские данные ВСХ, техническое состояние двигателя испытуемого автомобиля должно быть исправным, а температура впускного воздуха должна быть в пределах 10–30 °С. Техническое состояние двигателя определяется в результате предварительного диагностирования. Наблюдения показывают, что температура воздуха на впуске более стабильна, чем окружающего воздуха, Однако при температуре ниже -15 °С и выше -30 °С измерения все же будут сильно искажены.

Преимущество данной методики состоит в том, что она может использоваться для любых типов ДВС, трансмиссий в т.ч. и комбинированных энергоустановок гибридных автомобилей. Для измерения не требуется внесение изменений в конструкцию автомобиля и использование измерительных систем, т.к. используются собственные параметры текущих и сопутствующих процессов, получаемые с бортовой системы диагностирования.

Реализация методики определения мощности двигателя в условиях эксплуатации представлена ниже.

С помощью диагностического сканера получен набор исходных данных о поездке. Основной характеристикой является средняя частота вращения коленчатого вала за испытание (график на рисунке 2.4).

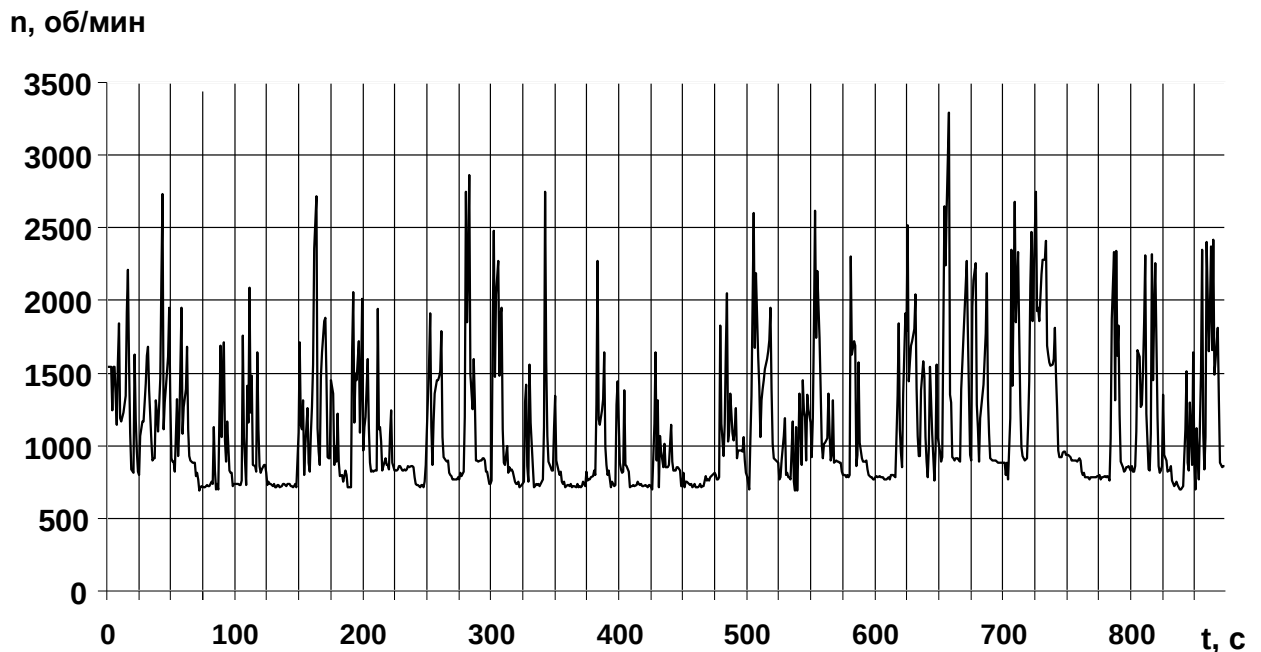


Рисунок 2.4 – График изменения средней частоты вращения коленчатого вала за испытание

Заводская внешняя скоростная характеристика для большинства двигателей доступна. Возможно также использовать ВСХ, полученную расчетным путем. На рисунке 2.5. показаны заводские графики ВСХ и полученные расчетным путем.

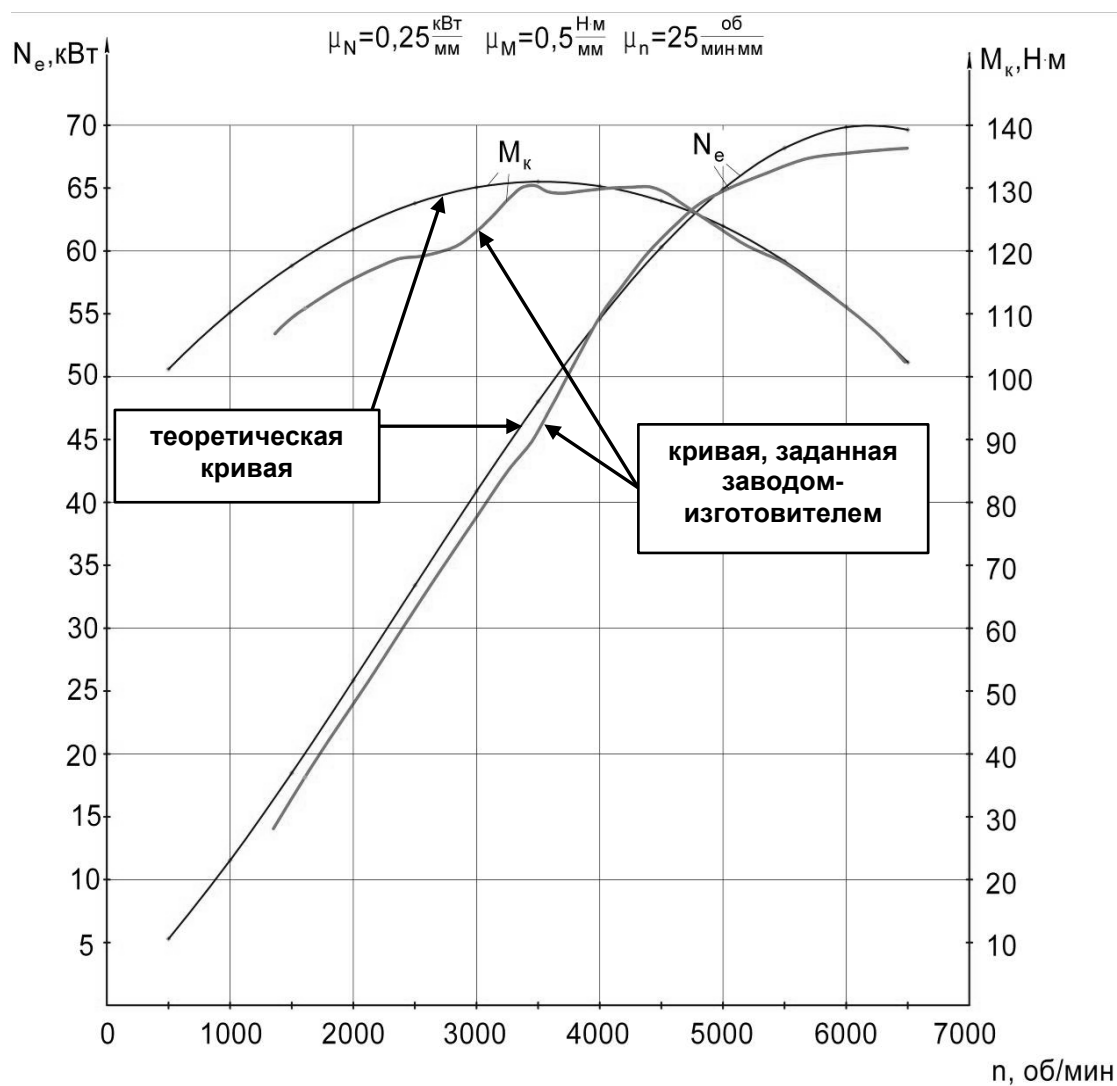


Рисунок 2.5 – Внешняя скоростная характеристика двигателя
(теоретическая и экспериментальная)

С помощью математических вычислений происходит обработка первичных данных вычислений.

1. Определение средней частоты вращения коленчатого вала двигателя за испытание

$$n_{\text{CP}} = \frac{\sum n}{N}, \text{ об/мин.} \quad (2.2)$$

2. Определение мощности N_n , соответствующей n_{CP} путем с помощью внешней скоростной характеристики двигателя.

3. Определение режимов работы с частичными нагрузками. Для этого определяются участки с отсутствующей нагрузкой на двигателе ($N_{\text{ДВС}} = 0$).

4. Определение количества точек измерений с параметром: нагрузка $N = 0$ (N_0) и $N_{\text{ДВС}} \neq 0$ (N_1).

5. Определение среднего значения частоты вращения коленчатого вала двигателя без учета участков $N \neq 0$:

$$n_{\text{CPI}} = \frac{\sum n}{N_{>0}}, \text{ если } N \neq 0. \quad (2.3)$$

6. Определение относительной величины « K » времени работы двигателя при $N \neq 0$, используя соотношение N_1/N_0 .

7. Используя величину n_{CPI} , внешнюю скоростную характеристику (рисунк 2.5) двигателя, величину K , величину $LOAD$, определяем среднюю мощность двигателя за время испытаний:

$$N_{\text{исп.}} = N_{n>0} \times K \times LOAD/100. \quad (2.4)$$

8. Определить максимальную мощность двигателя $N_{\text{МАКС}}$ за время испытаний также возможно, используя значение $n_{\text{МАКС}}$ и внешнюю скоростную характеристику двигателя.

9. Энергетический КПД автомобиля $\eta_{\text{ДВС } \Sigma}$ за время испытаний определяется, используя значение максимального КПД двигателя ($\eta_{\text{ДВС}} = 25 \%$) и относительную величину K .

Таким образом, разработанная методика позволяет получить среднюю и максимальную мощность ДВС за время испытаний, а также его энергетический КПД.

Результаты многократных испытаний автомобилей категории M_1 показывают, что средняя мощность двигателя в условиях неустановившейся работы составляет от 4 до 8 кВт. При этом динамика ускорений и торможений и максимальная мощность двигателя мало влияют на результат, т.к. скорость

движения обусловлена интенсивностью всего потока автомобилей и дорожной обстановкой.

Результаты соответствуют теоретическим расчетам, полученным при помощи методики теоретической оценки топливной экономичности гибридных автомобилей, представленных в главе 3.

Алгоритм оценки мощности двигателя по параметрами OBD (Акт внедрения от 15.06.2021, АО «Легион-Автодата», г. Москва, Приложение Г)

2.4 Расчетно-экспериментальная методика определения максимальной мощности энергоустановки автомобиля в условиях эксплуатации

В некоторых случаях требуется оценка тягово-мощностных свойств в условиях эксплуатации. Это может быть актуально для исследования новых типов энергоустановок, оценки технического состояния автомобилей в условиях эксплуатации, проведения практических исследований. В предыдущей главе был предложен алгоритм оценки средней мощности двигателя по результатам испытания. Однако в некоторых случаях может потребоваться измерение мгновенных значений параметров.

Для этого существуют три основных способа измерения мощности двигателя: на специализированном динамическом стенде; с помощью установки на автомобиль измерительной системы из датчиков момента и скорости вращения, а также использование датчиков линейного ускорения. Как уже отмечалось ранее, тягово-мощностной стенд позволяет измерять характеристики двигателя в стандартных стендовых условиях. Но иногда требуется измерение в условиях эксплуатации, и этот способ не подходит. Установка на автомобиль ряда датчиков момента или ускорения является трудозатратным процессом и требует калибровки и апробации.

В патентной системе также существуют менее известные способы.

Способ измерения мощности двигателя по ускорению коленчатого вала (патент № 2361187 МПК G01M15/04), когда двигатель нагружается собственными силами инерции. Для этого при работе двигателя на холостом ходу резко нажимают на педаль подачи топлива, затем измеряют время достижения заданной скорости вращения коленчатого вала. Способ может использовать сигнал собственного датчика скорости вращения коленчатого вала, подсоединенного к измерительной системе. Недостатком является невозможность определить фактическое значение мощности и ее характеристику изменения.

Похожий способ описан в патенте № 2330256 МПК G01M15/04, где ДВС также нагружается собственными силами инерции, но оценивается максимальное число циклов разгонов-выбегов за интервал времени. Затем полученное значение числа выбегов сравнивается с эталонным. К недостаткам данного способа относится то, что он не позволяет оценить абсолютное значение мощности ДВС и скоростную характеристику двигателя.

Необходима методика оценки, позволяющая производить мгновенные измерения мощности и строить скоростные характеристики двигателя в условиях эксплуатации без установки сложного измерительного оборудования. В основе предлагаемого способа лежит тягово-мощностной расчет, а ДВС нагружается силами сопротивления движению при разгоне. Для проведения измерения требуется диагностический сканер, позволяющий вести запись данных для последующей обработки в режиме реального времени.

Предлагаемая методика оценки внешней скоростной характеристики двигателя отличается от существующих тем, что:

- для подготовки автомобиля к испытанию требуется стандартный диагностический сканер, например Сканматик, или Мобильное приложение MotorData OBD, подключаемое к колодке системы самодиагностирования;
- испытание может происходить в реальных условиях эксплуатации или тестовых заездах;

- не требуется установка на испытуемый автомобиль дополнительных измерительных систем;
- алгоритмы вычислений для использования предлагаемой методики могут быть реализованы на базе программного приложения мобильного устройства или портативного компьютера;
- вычисление мощности по результатам измерений может осуществляться путем передачи данных на сервер разработчика с компьютера пользователя, подсоединенного к сети Интернет.

В основе предлагаемой методики лежат: измерительная часть, алгоритмы и математический аппарат, программно-аппаратная реализация.

Измерительная часть основана на записи параметров текущих процессов с помощью стандартных диагностических средств. Диагностические средства позволяют определить изменение скорости движения за единицу времени $\frac{dV}{dt}$, т.е. ускорение.

Алгоритмы вычисления базируются на известных принципах тягово-мощностного расчета и уравнении движения автомобиля. Известно, что мощность двигателя автомобиля в каждый момент времени равна мощности на ведущих колесах с учетом некоторых потерь в трансмиссии:

$$N_e = \frac{N_T}{\eta_{TP}}, \quad (2.5)$$

где N_T – мощность на ведущих колесах; η_{TP} – коэффициент полезного действия трансмиссии.

На автомобиль при движении действуют силы сопротивления: воздушного потока; качения; инерции подъема. Вычисление данных сил описано в теории движения автомобиля [64].

Мощность силы тяги определяется суммой мощностей сил сопротивления, действующих на автомобиль в каждый момент времени.

$$N_{Ti} = N_{Ki} + N_{Bi} + N_{Ii} + N_{Pi}, \quad (2.6)$$

где N_{Ki} – мощность сопротивления качения; N_{Bi} – мощность сопротивления воздуха; N_{Ii} – мощность сопротивления инерции разгона и торможения; N_{Pi} – мощность сопротивления подъема.

Зная силы, действующие на автомобиль можно рассчитать мощность силы тяги на ведущих колесах и далее на выходном валу энергоустановки. Однако в процессе практических испытаний и сравнений результатов с другими достоверными методиками откорректированы рекомендации по вычислению площади поперечного сечения автомобиля.

Результаты вычисления показывают достаточное соответствие заводской (эталонной) ВСХ и ВСХ полученной экспериментальным путем (рисунок 2.6).

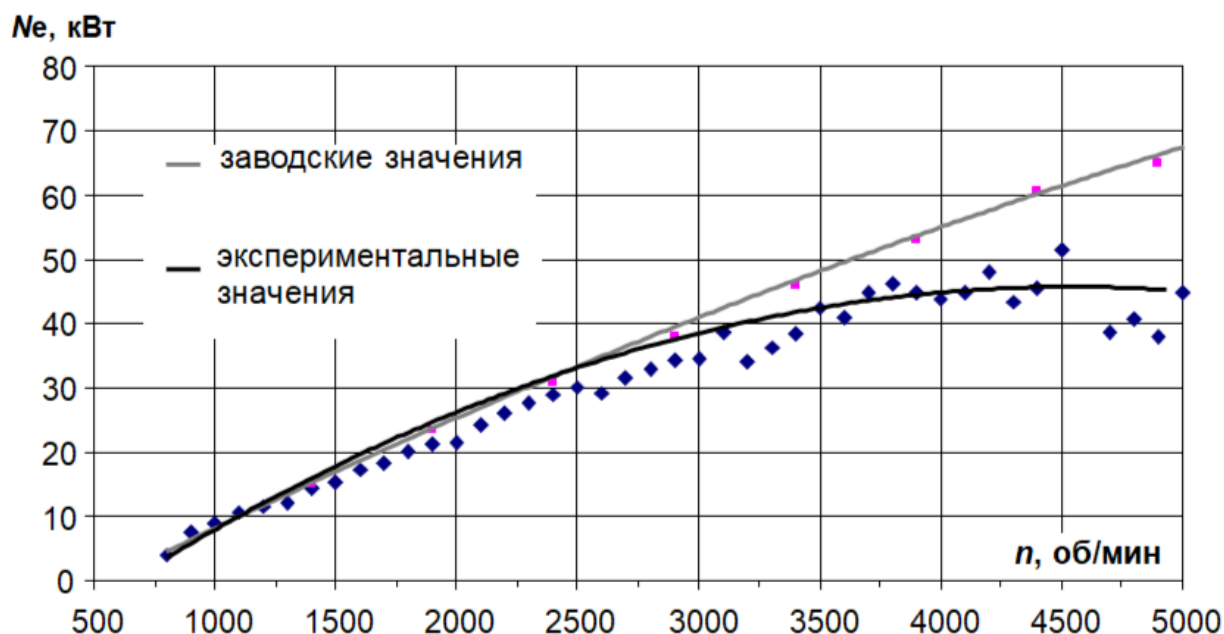


Рисунок 2.6 – Сопоставление экспериментальной и заводской внешних скоростных характеристик

Результаты сопоставления показывают, что скорости вращения коленчатого вала 3000 об/мин отклонение от внешней скоростной характеристики минимально и составляет менее 5 %. При более высоких скоростях коленча-

того вала экспериментальные значения отклоняются в меньшую сторону, что, показывает снижение мощности ДВС на этом диапазоне скоростных режимов.

Для реализации приведенной методики установлен ряд ограничений. Так, измерение на автомобилях с механической КПП на 1-й и 2-й передачах показало, что ДВС не нагружается в достаточной степени силами инерции автомобиля, а значительная часть его мощности расходуется на преодоление собственных сил инерции, а также вращающихся валом колес. Таким образом, измерение следует производить начиная с 3-й передачи. Достижение максимальной скорости вращения коленчатого вала в условиях эксплуатации не всегда достижимо. Но на ценность результатов измерений это почти не влияет, т.к. в условиях эксплуатации ДВС почти никогда не работает при максимальной скорости вращения коленчатого вала.

Основной проблемой обработки результатов явилось сильное колебание ускорения, вызванное вероятно режимом смесеобразования и неровностью дороги. Чтобы сгладить разброс точек измерений в алгоритм расчета добавлены алгоритмы аппроксимации результатов. Апробация расчетно-экспериментального метода проводилась на более чем 30 автомобилях, оснащенных механической и автоматической трансмиссиями.

При использовании алгоритмов аппроксимации результатов достигнута точность соответствия более 95%. Использование приведенной расчетно-экспериментальной методики определения мощности энергоустановки позволяет проводить исследование эксплуатационных свойств гибридных автомобилей, а также упростить процесс оценки технического состояния КЭУ в условиях существующей инфраструктуры обслуживания.

2.5 Расчетно-экспериментальная методика определения расхода топлива и выбросов CO₂ по параметрам встроенной системы самодиагностирования

Затраты на топливо за весь жизненный цикл эксплуатации автомобилей могут превышать затраты на его покупку. От расхода топлива автомобиля зависит его экономическая эффективность, что важно как для частных владельцев, так и для коммерческого транспорта. Учет расхода топлива интересен частным владельцам автомобилей с точки зрения снижения затрат на эксплуатацию, контроля за расходами и их планирования. На коммерческом транспорте измерение расхода топлива осуществляется для тарификации поездок, учета горюче-смазочных материалов, предотвращения хищения топлива, а также для контроля над финансами.

Огромный спрос на мониторинг расхода топлива приводит и к большому количеству предложений различных методик и устройств со стороны разработчиков [40, 65, 168–173].

Для контроля над расходом топлива коммерческой техники чаще всего используют датчики расхода и уровня топлива в баке, передающие информацию через аппаратные терминалы на телеметрические сервисы.

С появлением единого стандарта OBD на всех автомобилях стал возможен анализ данных за поездку с помощью подключаемых к диагностическому разъему аппаратных устройств. Большую популярность среди таких устройств получили дополнительные бортовые компьютеры. Самый крупный производитель бортовых компьютеров в РФ – компания «Multitronics». Преимуществами таких устройств являются постоянное подключение к автомобилю и наличие собственных средств управления и отображения информации. Однако при этом есть и недостатки: высокая цена, требование стационарной установки. Также, как правило, модификация компьютера подходит только определенным маркам автомобилей. Список возможных исходных параметров для оценки расхода топлива представлен в таблице 2.5, а список вычисляемых параметров расхода топлива – в таблице 2.6.

Таблица 2.5 – Список исходных параметров

№ п/п	Сокращенное название на русском	Ед. изм.
1	Обороты Дв	об/мин
2	Скорость автомобиля	км/ч
3	Абсолютное давление ВК	кПа
4	Расход воздуха	г/с
5	Время впрыска	мс
6	Рабочий объем двигателя	литры
7	Производительность форсунки	мл/мин
8	Число цилиндров двигателя	ед.
9	Control unit voltage	Вольт
10	Коэффициент избытка воздуха – заданный	-
11	Коэффициент избытка воздуха – фактический	-
12	Плотность топлива	кг/л
13	Воздух/топлива	-
14	Мощность двигателя	л.с.
15	Период обновления расчетов	с
16	Кратковременная топливная коррекция (B1)	-
17	Поправочный коэффициент для расчета	-
18	Расчетная нагрузка	%

Таблица 2.6 – Список вычисляемых параметров

№ п/п	Сокращенное название на русском	Ед. изм.
1	Мгновенный расход топлива	л/ч
2	Расход топлива приведенный	л/100км
3	Расход топлива за поездку	литры

В подключаемых диагностических сканерах одновременно с набором стандартных диагностических процедур появились мониторы по многосторонней оценке расхода топлива. Это позволяет быстрее оценить состояние автомобиля при диагностировании, но не подходит для постоянного мониторинга расхода топлива.

Основными исходными данными для вычисления параметров расхода топлива являются: сигнал датчика массового расхода воздуха (MAF); сигнал датчика абсолютного давления во впускном коллекторе (MAP); нагрузка двигателя (LOAD) и время впрыска топлива электронной форсункой (t_{ING}) [188]. Помимо этого используется информация от датчика скорости автомобиля, скорости вращения коленчатого вала и другие данные [86]. Алгоритм вычисления данных о расходе топлива за поездку представлен на рисунке 2.7.

Теория двигателей внутреннего сгорания является основополагающей для разработки зависимостей, ее основные положения описаны в учебной литературе [31, 140].

Некоторые научные работы, связанные с определением расхода топлива по параметрам рабочих процессов, были описаны в работах С.В. Хабарина, А.В. Желтышева, В.А. Ракова [17, 145, 105, 110] и др. авторов. Данные о расходе топлива вычисляются на основе методических рекомендаций. Основные зависимости для вычисления расхода топлива легли в основу методики.

Разработаны алгоритмы расчета момента начала и окончания поездки по параметрам исходных данных по протоколам передачи OBD. Разработаны методики вычисления расхода топлива по сигналам датчика массового расхода воздуха (MAF), сигнала датчика абсолютного давления во впускном коллекторе (MAP); расчетной нагрузки двигателя (LOAD) [181] и времени впрыска топлива электронной форсункой (t_{ING}). Разработаны методики вычисления параметров расхода топлива за поездку, вычисления накопленных параметров за все поездки, вычисления расхода топлива по заправкам при ручном вводе информации.

Выбросы CO₂ определяются на основе вычисленного путевого расхода топлива и методических рекомендаций по инвентаризации выбросов [184].

Дополнительно разработаны алгоритмы вычисления расхода топлива и пробега в условиях дорожных заторов, в городском режиме движения и по шоссе.

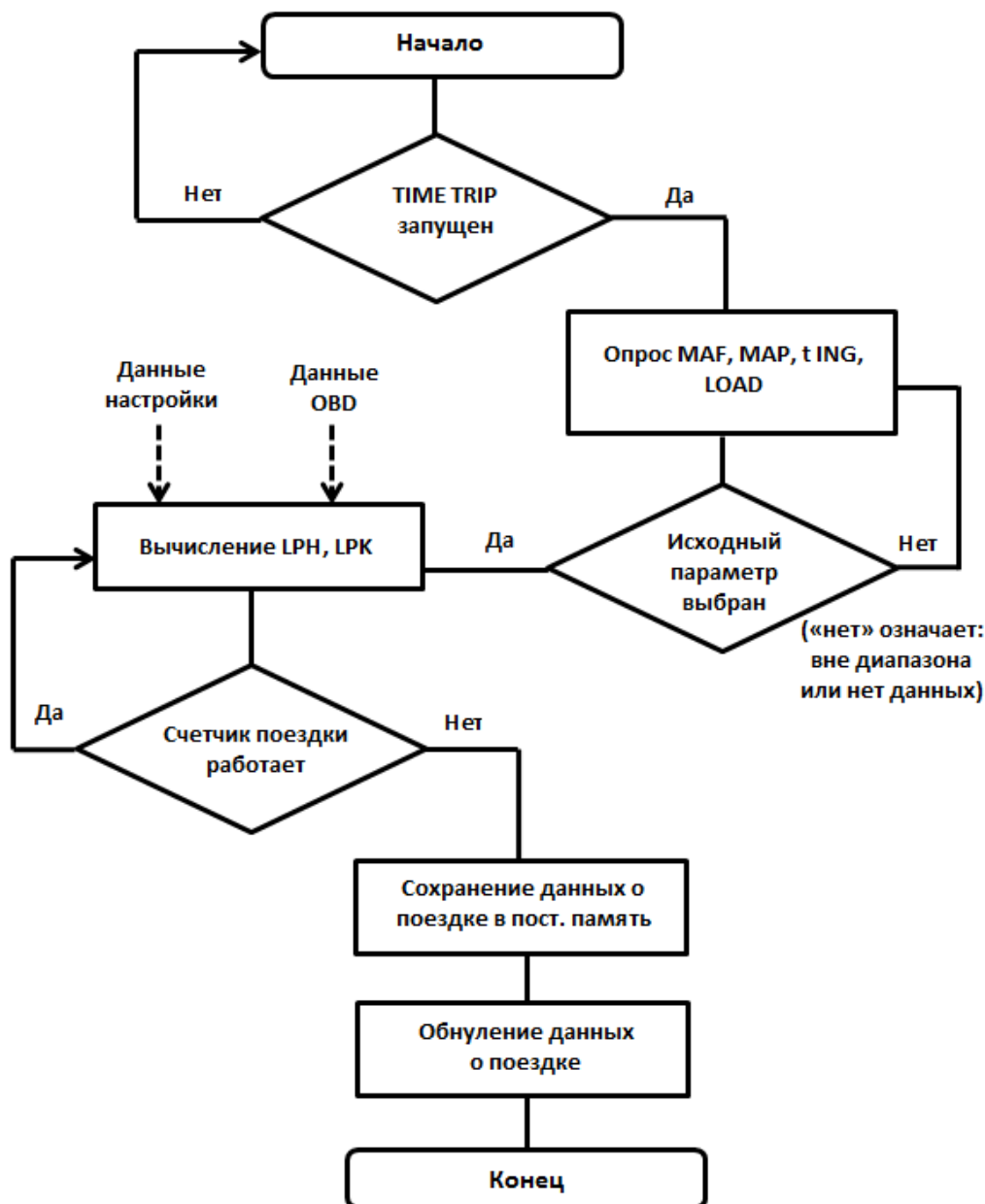


Рисунок 2.7 – Алгоритм вычисления данных о расходе топлива за поездку

Экспериментальные вычисления с использованием предложенных методик показали высокую достоверность вычисления параметров расхода топлива. Точность вычисления соответствует мировому опыту в области эксплуатации автомобилей. Внедрение полученных результатов упростит оценку технического состояния автомобиля за счет быстрого определения расхода топлива.

2.6 Расчетный метод оценки эксплуатационных свойств на основе результатов обработки больших массивов данных параметров рабочих процессов движения автомобиля

Оценка технического состояния двигателя автомобиля сопряжена с необходимостью сравнения его фактических параметров текущих процессов с нормативными «эталонными» значениями этих же процессов. Информацию об эталонных значениях параметров не разглашает ни один производитель автомобиля. Поэтому существует необходимость разрабатывать различные методики и алгоритмы получения этих данных [192].

Внешние диагностические приборы, такие как сканеры электронных блоков управления, могут предоставить часть информации о работе двигателя и даже указать на конкретную ошибку, полученную в результате сбоя программы. Эти же диагностические данные могут быть полезны и для оценки основных параметров двигателя и его систем. Причем не только пороговые значения, которые обнаруживает встроенная система диагностирования, но и фактические [79].

Поток текущих данных от диагностического прибора несет в себе много несистематизированной, несвязанной информации и его оценка достаточно трудоемка. Необходима автоматизированная система сбора и систематизации информации. Здесь описан процесс автоматизированного сбора эталонных значений параметров с помощью мобильного приложения для их дальнейшей систематизации и изучения.

Исходными данными для анализа являются таблицы данных, полученные при помощи сканеров OBD. Сема получения данных представлена на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Порядок получения эталонных значений параметров рабочих процессов двигателя

Список необходимых параметров определен исходя из критерия «минимальное количество с максимальной информативностью». Опытным путем установлено, что в большинстве протоколов передачи данных по протоколам OBD, EOBD максимальное количество собираемых данных составляет 50 шт. Из этого количества в системе самодиагностирования автомобилей доступно не более 30. Комбинация и количество данных в каждом случае могут быть

разные. Для определения наиболее важных данных необходимого количества использован ранговый корреляционный анализ.

Количество снимаемых из программного приложения параметров должно быть минимальным, чтобы частота опроса строки была как можно выше. Минимально необходимое число параметров – от 10 до 15.

$$N_{\Pi}, \Delta t \rightarrow \min.$$

Блок-схема алгоритма сбора данных представлена на рисунке 2.9.

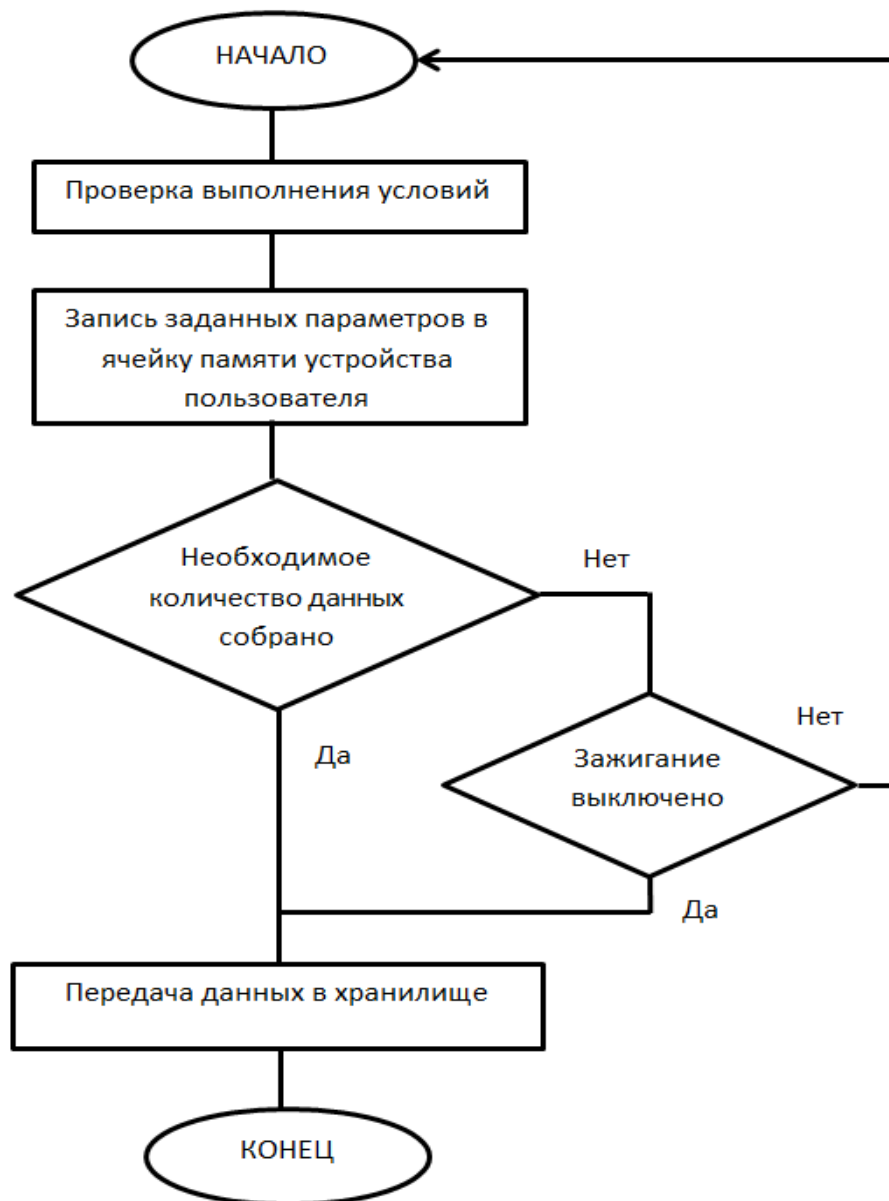


Рисунок 2.9 – Блок-схема сбора параметров с помощью мобильных приложений

После выполнения предварительных условий сбора данных программа алгоритма начинает анализировать приходящие данные по значениям RPM, или $\alpha_{ДЗ}$, или $\alpha_{П}$, или LOAD, или v – в зависимости от выбранного алгоритма сбора. Если анализируемые данные (или их сочетание) не меняются с отклонением 1 % в течение 2–3 раз, то весь циклический проход записывается в память мобильного устройства. После накопления числа записанных проходов до необходимого уровня (например, 20) происходит передача собранных данных, а также данных о модификации автомобиля на сервер. В том случае, если накопление данных еще не завершено, но пользователь приложения выключил зажигание, также происходит отправка имеющихся накопленных данных.

В файле с алгоритмом вычисления устанавливается автоматическая гиперссылка на таблицу с массивом данных. В таблице должно быть не больше 15 столбцов, количество строк – до 10 000 (50 минут записи). Столбцы с данными могут находиться в любой последовательности. Среди них обязательно должен быть параметр RPM, один из элементов группы $\alpha_{ДЗ}$, $\alpha_{П}$, LOAD или v и сопоставляемая величина (величины). В первой строке может быть написано название параметра в любой форме на русском или английском языке. Во второй строке каждого столбца обязательно должен быть идентификатор. Именно по идентификатору параметр будет распознан. Пример показан в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Массив данных с исходными параметрами и идентификаторами

Время, сек	Обороты двигателя, об/мин	Массовый расход воздуха (датчик), г/сек	Угол опе- режения зажигания в первом ци- линдре	Абсолютное положение дросселя, %	Расчет- ная нагруз- ка, %	Температура охлаждающей жидкости, °С	...
75	35,29	2	797,5	0	2	-7,03	...
...	...	...	...	...	...	...	...

На данный момент занесена обработка по 13 параметрам. Если будет несколько одинаковых идентификаторов, то будет использован из первого по порядку столбца.

Далее все действия происходят автоматически:

1. Упорядочивание столбцов в строго определенной последовательности происходит автоматически рядом с основными столбцами данных. Если исходные данные для идентификатора не найдены, в столбце будут стоять прочерки.

2. Поиск в каждом из 20 файлов строк, удовлетворяющих условию постоянства $RPM \pm 100$ и $DZ \pm 0,1$ в 3-х подряд строках.

Строки, удовлетворяющие этим условиям, помечены «1» или «Да», не удовлетворяющие помечены как «0» или «Нет».

3. Заполнение таблицы накопленных данных. В таблице размером 50 столбцов на 100 строк каждая из ячеек будет искать свой условия, например ячейка 26/1500 будет искать все строки со значениями абсолютной нагрузки, для DZ 26 % и RPM 1500. Для перехода на анализ другого параметра нет необходимости в другой матрице, можно использовать списки, в которых достаточно выбрать нужный параметр и матрица сразу изменится.

4. Отсеивание значений, которые сильно выбиваются из выборки (промахи). Это необходимо, чтобы в дальнейших расчетах не учитывались ошибочные значения. Например, ряд: 12,5; 12,5; 12,6; 125; 12,6; 12,8 (при передаче данных исчезла запятая и одно из значений в разы отличается от других). Для этого использованы специальные фильтры с модальными значениями с расширенным интервалом.

5. Вычисление среднего значения для каждого из столбцов с учетом удаленных промахов.

6. Далее каждое найденное среднее значение в каждом из 20 файлов встает в конечную таблицу (матрицу) размером 100×52 (таблица 2.8). Такие таблицы будут для каждого параметра.

Таблица 2.8 – Матрица эталонных значений

Об/мин $\alpha_{ДЗ}$, %	0	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500		5200
0											
1											
2											
3			2,3	2,4							
4				2,3	2,4						
5					2,4	2,5					
...					2,1	2,6	2,8				
1000				2,2	2,4	2,8	2,9	3,2			

7. Усреднение всех значений происходит автоматически по мере добавления в таблицу данных новых автомобилей.

Результаты автоматической сортировки значений и отображения на матрице представлены на рисунках 2.10 и 2.11.

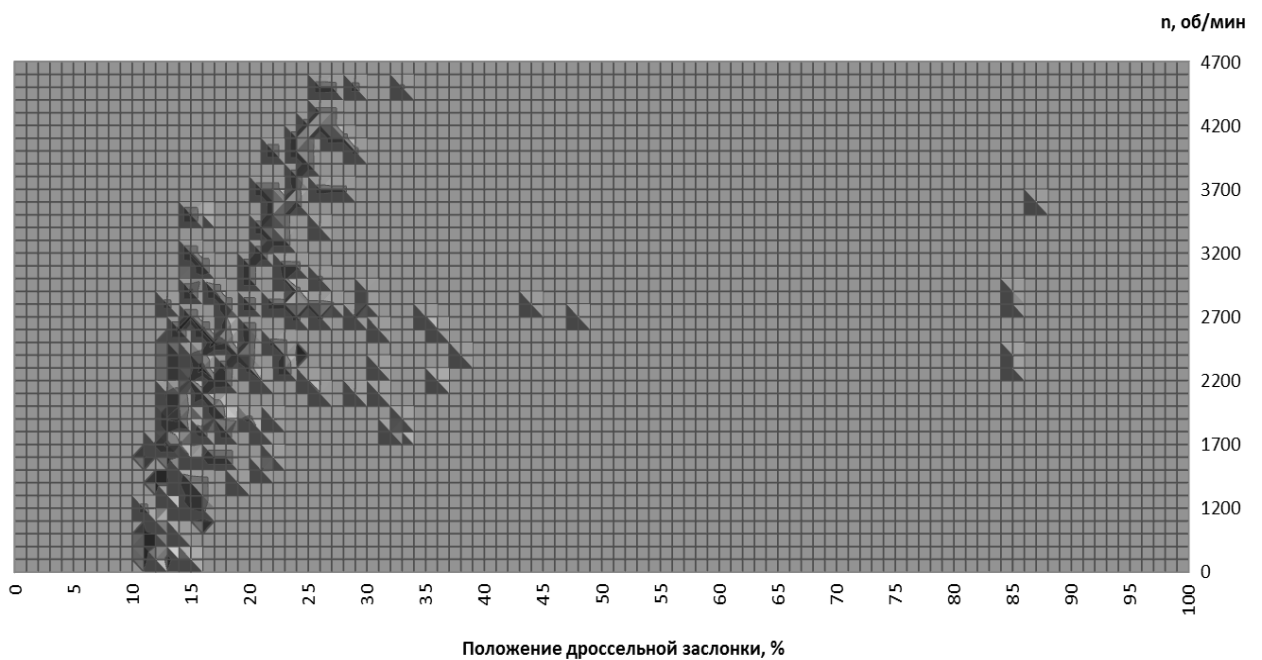


Рисунок 2.10 – Графическое отображение поля найденных эталонных значений

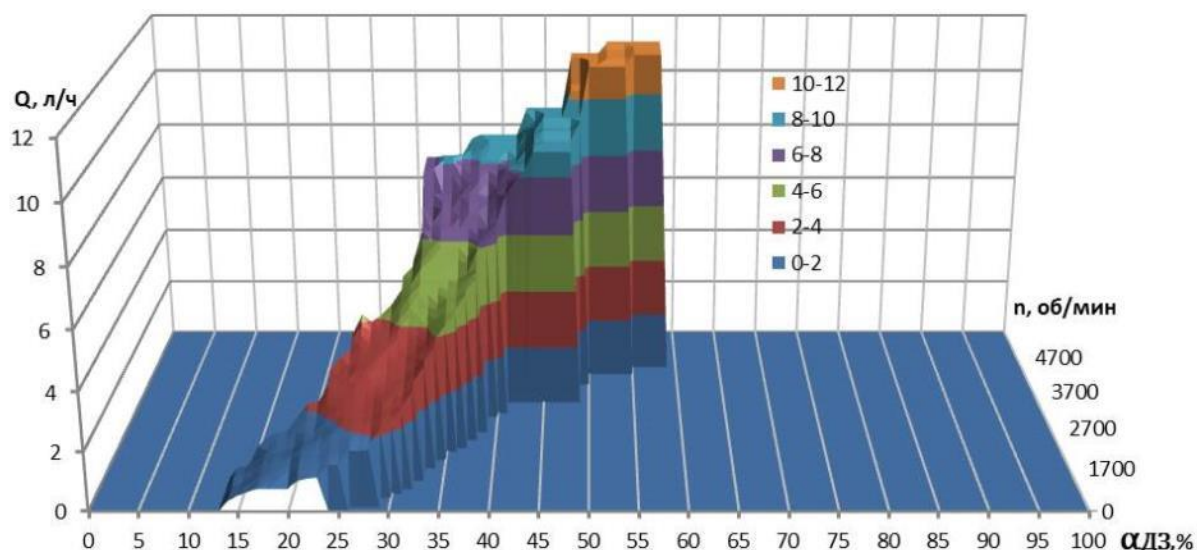


Рисунок 2.11 – Результаты автоматизированного определения
эталонного значения параметра «расход топлива»
и сортировка их на матрице « $\alpha_{дз}$ – n »

Таким образом, представленный алгоритм сбора и систематизации данных позволит получать эталонные значения текущих процессов работы двигателя в автоматическом режиме, обрабатывать их и систематизировать с целью дальнейшего изучения. (Акт внедрения от 15.06.2021, АО «Легион-Автодата», г. Москва, Приложение Г)

2.7 Исследование комбинированных энергоустановок разных типов в лабораторных условиях

2.7.1 Конструкция экспериментальной комбинированной энергоустановки

Особенностью диссертационной работы является исследование эксплуатационных свойств не только тех гибридных автомобилей, которые эксплуатируются в России и доступны для использования сейчас, но и тех, которые еще не созданы, но могут появиться в будущем. Априорное их исследование должно показать направления совершенствования эксплуатационных свойств автомобилей. Цели исследования достигаются за счет комплекса методик и алгоритмов. И несмотря на то, что все они основаны на известных базовых

физических принципах, требуется подтверждение результатов в условиях натурных или лабораторных испытаний. Как было рассмотрено ранее, существуют несколько различных типов КЭУ. Исследование каждой из них в условиях эксплуатации затруднительно, т.к. достаточно сложно собрать все типы с одинаковыми характеристиками, а менять их эксплуатационные свойства в процессе испытаний еще сложнее.

На данном этапе исследования разработана и сконструирована экспериментальная установка, имитирующая работу КЭУ, что также способствует получению дополнительных данных о свойствах КЭУ в различных условиях движения, таких как: оценка достоверности разработанных теоретических зависимостей, алгоритмов и методик; анализ эффективности рекуперации, получение уточненных данных о текущих параметрах рабочих процессов КЭУ. В лабораторных условиях появляется возможность контролировать внешние условия и обеспечить повторяемость эксперимента в процессе многократного повторения циклов движения в заданных условиях. Становится возможным исследовать влияние емкости накопителя энергии цикла движения типа схемы передачи энергии на эксплуатационные свойства КЭУ.

Экспериментальная КЭУ имитирует работу гибридных автомобилей, при этом ее особенностью является возможность имитации последовательной, параллельной и последовательной типовых схем передачи энергии. В качестве исходных данных задается типовой цикл движения. В процессе испытания производится замер и запись входных и выходных параметров работы.

Экспериментальная КЭУ имеет такие же компоненты, как и гибридная энергоустановка автомобиля: ДВС с генераторной установкой; электрический привод; частотный преобразователь (инвертор); устройство распределения механической и электрической мощности; накопитель электрической энергии и нагрузочное устройство.

Компоновочная схема экспериментальной лабораторной КЭУ приведена на рисунке 2.12.

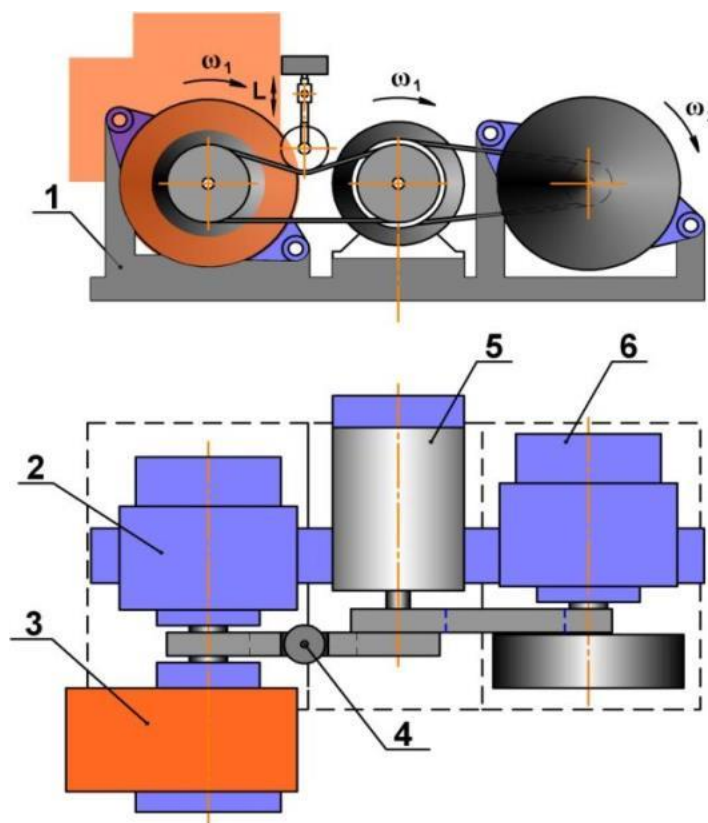


Рисунок 2.12 – Схема привода испытательного стенда, где 1 – рама; 2 – генераторная установка; 3 – ДВС; 4 – ролик с регулируемым натяжением; 5 – тяговый асинхронный электродвигатель; 6 – нагрузочное устройство

На раме 1 установлен ДВС, соединенный с генераторной установкой (Г1), который образует источник энергии постоянного тока напряжением 300 В. Питание генераторной установки подается на накопитель электрической энергии. Инвертор, питающийся от накопителя энергии, служит для управления тяговым электродвигателем. Между ДВС и тяговым электродвигателем также обеспечивается механическая связь, которая может разрываться при необходимости. Это обеспечивается за счет поликлиновой передачи с регулируемым натяжением. Тяговый электродвигатель 5 нагружен устройством имитации нагрузки, которое включает в себя маховик, установленный на валу электродвигателя, и синхронный генератор с регулируемой мощностью, соединенный с помощью ременной передачи.

Характеристики основных компонентов

ДВС. Использован бензиновый одноцилиндровый 4-тактный двигатель внутреннего сгорания максимальной мощностью 1,1 кВт при 8000 об/мин. Питание ДВС – карбюратор. Управление дроссельной заслонкой – электропривод; контроль скорости вращения коленчатого вала – дистанционный электрифицированный.

Генератор (Г1). Использован синхронный трехфазный генератор переменного тока с регулятором напряжения и диодным мостом. Возбуждение ротора осуществляется от электромагнита. Выходное напряжение постоянное 300 В. Генератор Г1 соединен с ДВС через переходной фланец и муфту и образуют генераторную установку постоянного тока (рисунок 2.13).

Тяговый электродвигатель трехфазный асинхронный с воздушным охлаждением. Номинальная мощность 1,0 кВт. Частота регулируемая.

Частотный преобразователь (инвертор) регулирует частоту вращения тягового электродвигателя. Принцип регулирования – векторный без обратной связи. К шине постоянного тока инвертора подсоединен накопитель энергии постоянного тока и генераторная установка.



Рисунок 2.13 – Генераторная установка экспериментальной КЭУ

Накопитель энергии конденсаторного типа. Максимальная емкость $C = 1,6$ Ф. Максимальное напряжение 200 В. Схема соединения – 2 последовательно. Запасаемая энергия – 48 кДж.

Устройство имитации нагрузки состоит из маховика с изменяемой массой и синхронного генератора, соединенного с регулируемой нагрузкой со ступенчатым изменением мощности: 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 кВт. Вал генератора соединен с генератором нагрузки через ременную передачу (рисунок 2.14). Маховик имитирует моменты инерции при разгоне автомобиля, а генератор – линейные постоянные нагрузки от дороги.

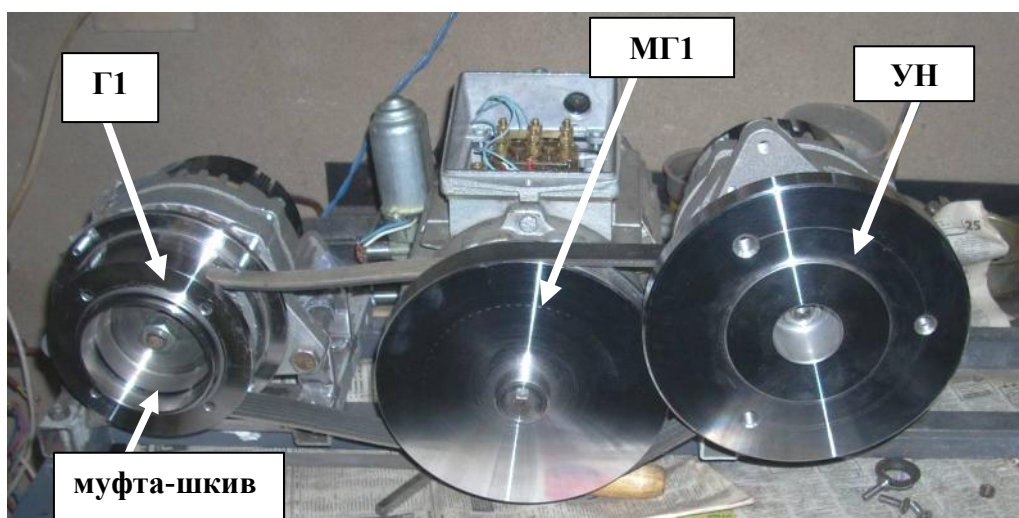


Рисунок 2.14 – Установка генератора Г1, тягового электродвигателя (МГ1) и генератора узла нагрузки (УН) на раме

Система питания ДВС карбюраторная с установленной расходной мензуркой для контроля расхода топлива с ценой деления 0,1 мл. Используется стандартный бензин марки Аи-95 (ГОСТ 32513-2013). Паспорт качества бензина приведен в Приложении Е.

Компоненты тягового электропривода системы управления, системы измерения соединены проводами. Провода напряжением 220–320 В имеют двойную изоляцию (рисунок 2.15). Провода измерительной системы экранированы.

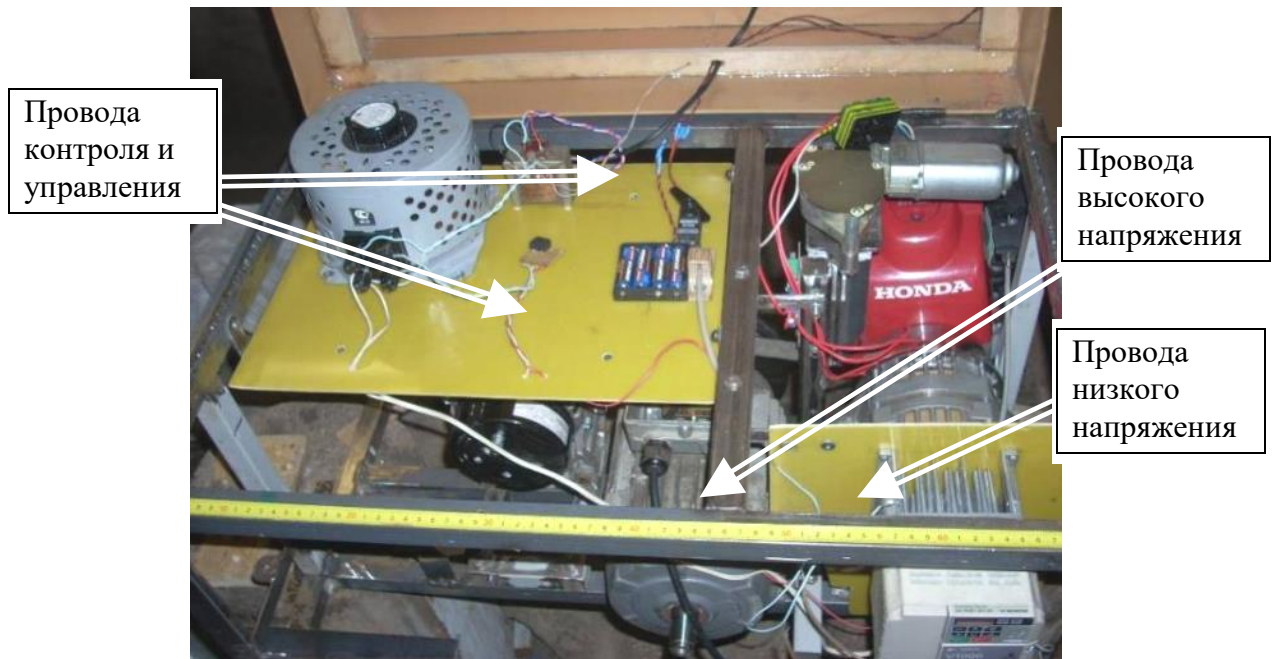


Рисунок 2.15 – Расположение компонентов КЭУ в собранном виде

Механизм управления механической связью предназначен для подсоеди-
нения или отсоединения вала ДВС и вала тягового электродвигателя (ри-
сунк 2.16).

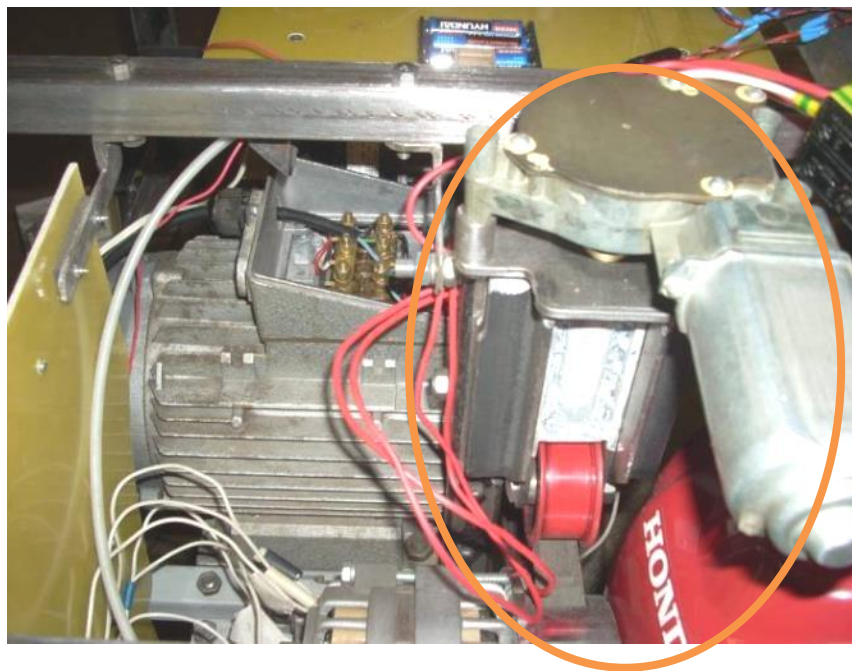


Рисунок 2.16 – Механизм управления механической связью

Механизм имеет электрический привод, управление которым выведено на центральный пульт. С помощью натяжения ремня достигается подключение, частичное подключение или отключение механической цепи передачи энергии от ДВС на вал тягового электродвигателя и узел нагрузки. Таким образом, может осуществляться изменение схемы передачи энергии, что позволяет реализовать последовательную, параллельную и смешанную схемы передачи энергии. А также передачу энергии только посредством механической связи.

Панель управления расположена в верхней части экспериментальной КЭУ (рисунок 2.17). На панели управления расположены органы управления генераторной установкой и тахометр скорости вращения коленчатого вала ДВС. Регулировка скорости вращения тяговым электродвигателем осуществляется тремя способами:

- с помощью аналогового регулятора;
- с помощью панели управления частотного регулятора;
- с помощью цифрового интерфейса и программы CX-Drive.

Контроль токов и напряжений в силовых цепях осуществляется с помощью аналоговых приборов и цифровой измерительной записывающей системы. Измерение осуществляется в цепи: постоянного тока генераторной установки; цепи постоянного тока накопителя энергии; цепи инвертора и цепи узла нагрузки.

С помощью 3-х датчиков тока и 3-х датчиков напряжения, соединенных с цифровой измерительной системой L-Card, осуществляется запись цифровых параметров датчиков.

Внешний вид экспериментальной КЭУ представлен на рисунках 2.17 и 2.18.



Рисунок 2.17 – Внешний вид экспериментальной КЭУ



Рисунок 2.18 – КЭУ при проведении экспериментальных исследований

Экспериментальная КЭУ изготовлена в г. Вологде на базе Вологодского государственного университета. Ее конструкция позволяет производить исследование топливной экономичности последовательной, параллельной и смешанной типовых схем КЭУ при заданном цикле движения и нагрузке. В лабораторных условиях появляется возможность контролировать внешние условия и обеспечить повторяемость эксперимента в процессе многократного повторения циклов движения в заданных условиях. Становится возможным

исследовать влияние емкости накопителя энергии, цикла движения типа, схемы передачи энергии на эксплуатационные свойства КЭУ. В процессе испытания производится замер и запись входных и выходных параметров работы. Далее представлены разработанные методики оценки эксплуатационных свойств КЭУ в лабораторных условиях.

2.7.2 Исследование эффективности рекуперации энергии торможения в стендовых условиях

Свойства рекуперативного торможения – это одни из новых свойств, которыми обладают гибридные автомобили. Рекуперативное торможение влияет на топливную экономичность и экологическую безопасность автомобиля. На свойства рекуперативного торможения влияют: мощность тягового электропривода; емкость тягового накопителя энергии, масса автомобиля, интенсивность торможения и цикл движения.

Экспериментальная КЭУ также позволяет проводить исследования по рекуперации энергии торможения, что позволяет выявить закономерности и уточнить расчетные теоретические методики оценки.

Ввиду отсутствия существующих методик оценки свойств рекуперативного торможения и его связи с другими эксплуатационными свойствами разработана методика проведения испытаний.

За основу взяты циклы испытаний, в которых меняется частота вращения привода и нагрузка так же, как и при испытании автомобилей на токсичность.

Циклы постоянной нагрузки (Циклы 1.0). Скорость и нагрузка в приводе не меняется и задается постоянной на уровне 0,25 кВт, 0,5 кВт, 0,75 кВт, 1,0 кВт или 1,25 кВт (рисунок 2.19). Частота вращения вала тягового электропривода устанавливается постоянной в диапазоне рабочих режимов электродвигателя 2000 до 4500 об/мин [120].

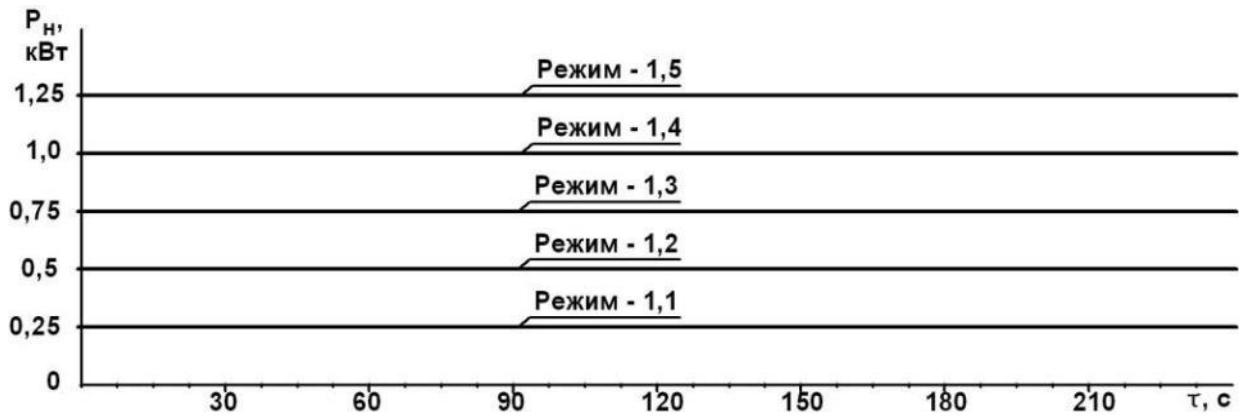


Рисунок 2.19 – Цикл 1.0 – движение с постоянной нагрузкой и скоростью

Данный цикл позволяет оценить эффективность работы привода при постоянной нагрузке и различных типовых схемах передачи энергии.

Цикл Р4 – четырехкратное повторение разгонов и торможений до заданной скорости, аналогично методике испытаний европейского ездового цикла NEDC (рисунок 2.20).

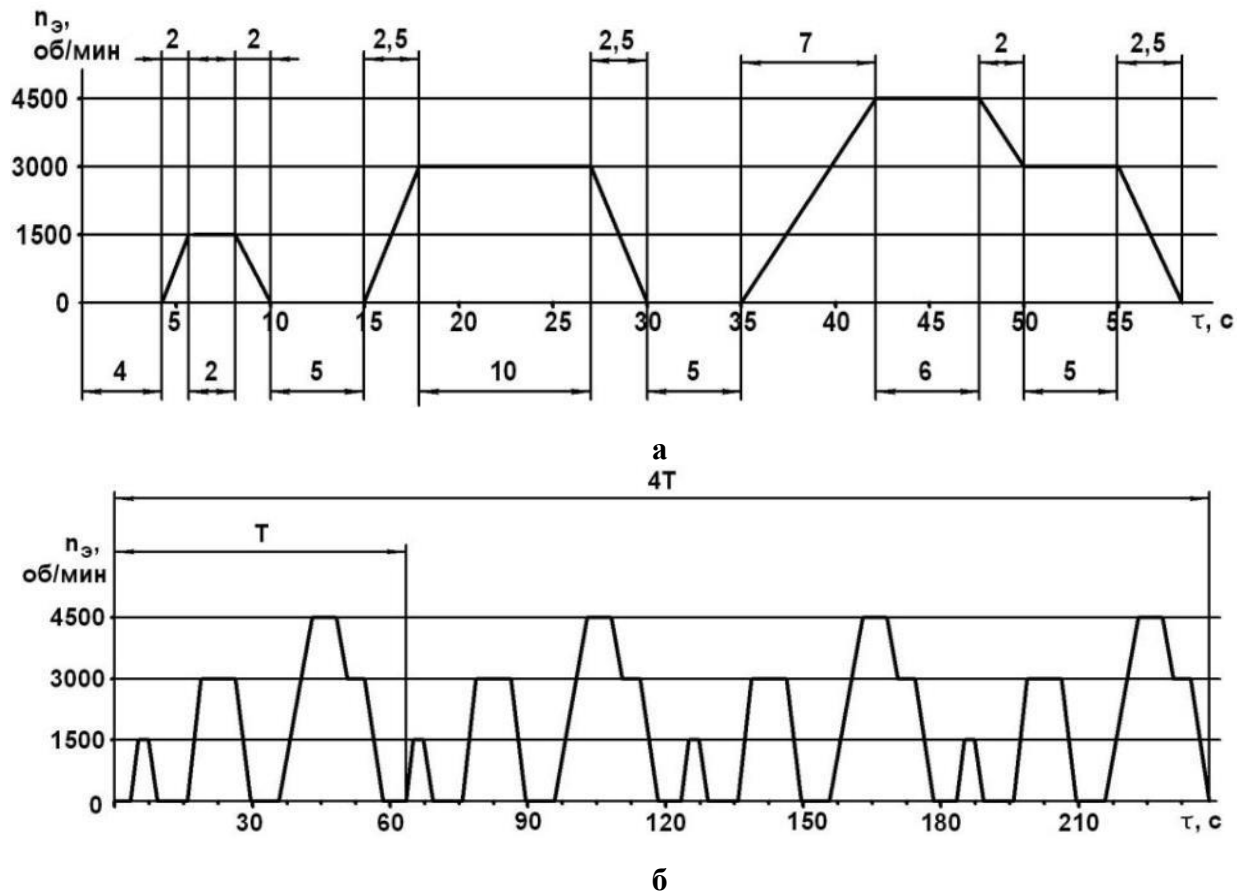


Рисунок 2.20 – Испытательный цикл Р4:

а – однократное испытание; б – полный цикл

Такой цикл максимально приближает работу к городским условиям движения автомобилей категории M_1 .

Более простой цикл Р6 состоит из плавных разгонов до заданной скорости и торможений до полной остановки (рисунок 2.21). При этом нагрузка меняется плавно по S-образной кривой. Такой цикл характерен для движения по маршруту с остановками.

Нагрузка привода и частота вращения вала тягового электродвигателя может изменяться в зависимости от требуемых условий. Задаются: время разгона ($t_{\text{разг}}$), время торможения ($t_{\text{торм.}}$) и время устойчивого движения. Также может быть задано время остановки и разгона на переходных участках.

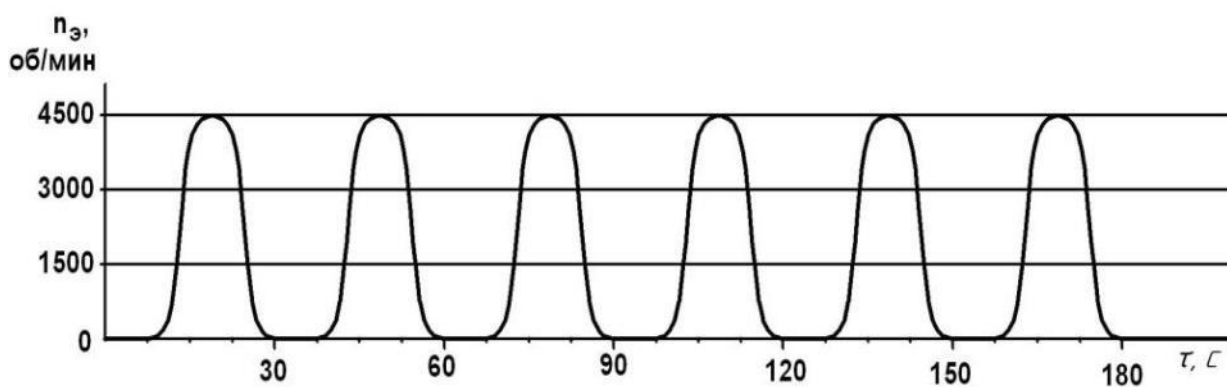


Рисунок 2.21 – Цикл нагрузки Р6

Торможение с возвратом накопленной кинетической энергии движения осуществляется при переводе тягового электродвигателя в генераторный режим. Измеряя текущую энергию в конденсаторном накопителе в момент разгона, перед началом и в конце торможения можно оценить эффективность рекуперации. Измеряя расход топлива с рекуперацией и без рекуперации возможно оценить ее влияние на топливную экономичность. Теоретическое обоснование рекуперативного торможения было описано ранее [93].

Ниже изложена методика определения эффективности рекуперации экспериментальным путем:

1. Зарядить накопитель энергии до номинального напряжения (310 В).

2. Произвести разгон тягового привод до скорости вала 1500, 3000 и 4500 об/мин, фиксируя уровень напряжения в накопителе энергии перед началом и в конце торможения.

3. Повторить разгон и торможение несколько раз.

4. Используя известные зависимости, рассчитать энергию в начале и в конце торможения.

Измерительные приборы: датчики тока и напряжения в цепи накопителя энергии; измерительная система L-Card.

В качестве накопителей энергии используются сверхвысокоемкие конденсаторы 200ПП-28/026 напряжением 200 В и емкостью 1,4 Ф (фарада), соединенные по схеме: 2 последовательно.

Энергия в конденсаторе зависит от его емкости (C), выраженной в Фарадах и напряжения на контактах (U) в вольтах в квадрате:

$$W = \frac{C \cdot U^2}{2}, \quad (2.7)$$

Если используется (n) последовательность соединенных конденсаторов, то формула принимает вид:

$$W = \frac{C/n \cdot (U \cdot n)^2}{2}. \quad (2.8)$$

Энергия в начале W_1 и конце W_2 заряда будет зависеть от начального U_1 и конечного U_2 напряжения на контактах конденсаторной батареи

$$W_{1,2} = \frac{C/n \cdot (U_{1,2}/n)^2}{2000}, \text{ кДж}, \quad (2.9)$$

Т.к. конденсатор не является химическим источником энергии его запасемую или отдаваемую энергию достаточно просто определить по формуле 2.17.

$$W = W_1 - W_2, \text{ кДж}. \quad (2.10)$$

В условиях лабораторного эксперимента производится замер энергии, затраченной на разгон привода до заданной скорости вращения вала, а также отданной при рекуперативном торможении с заданной скорости до остановки.

На графике (рисунок 2.22) приведены результаты измерений.

Увеличение энергии в накопителе энергии объясняется возвратом накопленной кинетической энергии привода, при активном электродинамическом торможении.

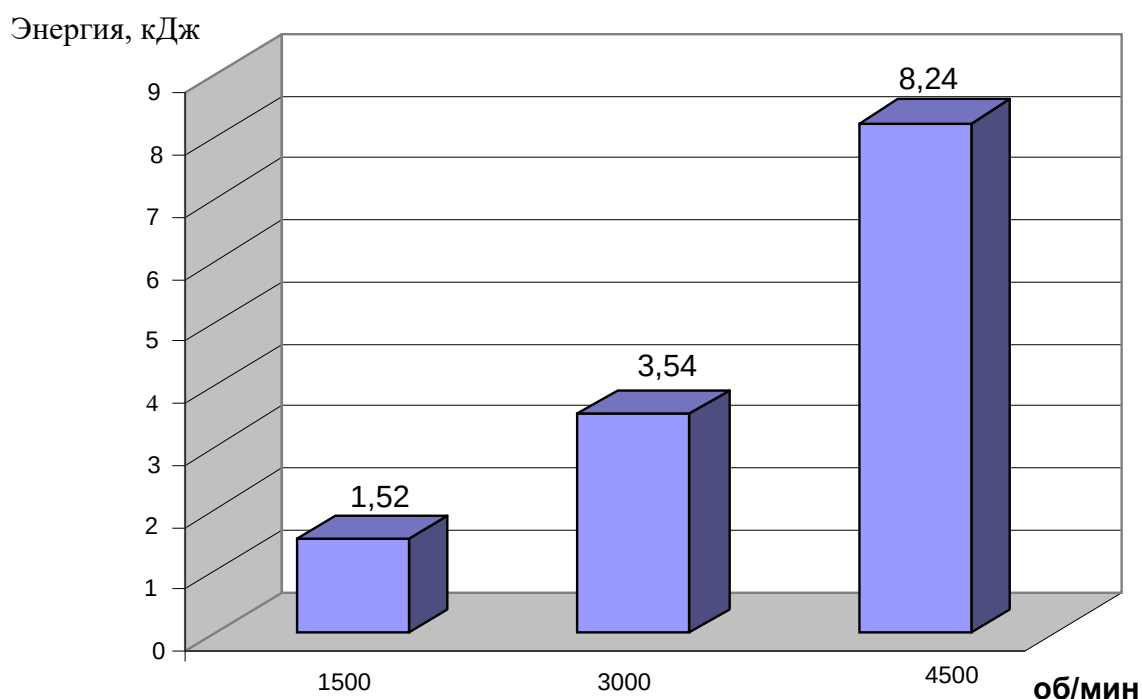


Рисунок 2.22 – Затраты энергии при разгоне привода до заданной скорости

Точного понятия, оценивающего долю возвращенной энергии или используемой возвращенной энергии, на сегодняшний день пока нет, поэтому в исследовании принято рассматривать ее разными способами.

Первый. Учитывает потери при преобразовании механической энергии в электрическую в электроприводе при торможении, КПД накопителя и по-

тери в электроприводе при преобразовании электрической энергии в механическую при использовании рекуперированной энергии повторно.

Второй. Относительная величина кинетической энергии движущегося с начальной скоростью привода, которая возвращается в ТНЭ в результате торможения до полной остановки.

Первый подход. Учитывает потери при преобразовании механической энергии в электрическую в электроприводе при торможении, КПД накопителя и потери в электроприводе при преобразовании электрической энергии в механическую при использовании рекуперированной энергии повторно.

Количество отданной при разгоне W_p и возвращенной при торможении W_T энергии определялось с помощью формул 2.9 и 2.10. Далее с помощью этих же зависимостей определялось количество энергии, затраченное на разгон до этой же скорости.

Полученный коэффициент эффективности рекуперации в данном случае:

$$K_{p1} = \frac{W_T}{W_p} = \frac{794}{3281} = 0,24. \quad (2.11)$$

Т.е. в накопитель энергии вернулось 24 % энергии, израсходованной ранее на разгон привода.

Результаты измерений записаны в таблицах Б.2 и Б.3 Приложения Б.

Второй подход. Сложность определения коэффициента возврата энергии в этом случае состоит в том, что необходимо определить энергию движущегося привода. Для этого производится запись величины энергии, затраченной на разгон, и потери на холостой ход. Измерительное оборудование: датчики тока и напряжения, измерительная система L-Card (Приложение Е).

Согласно проведенным измерениям потери холостого хода в приводе при разгоне W_{Π} составили 1060 Дж, а общие затраты энергии W_{100} на разгон составили 3281 Дж. Таким образом, энергия движущегося привода при ско-

рости вращения вала электродвигателя 3000 об/мин (100Гц) будет вычисляться по формуле:

$$W_K = W_{T100} - W_{\Pi}. \quad (2.12)$$

Коэффициент возврата энергии торможения во втором подходе будет вычисляться по формуле:

$$K_{P2} = \frac{W_{T100}}{W_{P100} - W_{\Pi}} = \frac{843}{3428 - 1060} = 0,36. \quad (2.13)$$

Это означает, что в накопитель энергии вернулось 36 % энергии движущегося привода [113,121].

Испытание с рекуперативным торможением с более высокими скоростями вращения – 4500 об/мин и более – показали снижение коэффициента возврата энергии (таблица Б.4 Приложения Б), что, вероятно, обусловлено достижением максимальных токов в цепи инвертора. Остановка привода в таком случае происходит за счет взаимодействия магнитных полей в самой машине, однако заряд конденсаторов ограничивается. Данное обстоятельство необходимо учитывать в методиках и алгоритмах расчета. Рекомендуется принимать КПД рекуперации энергии 15–35 %.

2.7.3 Определение энергетического КПД комбинированной энергоустановки в стендовых условиях

Эффективность использования типовых схем КЭУ в заданных условиях эксплуатации наиболее рационально оценивать универсальным показателем, учитывающем полезную работу, нагрузку и внутренние потери в приводе. Таким универсальным показателем является расход топлива, приведенный к единице полезной работы. К таким показателям относится тепловой

КПД энергоустановки, но рассчитываемый за определенное время. В литературе такой показатель описан как энергетический КПД [10, 19].

Для определения энергетического КПД комбинированной энергоустановки необходимо измерить полезную работу, совершаемую энергоустановкой и теплоту сгораемого топлива.

Ниже представлена методика проведения исследований последовательной схемы в режимах постоянных нагрузок.

Порядок проведения испытаний:

1. Зарядить накопитель энергии до номинального напряжения 310 В.
2. Зафиксировать количество топлива в мензурке.
3. Произвести испытание по заданному режиму, фиксируя потребляемую мощность в узле нагрузки и расход топлива.
4. Произвести вычисление энергетического КПД энергоустановки.
5. Произвести испытание для каждой типовой схемы КЭУ, включая механическую передачу.
6. Произвести испытание с разными нагрузками на привод.
7. Вычислить энергетический КПД.
8. Построить график зависимости энергетического КПД КЭУ в зависимости от нагрузки.

Используемое оборудование: датчики тока и напряжения в цепи накопителя энергии; измерительная система L-Card (Приложение Е), тахометр, топливная мензурка, секундомер.

1. Нагрузка в приводе рассчитывается из мощности в генераторе узла нагрузки:

$$P = I \cdot U. \quad (2.14)$$

2. Полезная энергия привода будет равна:

$$W_{\text{ПОТ}} = \int_1^t P(t) dt, \quad (2.15)$$

где t – время испытания, с.

3. Определение энергии израсходованного топлива:

$$W_{\text{ТОП}} = Q/1000 \cdot \rho \cdot H_U \cdot 1000, \text{ Дж}, \quad (2.16)$$

где H_U – удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг [154] ; ρ – плотность бензина Аи-95.

4. С учетом зависимостей (2.15) и (2.16) энергетический КПД привода будет вычисляться по формуле:

$$\eta = \frac{W_{\text{ПОТ}}}{W_{\text{ТОП}}} \cdot 100. \quad (2.17)$$

Результаты измерений и расчета энергетического КПД приведены в таблице Б.5 Приложения Б. В процессе испытаний была установлена частота вращения коленчатого вала ДВС 3000 об/мин, при режиме нагружения – 70 %.

В результате испытания получен энергетический КПД КЭУ последовательной схемы, который составил 6,8 % (таблица Б.5 Приложения Б). Параллельная и смешанная схема показали более высокий энергетический КПД. Таким образом, последовательная схема передачи энергии при постоянной нагрузке оказалась менее эффективной, чем смешанная и параллельная, из-за больших потерь при двойном преобразовании энергии. Подтверждаются результаты теоретических расчетов КЭУ. Последовательная схема КЭУ может быть эффективна только в условиях переменных нагрузок.

Проведено исследование механической передачи энергии без использования электропривода. Это позволяет сравнить эффективность передачи энергии без использования электромеханической трансмиссии.

Порядок проведения замеров:

1. Отключить электрический привод и включить механическую передачу, заблокировав валы ДВС и электродвигателя с помощью устройства распределения мощности.
2. Запустить ДВС.
3. Записать показания тока и напряжения в цепи генератора нагрузки.
4. Вычислить энергетический КПД привода.
5. Сравнить с результатами испытаний последовательной схемы передачи энергии.

Используемое оборудование: датчики тока и напряжения в цепи накопителя энергии; измерительная система L-Card (Приложение Е), тахометр, топливная мензурка, секундомер.

2.7.4 Анализ стендовых испытаний

Экспериментальная КЭУ позволяет проводить экспериментальные исследования по оценке эксплуатационных свойств КЭУ в лабораторных условиях с возможностью многократного проведения испытаний, что позволяет уточнить разработанные алгоритмы оценки.

На основании произведенных лабораторных исследований описано понятие «коэффициент возврата энергии при рекуперации» (K_p), характеризующий эффективность рекуперативного торможения и дополняющий понятие «эффективность рекуперации».

При этом коэффициент K_{p1} характеризует отношение энергии, возвращенной в накопитель при рекуперации, по отношению к энергии, затраченной на разгон автомобиля до начальной скорости. Этот коэффициент оценивает степень влияния рекуперации на топливную экономичность автомобиля.

Коэффициент K_{p2} характеризует отношение энергии, возвращенной в накопитель, по отношению к кинетической энергии движущегося автомобиля. K_{p2} показывает качества преобразования и накопления энергии в накопи-

тель. Эффективность преобразования энергии (K_{p2}) для аналогичного типа гибридных автомобилей составляет 25–30 %.

Как и предполагалось, при постоянной нагрузке КПД механической передачи оказался выше и составил 9,7 % (Таблица Б.6 Приложения Б). Это обусловлено меньшими затратами на двойное преобразование энергии. Однако при частых разгонах-торможениях энергетический КПД механической передачи резко падает, в этом случае комбинированная схема привода имеет более высокий КПД. Граница эффективности КЭУ будет зависеть от характеристик ДВС, тягового электропривода, емкости накопителя энергии и климатических условий эксплуатации.

2.8 Исследования на экспериментальных автомобилях с комбинированной энергоустановкой в дорожных условиях

Большая часть исследований на сегодняшний день проводится с помощью теоретического моделирования физических процессов. По исходным данным программы автоматического моделирования позволяют быстро получить точные результаты вычислений. Так, существуют математические модели работы электрической силовой установки автомобиля, описанные еще в 60–70-е гг. в книге И.С. Ефремова [39]. Математические модели работы КЭУ автомобиля разработаны и уточнены исследователями НАМИ, МАМИ, СибаДИ, ИжГТУ и других вузов и организаций.

Наработки по оценке работы КЭУ также были реализованы ранее в программе КЭУ-АВТО [186] (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, Приложение Д). Она позволяет получить оптимальные характеристики КЭУ для заданного скоростного цикла движения. В результате оценки также определяются и данные о расходе топлива автомобиля.

Существующие математические модели в теории работают с определенным уровнем достоверности. В условиях практического использования

эксплуатационные свойства зачастую отличаются от заданных. Это происходит из-за различных неточностей, ошибок и неверных исходных данных. Основными элементами КЭУ являются: тяговый электродвигатель, электрогенератор, ДВС, накопитель энергии. Технические характеристики данных устройств, такие как мощность, крутящий момент, коэффициент полезного действия, экономичность и т.д., заданы заводом-изготовителем. Они же используются для вычисления в программах моделирования. Однако зачастую эти характеристики весьма приближенные, полученные на постоянных режимах, в реальных же условиях диапазон изменения весьма широк и требует подтверждения или уточнения в процессе экспериментальных исследований и испытаний. Ошибки при теоретическом моделировании могут быть в расчетных моделях и алгоритмах, концепциях. Они могут возникнуть и на этапе выявления влияющих на результаты факторов, т.к. не все необходимые влияющие факторы могут быть учтены.

Разработка ходового макета является промежуточным этапом между лабораторной установкой и полномасштабной моделью и позволяет получить наибольшее количество объективных данных, для исключения ошибок при внедрении полученных результатов.

Расчеты по определению оптимальных параметров электропривода проводились в рамках НИР «Научно-техническое обоснование энергетического баланса в системе генератор – накопитель энергии – двигатель гибридного привода на основе исследо-



Рисунок 2.23 – Опытный образец автобуса с КЭУ «Транс-Альфа» на испытаниях в г. Вологда

ваний ездового цикла троллейбуса» по заказу ОАО «Транс-Альфа».

Результаты исследований были использованы при создании опытного образца автобуса (рисунок 2.23) с КЭУ последовательного типа и конденсаторным высоковольтным накопителем энергии (Приложение Г4, АКТ внедрения). В качестве первично источника энергии использован дизельный двигатель Cummins C70 D5. В качестве тягового электропривода – асинхронный электродвигатель переменного тока с инвертором, в качестве бортового накопителя энергии – батарея из сверхвысокоемкие конденсаторов. Результаты испытаний подтвердили теоретические расчеты и показали направления совершенствования КЭУ.

Полученный задел реализован при разработке и постройке экспериментального гибридного автомобиля на базе ВАЗ-1118 (Уведомление Фонда содействия инновациям, Приказ №10 ООО «ПЭТ», АКТ внедрения, Приложение Г5). Он оборудован КЭУ последовательного типа (рисунки 2.24, 2.25). Первоисточником энергии КЭУ является дизельный одноцилиндровый четырехтактный двигатель, работающий в постоянном нагрузочном режиме, а в качестве тягового накопителя энергии использованы сверхвысокоемкие конденсаторы.



Рисунок 2.24 – Подкапотное пространство экспериментального автомобиля с КЭУ на базе ВАЗ-1118

Исследования по оценке эффективности автомобилей, работающих в условиях неустановившихся режимах работы, проводились в Вологодском государственном университете В.А. Раковым под руководством д-ра техн. наук, профессора И.К. Александрова в течение 15 лет. Ранее в данном направлении были разработаны и запатентованы новые технические решения, описаны алгоритмы оценки, просчитывающие оптимальный вариант ав-

томобиля с комбинированной энергоустановкой, изготовлены лабораторные стенды, имитирующие различные типы комбинированных энергоустановок, проведены испытания, подтверждающие эффективность принимаемых решений. Параллельно изучался опыт эксплуатации автомобилей с КЭУ в других странах, велись исследования по созданию инфраструктуры и условий эксплуатации автомобилей с КЭУ в России.

Следующим этапом является проведение ходовых испытаний автомобиля с КЭУ. Для этого был создан автомобиль с экспериментальной КЭУ.

С помощью ходового макета проведены испытания в условиях, подобных городскому испытательному циклу. Целью данных испытаний является проверка ранее проведенных исследований, апробация ранее разработанных технических решений в условиях эксплуатации.

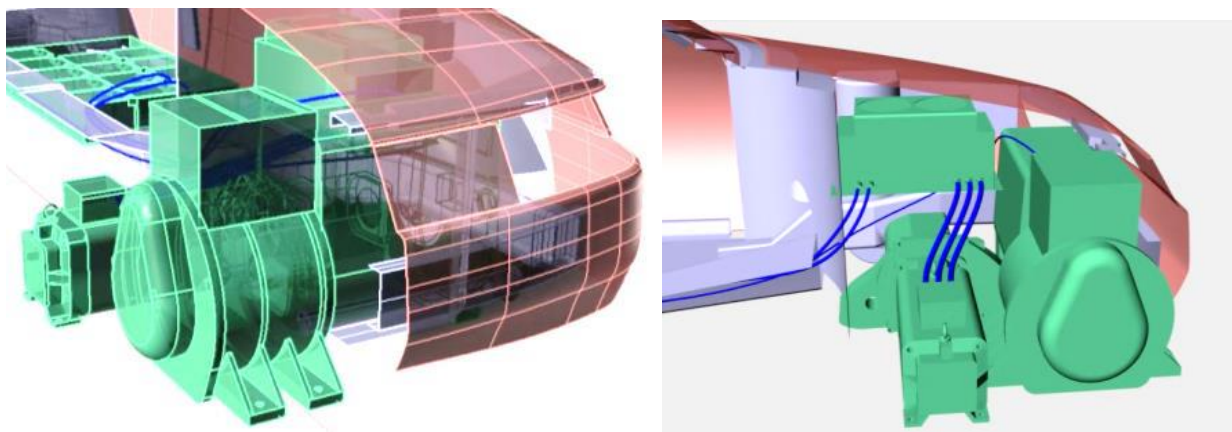


Рисунок 2.25 – 3D-модель компоновки основных агрегатов подкапотного пространства ходового макета автомобиля ВАЗ-1118 с КЭУ

В ходе испытаний получены следующие результаты:

- максимальная скорость и ускорение макета;
- расход топлива в условиях повторно-переменных нагрузок;
- расход топлива в условиях постоянных нагрузок;
- режим работы ДВС, потребление энергии электродвигателем, мощность заряда и разряда накопителя энергии, возврат энергии при рекуперации в различных условиях движения.

Комбинированной энергоустановка смонтирована на кузове легкового автомобиля ВАЗ-1118. По Европейской классификации данный автомобиль относится к классу В. Это малогабаритные недорогие и практичные автомобили, которые имеют низкую стоимость содержания и достаточно не высокий расход топлива. По данным Ассоциации европейского бизнеса в России такие автомобили имеют наибольший спрос, в общем объеме продаж их доля составляет более 60 %. Базовая норма расхода топлива без применения поправочных коэффициентов согласно методическим рекомендациям «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» (Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.08 № АМ-23-р) автомобиля ВАЗ-11183 составляет 8,4 л/100 км [163].

При принятии решения об использовании данного автомобиля в качестве ходового макета учитывались его высокая востребованность в автотранспортном парке страны и низкая стоимость. В то же время ввиду компактных размеров «автомобиль-донор» вызывает затруднения с компоновкой основных узлов комбинированной энергетической установки (рисунок 2.25).

Исходя из предварительных исследований, проведенных ранее [106], для передвижения в городских условиях эксплуатации легковому автомобилю требуется в среднем от 6 до 12 кВт мощности с пиками потребления до 40 кВт. При анализе стандартного Европейского ездового цикла испытаний автомобилей на токсичность также можно получить советующие характеристики.

Схема расположения компонентов разработанной энергетической установки последовательная. В ней вся энергия от первоисточника – двигателя внутреннего сгорания – передается на ведущие колеса всегда через электрическую передачу. Это позволяет отказаться от необходимости постоянного регулирования передаточного отношения трансмиссии, т.к. двигатель нагружен электрогенератором и всегда работает в оптимальном нагрузочном режиме, в то время как тяговый электродвигатель имеет широкий диапазон

работы в скоростной характеристике. Также последовательная схема позволяет двигаться только на электричестве с выключенным ДВС.

Недостатком такой схемы являются большие потери на преобразование энергии в генераторной установке и электроприводе, которые выше чем в механической трансмиссии на постоянной скорости. Для снижения этих потерь при переходе в режим постоянной нагрузки (загородный режим) коленчатый вал ДВС механически соединяют с ведущей осью с помощью специального сцепления. В городских условиях движения таких режимов почти не встречается, поэтому в условиях частых повторно-переменных нагрузок используемая на макете последовательная схема может быть эффективной.

Описание конструкции, характеристики основных компонентов привода:

1. Электродвигатель (рисунок 2.26). Наиболее распространенными в качестве тяговых машин для электротранспорта в настоящее время являются трехфазные асинхронные электродвигатели или трехфазные синхронные электродвигатели с возбуждением от ротора с постоянным магнитом.



Рисунок 2.26 – Электродвигатель АС 42

В ходовом макете в качестве тяговой электрической машины использован трехфазный асинхронный электродвигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором с обратной связью по частоте вращения. Характеристики электродвигателя АС 42 представлены в таблице Б.7 Приложения Б.

КПД таких типов электрических машин достигает 93 %, что выше других электрических машин. АС42 предназначен для электрического транспортного средства массой до 2,0 тонн, его характеристика показана на рисунке 2.27.

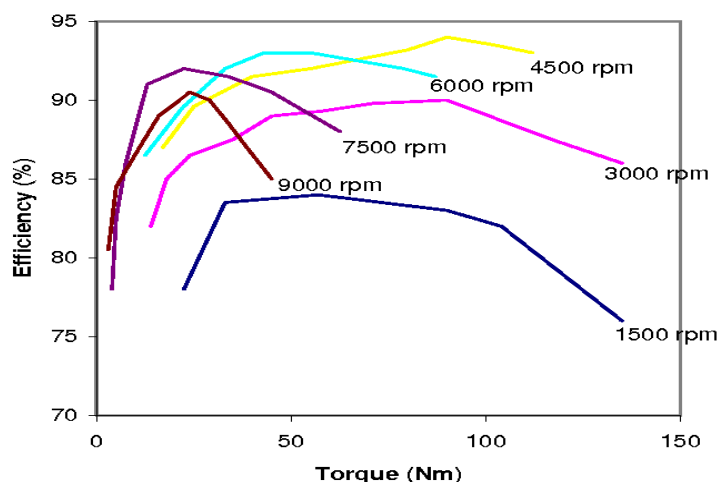


Рисунок 2.27 – Зависимость КПД электродвигателя АС 42 под управлением преобразователя UМОС 440 при 312 В в зависимости от нагрузки и скорости вращения вала

Для более точного управления моментом электродвигатель снабжен датчиком скорости оптического типа, охлаждение электродвигателя осуществляется от дополнительного вентилятора. На рисунке 2.27 показана зависимость изменения КПД электродвигателя в зависимости от развиваемого крутящего момента и скорости вращения вала ротора.

2. Инвертор управления электродвигателем используется для управления электродвигателями переменного тока (рисунок 2.28). Для этого постоянное напряжение на входе преобразуется в 3-фазное переменное напряжение на выходе. Частота



Рисунок 2.28 – Инвертор UМОС 440

вращения вала электродвигателя регулируется частотой вращения магнитного поля. С помощью изменения скважности подаваемого напряжения изменяется момент электродвигателя. Применяемый инвертор – UМОС 440 аме-

риканской компании Azure Dynamics – специально предназначен для автомобилей с электроприводом автомобиля массой до 3-х тонн.

Характеристики инвертора UМОС 440 представлены в таблице Б.7 Приложения Б.

3. Генераторная установка. В качестве основного источника энергии для автомобиля использована дизель-электрическая генераторная установка, состоящая из ДВС и электрической машины (рисунок 2.29). Передача крутящего момента обеспечивается с вала двигателя на вал электрогенератора.



Рисунок 2.29 – Генераторная установка

Генераторная установка располагается в моторном отсеке автомобиля над электродвигателем и крепится к подрамнику силового агрегата с помощью демпфирующих опор.

Номинальная частота вращения коленчатого вала и ротора – 3000 об/мин. Для перехода на постоянное напряжение 312 В в конструкцию генераторной установки внесены изменения. Схема соединения обмоток генератора изменена со звезды на треугольник, в результате получено трехфазное напряжение 220 В. Далее это напряжение выпрямляется трехфазным диодным мостом.

Для перехода на кратковременный холостой ход в конструкцию центробежного регулятора установлена дополнительная пружина с тросовым приводом. Запуск генераторной установки осуществляется с помощью электростартера, отключение – с помощью электромагнитного клапана отсечки подачи топлива.

Дизельный двигатель генераторной установки имеет номинальную выходную мощность 6,6 кВт при 3000 об/мин. Выходная электрическая мощность составляет 5 кВт, что позволяет разгонять экспериментальный автомобиль до 50 км/ч. Характеристики генераторной установки представлены в таблице Б.7 Приложения Б.

4. Конденсаторный накопитель энергии – вспомогательный источник энергии. Служит для сглаживания пиков нагрузки при движении автомобиля. Накопитель произведен Российской фирмой «Элитех» – характеристики представлены в таблице Б.7 Приложения Б. Отличается высоким напряжением, сравнительно небольшой стоимостью. Схемы соединения 2×3.

Вместо стандартного 4-цилиндрового двигателя ВАЗ-1118 на автомобиле смонтирована комбинированная энергетическая установка. Коробка переменных передач ВАЗ-1118 объединена с электродвигателем АС 42 и используется только в качестве редуктора (рисунок 2.30). Соединение электродвигателя с КПП обеспечивается эластичной резиновой муфтой. Отключаемое сцепление отсутствует.

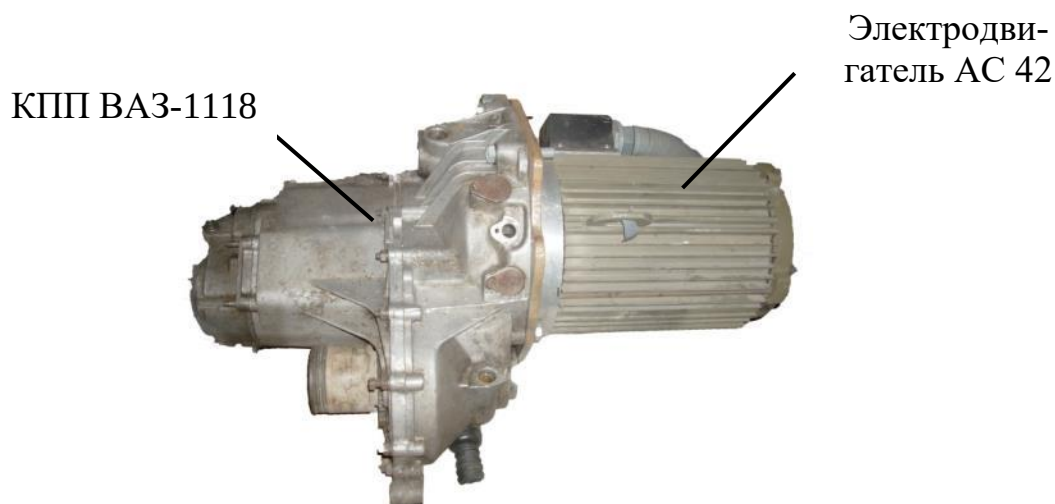


Рисунок 2.30 – Электродвигатель АС 42 в сборе с КПП ВАЗ-1118

Разработанная КЭУ была установлена на кузов автомобиля ВАЗ-1118 (рисунки 2.31, 2.32).



Рисунок 2.31 – Экспериментальная КЭУ для автомобиля



Рисунок 2.32 – Экспериментальные автомобили с КЭУ (слева на базе Lada 1118 Kalina, справа на базе Toyota Prius ZVW30)

При городском режиме эксплуатации (график изменения мощности при движении представлена на рисунке 2.33) средняя потребляемая мощность ав-

томобиля составляет 5 кВт. Постоянную мощность обеспечивает генераторная установка, пиковую мощность – накопитель энергии.

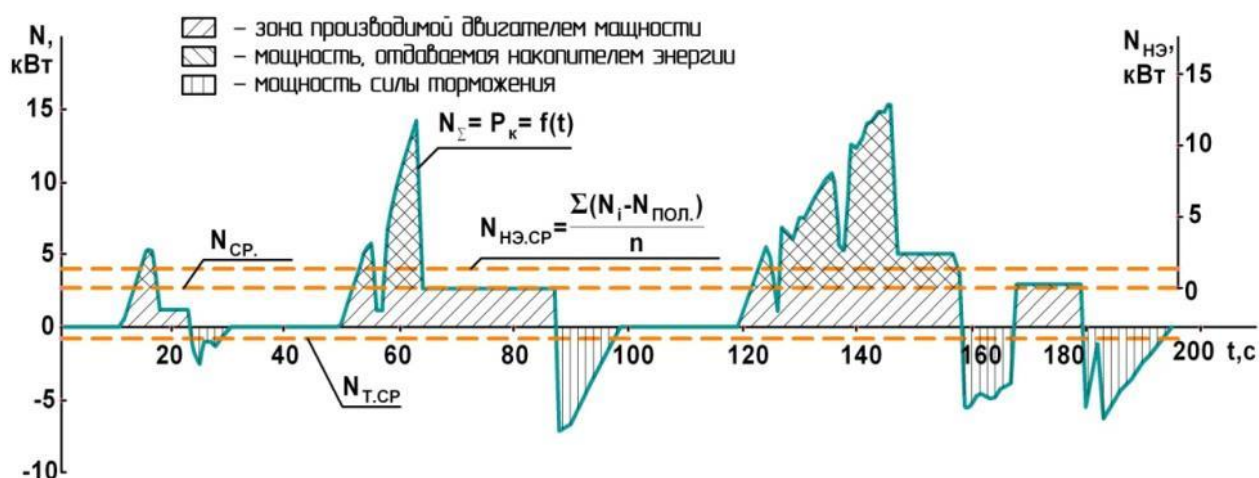


Рисунок 2.33 – График изменения мощности силы тяги на ведущих колесах при движении автомобиля по стандартному ездовому циклу

Результаты испытаний показывают, что при работе двигателя в стационарном режиме (рисунок 3.34) и накоплении энергии в буферном источнике для передвижения в городском цикле достаточно иметь мощность первоисточника энергии ДВС 5 кВт.

В ходе испытаний ходового макета определялся расход топлива, скоростные и динамические свойства. Определение расхода топлива осуществлялось с помощью электронного расходомера EUROSENS PN100 объемного типа, зарегистрированного как средство измерения (Приложение Е), и телеметрической системы мониторинга транспортных средств Omnicomm с терминалом передачи телеметрических данных о транспортном средстве Galileosky 7.0.

Результаты испытаний экспериментального автомобиля с КЭУ представлены в Протоколе № 1 (Приложение Б).

При проведении испытаний использовалось стандартное дизельное топливо и бензин Аи-95. Паспорт соответствия используемого топлива государственным стандартам указан в приложении Е).

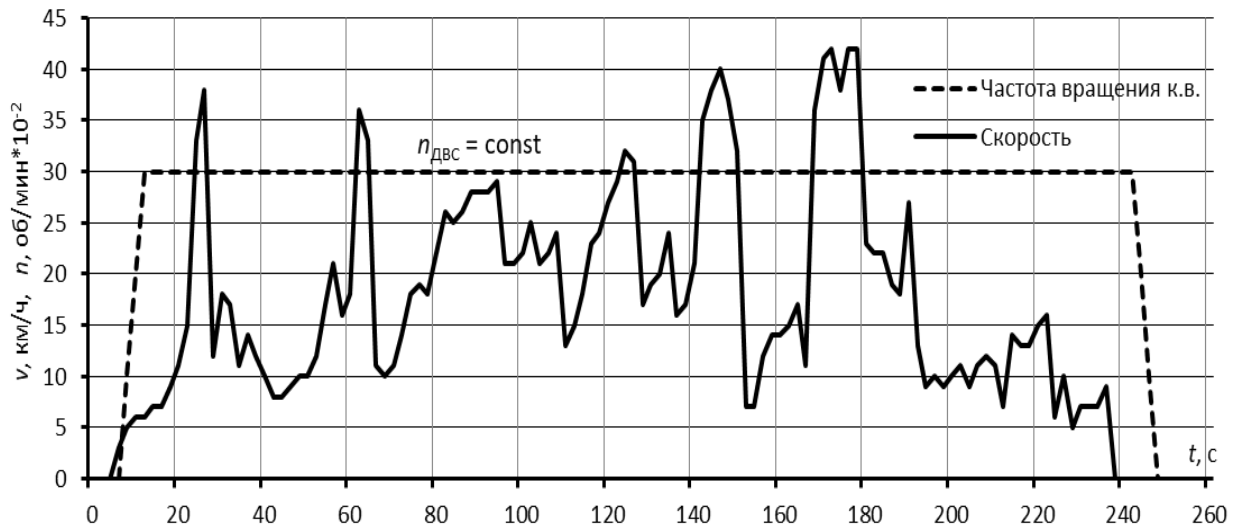


Рисунок 2.34 – Изменения скорости движения и частота вращения коленчатого вала ДВС КЭУ ходового макета ЛАДА-1118 при испытании

По результатам проведенных испытаний можно отметить следующее:

- средний расход топлива в процессе испытаний составил 5,5 л/100 км, что с учетом достаточно простого дизельного двигателя и последовательной схемы передачи энергии на ведущие колеса с двойным преобразованием энергии является хорошим результатом;
- энергетические свойства ДВС, мощность 10 л.с. позволяют двигаться со скоростью 42 км/ч;
- динамические свойства автомобиля ВАЗ-1118 с КЭУ, не смотря на малую мощность ДВС, не ухудшились и позволяют ускоряться без использования переключений передач в городском режиме движения;
- движение с выключенным ДВС возможно до 500 метров.

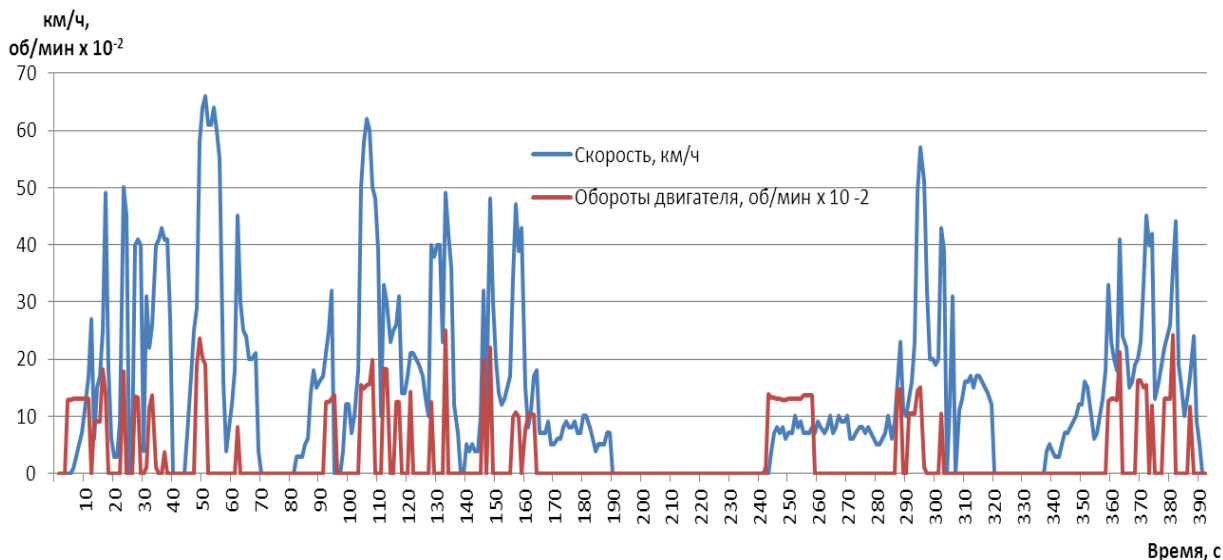


Рисунок 2.35 – Характеристика изменения скорости автомобиля и частоты вращения коленчатого вала ДВС КЭУ смешанного типа при испытании

Стабилизация нагрузочного режима позволяет двигателю ходового макета ЛАДА-1118 КЭУ работать в стабильном нагрузочном режиме (рисунок 2.34). Большую роль в движении при этом играет источник энергии.

В КЭУ автомобиля Toyota Prius частота вращения коленчатого вала в зависимости от нагрузок меняется, т.к. двигатель участвует в совершении работы более активно (рисунок 2.35).

2.9 Теоретические методы оценки влияния характеристик рекуперативного торможения на топливную экономичность автомобиля

2.9.1 Взаимосвязь между тормозными свойствами, характеристиками электрического привода и свойствами рекуперации

Постоянное повышение эксплуатационных требований к автомобилям приводит к развитию энергоустановок. Так, за последние 25 лет средний расход топлива автомобилей снизился с 14 до 12 л/100 км. За этот же период времени автомобилях всех категорий стали применяться автоматические

трансмиссии. Дальнейшее развитие эксплуатационных свойств за счет усложнения конструкции энергоустановок приводит к снижению надежности и резкому повышению стоимости автомобиля. Автомобили с КЭУ дают возможность принципиального улучшения эксплуатационных свойств энергоустановки и самого автомобиля.

Для всех типов автомобилей перспективным направлением улучшения экологической безопасности и экономичности является активное использование рекуперативного торможения в условиях частых разгонов и торможений.

Рекуперативное торможение наиболее значительно влияет на топливную экономичность автомобилей в городском режиме эксплуатации. При оценке его влияния в теоретических расчетах зачастую устанавливаются номинальные значения, указанные для электрических приводов или электротранспорта. Вместе с тем существующий автопарк гибридных автомобилей имеет и различные по типу и эффективности схемы КЭУ, прогнозировать эффективность рекуперативного торможения которых затруднительно. В связи с этим в работе установлен ряд теоретических зависимостей, связывающих эксплуатационные факторы, характеристики энергоустановки гибридных автомобилей и их топливную экономичность.

К эксплуатационным факторам относится: начальная скорость движения; количество циклов разгонов-торможений на пройденный путь; замедление при торможении. [39, 40, 207, 214, 215, 220, 241].

Исследования влияния этих факторов на рекуперацию должно расширить понимание вклада рекуперативного торможения в эффективность гибридных автомобилей. Ранее созданная в рамках продолжения исследований в направлении эксплуатации гибридных автомобилей лабораторная база позволила оценить рекуперацию на стенде [93, 121]. Вопросы практического применения, эффективности и практической реализации рекуперации в авто-

мобилях ранее рассматривались авторами в статьях [10, 12, 75, 132, 198, 214, 229, 263] и докладах конференций [1, 28, 132].

В настоящем диссертационном исследовании рассматриваются вопросы эффективности рекуперативного торможения и влияния его на топливную экономичность и экологическую безопасность автомобилей [227, 246, 250].

Из проведенных исследований и имеющегося задела известно, что эффективность использования рекуперации зависит от внешних факторов (число циклов разгонов и торможений, интенсивность торможений, температура окружающей среды) и внутренних факторов, связанных с энергоустановкой (состояние и степень заряда бортового накопителя энергии, его емкость, мощность системы тягового электропривода).

Также выдвинуто предположение, что рекуперация значительно сокращает выбросы мелкодисперсной пыли от износа накладок тормозных колодок.

Условия движения автомобиля. К условиям движения относятся: скорость движения; количество циклов разгонов-торможений на пройденный путь; скорость замедления при торможении.

Влияние скорости движения автомобиля.

Наблюдения показывают, что возврат энергии торможения возможен при любой скорости движения автомобиля более 5 км/ч, при меньшей скорости работает механическая тормозная система. Согласно испытательному циклу ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) при движении по низкоскоростному участку, $v_{CP} = 19$ км/ч, а начальная скорость торможения 56 км/ч, по низкоскоростному $v_{CP} = 39$ км/ч, а начальная скорость торможения 76,5 км/ч. Эти участки наиболее характерны для движения в условиях городской улично-дорожной сети, где влияние рекуперации наиболее значимо.

Конструктивными факторами, ограничивающим возврат кинетической энергии торможения, является масса автомобиля, мощность системы электропривода и емкость бортового источника энергии.

Для установления связи между конструктивными и эксплуатационными свойствами использованы известные зависимости тягового-мощностного расчета автомобиля. Известно, что при торможении мощность силы инерции автомобиля уравнивается мощностью сил сопротивления качения, воздушного потока. В определенных границах начальной скорости торможения доля мощности силы сопротивления воздушного потока не превышает 10%, поэтому ей можно пренебречь.

Суммирование и упрощение указанных сил позволяет получить максимальную мощность энергии рекуперативного торможения

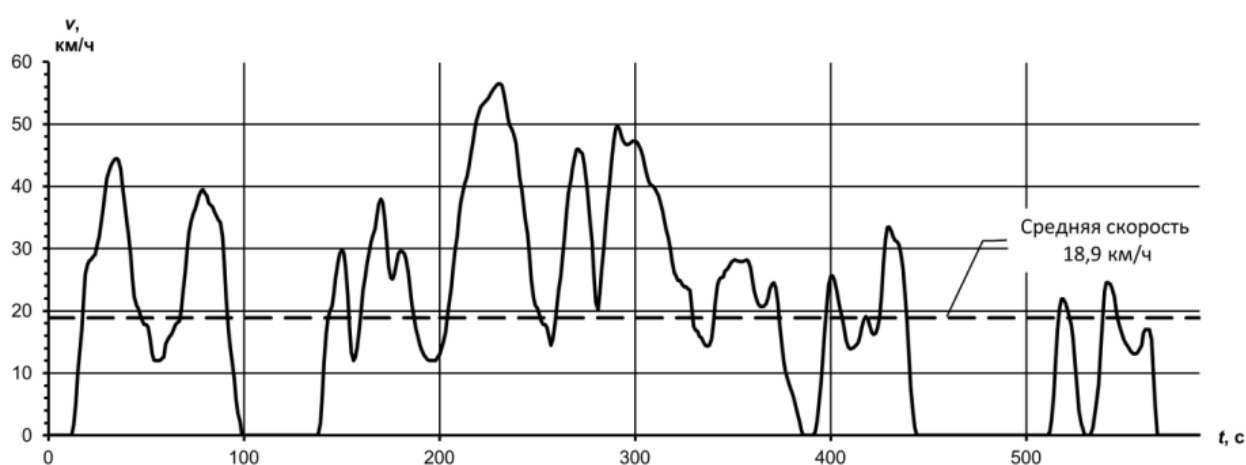


Рисунок 2.36 – Характеристика испытательного цикла движения ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) для испытания легковых автомобилей на токсичность (низкоскоростной участок)

Влияние количества циклов разгонов торможений на пройденный путь.

В низкоскоростной части стандартного ездового цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) для автомобилей категории M_1 и N_1 на 1 км пути приходится 3 торможения (рисунок 2.36). В испытательных циклах более тяжелых автомобилей M_2 и M_3 , на 1 км приходится уже до 7 торможений.

Влияние замедления при торможении на рекуперацию.

Замедление при торможении влияет на мощность системы рекуперации энергии, которая ограничена конструктивными возможностями системы электропривода. В стандартном испытательном ездовом цикле ВЦИМГ за-

медление составляет 0,4–0,8 м/с². В условиях эксплуатации рабочее торможение может происходить с замедлением до 2,0 м/с². Большая величина является не комфортной для пассажиров.

Таким образом, границы области, где в большей степени должно быть реализовано рекуперативное торможение для гибридных автомобилей должны иметь интервал скорости от 5 до 76 км/ч и замедление до 2 м/с².

Основным параметром электродинамического торможения принята мощность рекуперации (N_{PT}). Ее понимание позволит учесть возможный возврат энергии при торможении при расчетах. Для определения влияющих на мощность рекуперативного торможения факторов использованы принципы тягово-мощностного расчета.

При торможении на автомобиль действует силы сопротивления: качения (F_K), воздушного потока (F_B) и инерции (F_{II}). Сила сопротивления от уклона в исследовании не учитывается.

Известно, что при торможении мощность силы инерции автомобиля (N_{II}) уравнивается мощностью сил сопротивления качения (N_K) и воздушного потока (2.18).

$$N_{PTi} = N_{II} - N_{Bi} + N_{Ki}, \quad (2.18)$$

развернуто она будет находится по следующей формуле:

$$N_{PT} = \max_{5 < V_i} \left(\frac{V_i m a_i k_M}{3600} - \left(\frac{F k_B (V_i / 3,6)^3}{1000} + \frac{m g f_K V_i}{3600} \right) \right), \text{ кВт}, \quad (2.19)$$

где a_i – замедление при торможении; V_i – скорость автомобиля (км/ч), m – масса автомобиля (кг); F – площадь поперечного сечения (м²); k_B – коэффициент обтекаемости; g – ускорение свободного падения; k_M – коэффициент учета вращающихся масс; f_K – коэффициент сопротивления качения колес.

Формула 2.19 показывает определить влияние условий движения на N_{PT} . В определенных границах начальной скорости торможения доля мощности силы сопротивления воздушного потока не превышает 10%, поэтому ей можно пренебречь. На графике (рисунок 2.37) показано относительное влияние сопротивления воздушного потока на суммарную мощность сил сопротивления при движении.

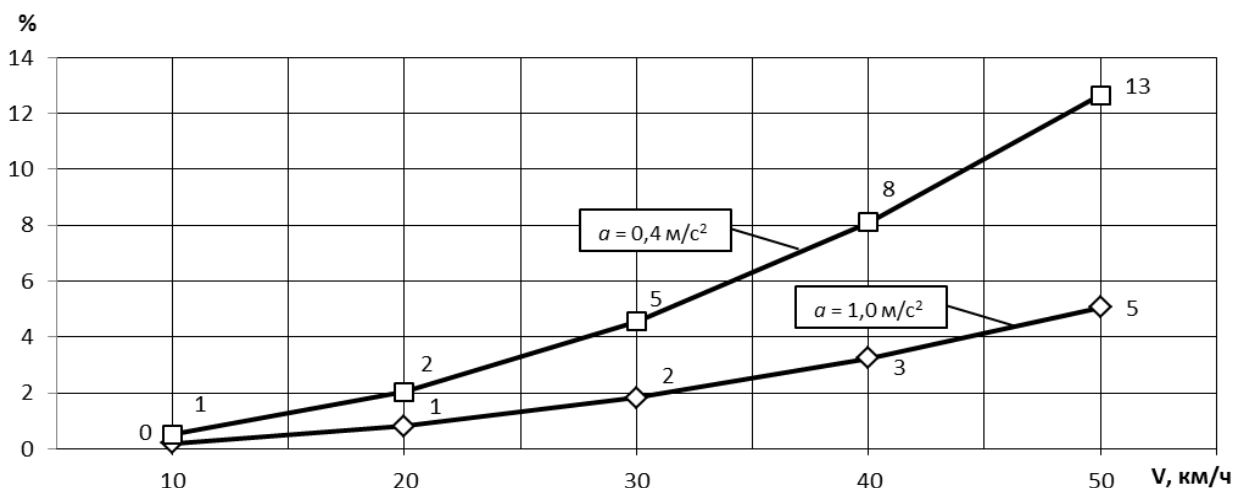


Рисунок 2.37 – Влияние мощности силы сопротивления воздуха на суммарную силу сопротивления при торможении автомобиля

Суммирование и упрощение указанной силы позволяет получить N_{PT} , тогда зависимость 2.19 примет вид

$$N_{PT} = \max_{5 < V_i < 76} \left(\frac{v_i m (a_i k_M - g f_K)}{3600} \right), \text{ кВт.} \quad (2.20)$$

Эта зависимость позволяет проводить аналитические исследования при оценке возможности рекуперации и вводить ограничения при расчете расхода топлива гибридных автомобилей.

Проведены теоретические расчеты для автомобиля категории М1 массой 1350 кг. По результатам расчета построен график мощности в бортовом накопителе энергии. В таблице 2.9 и на графике (рисунок 2.38) представлены результаты расчет.

Таблица 2.9 – Максимальная мощность энергии торможения в зависимости от начальной скорости и ускорения замедления, кВт

Замедление, м/с ²		Мощность торможения при заданном замедлении, кВт									
		0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
Начальная скорость торможения, км/ч	20	0,2	1,6	3,0	4,2	5,3	6,3	7,2	7,9	8,6	9,1
	40	0,2	3,1	6,0	8,8	11,5	14,1	16,5	18,9	21,1	23,2
	60	0,2	3,8	8,4	12,8	17,0	21,2	25,3	29,2	33,0	36,7
	80	0,2	3,9	9,7	15,7	21,6	27,4	33,0	38,6	44,0	49,3

Выделенная область на графике показывает, что для автомобиля массой 1350 кг при движении по испытательному циклу ВЦИМГ (замедление до 0,8 м/с²) для полной реализации возврата энергии при торможении мощность системы электропривода должна составлять более 13 кВт. При ускорении замедления 2 м/с² мощность электропривода должна составлять 19 кВт (рисунок 2.38).

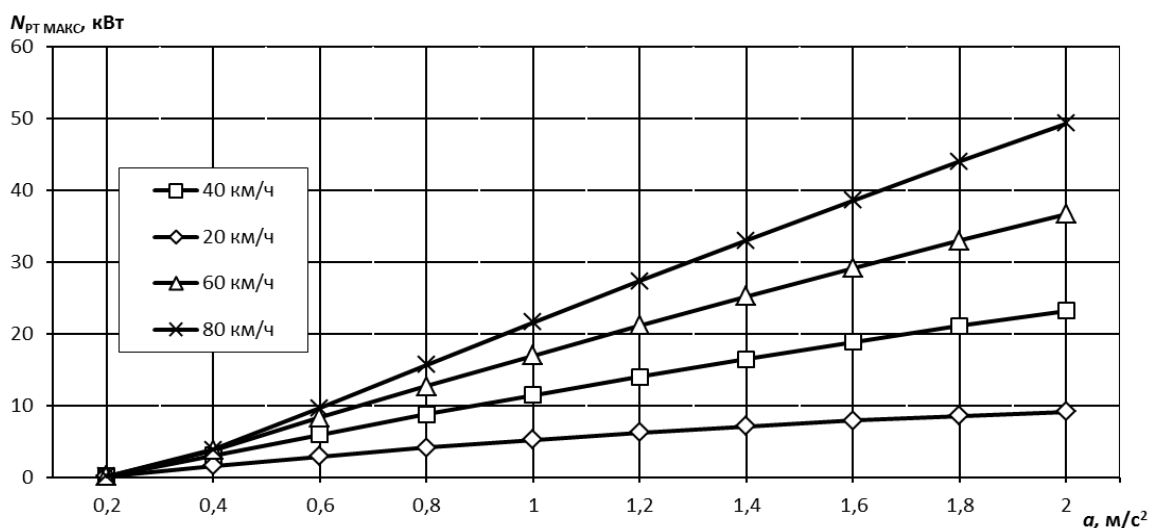


Рисунок 2.38 – График изменения максимальной мощности силы торможения в зависимости от начальной скорости и ускорения замедления автомобиля массой 1350 кг

График на рисунке 2.38, построенный также с использованием зависимости 2 показывает влияние начальной скорости торможения на мощность рекуперативного торможения [130].

Выделенная область на графике показывает, что для автомобиля категории М1 при движении по испытательному циклу ВЦИМГ (замедление до $0,8 \text{ м/с}^2$) для полной реализации возврата энергии при торможении мощность системы электропривода должна составлять более 13 кВт. При ускорении замедления 2 м/с^2 мощность электропривода должна составлять 19 кВт.

Находящиеся в эксплуатации в России гибридные не подзаряжаемые автомобили имеют мощность тягового электропривода в режиме заряда до 15 кВт, что обеспечивает возврат энергии почти во всем диапазоне рабочих торможений. 48-Вольтовая система тягового электропривода в гибридных автомобилях с КЭУ параллельного типа не обеспечивает возврат энергии в необходимом диапазоне начальной скорости и ускорения торможения.

Влияние энергии движения автомобиля на рекуперацию при торможении.

Энергия движения автомобиля также влияет на характеристики рекуперативного торможения.

Из известной зависимости мощности силы сопротивления инерции энергию торможения можно представить уравнением:

$$W_{Ki} = V_i \times m \times a_i \times k_M \times t_i. \quad (2.21)$$

Из этой зависимости следует, что масса и скорость движения автомобиля линейно влияют на мощность рекуперативного торможения и при расчетах могут учитываться пропорционально коэффициентами.

При константе скорости удельная величина мощности рекуперативного торможения исходя из соотношения $N_{\text{РТ}} / m$ и полученных в таблице 2.9 результатов составит $N_{\text{РТ}}^{\text{уд}} = 9,7 \text{ кВт/т}$.

Влияние характеристик тягового электропривода КЭУ на рекуперативное торможение.

Т.к. составные части электропривода КЭУ имеют ограничения по пропускаемой силе тока и напряжению мощность рекуперативного торможения будет ограничена, что также повлияет на эффективность рекуперативного торможения и требует введения ограничений при проведении расчетов.

Также, если исходить из обратного, и зафиксировать N_{PT} на постоянном уровне, можно рассчитать время и замедление в режиме рекуперативного торможения.

На рисунке 2.39 приведены характеристики торможения для автомобиля массой 1350 кг при фиксированной начальной скорости 50 км/ч и трех ограничениях N_{PT} : 5, 10 и 15 кВт. Построение данного графика позволяет оценить интенсивность ускорения при торможении. Для рассматриваемого автомобиля мощность при движении по циклу ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) с замедлением при торможении 0,8 м/с² N_{PT} составит 8 кВт.

Здесь следует отметить, что находящиеся в эксплуатации в России гибридные не подзаряжаемые автомобили имеют мощность тягового электропривода в режиме заряда до 15 кВт, что обеспечивает возврат энергии почти во всем диапазоне рабочих торможений. 48-Вольтовая система тягового электропривода в гибридных автомобилях с КЭУ параллельного типа не обеспечивает возврат энергии в необходимом диапазоне начальной скорости и ускорения торможения.

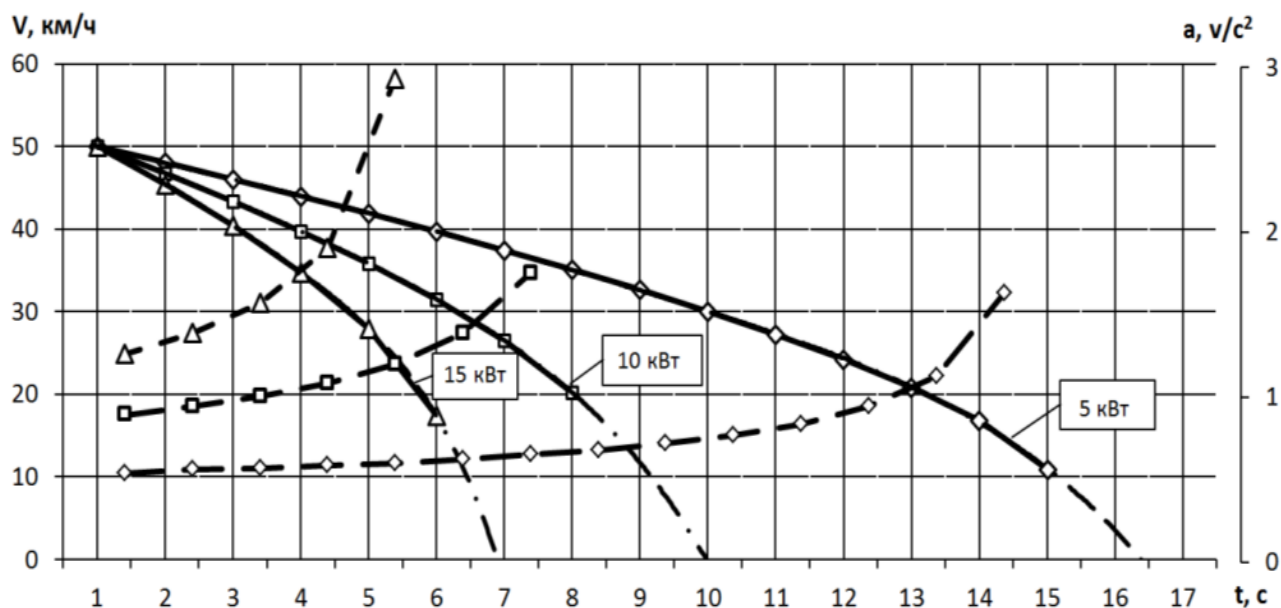


Рисунок 2.39 – График замедления и автомобиля массой 1340 кг с постоянной мощностью рекуперативного торможения (сплошная линия – изменение скорости, штриховая – замедление, штрих-пунктирная линия – замедление с более низкой мощностью рекуперации)

Установленные зависимости и результаты исследований позволяют оценивать характеристики рекуперативного торможений и учитывать их при прогнозировании расход топлива автомобиля.

Ввиду практически линейного влияния массы автомобиля зависимости (2.19) и (2.20) можно использовать для автомобилей категории M_2, M_3, N_2 и N_3 .

2.9.2 Взаимосвязь между рекуперативным торможением, экономичностью и экологической безопасностью автомобиля

К наиболее важным эксплуатационным свойствам современных автомобилей относят топливную экономичность и связанную с ней же экологическую безопасность. Наиболее существенны эти свойства для движения по улично-дорожной сети, характеризующейся частыми разгонами и торможе-

ниями. В таких условиях большая часть энергии движения автомобилей расходуется на преодоление сил ускорения и торможения. Используемое фрикционное торможение забирает энергию торможения безвозвратно, преобразуя ее в продукты износа, вызванные трением, и тепловую энергию. Вместе с тем в троллейбусах, трамваях, вагонах метро, гибридных и электрических автомобилях реализована активная электродинамическая рекуперация.

Интересной особенностью рекуперации энергии торможения является возможность ее применения на любом автомобиле, имеющем электромеханическую трансмиссию. При этом нет необходимости в использовании громоздкого и дорогостоящего накопителя электрической энергии. Применение автомобилей с ДВС и возможностью рекуперации энергии практически не имеет никаких вторичных негативных последствий, в то время как применение электромобилей зачастую приводит к увеличению выбросов ПГ [107, 237, 238]. Условно можно сказать, что в конструкции энергоустановки автомобилей с бензиновым двигателем уже имеются генератор и аккумуляторная батарея, что позволяет осуществлять небольшую рекуперацию. Конечно, для эффективной реализации возврата энергии эти элементы должны иметь другие характеристики, но важно то, что они уже используются и могут быть доработаны, а не установлены дополнительно. Однако не смотря на имеющиеся технические возможности и меры, применяемые для улучшения экологической обстановки в крупных городах, рекуперация энергии как инструмент снижения выбросов на автомобилях практически не используется.

В настоящей работе проведены исследования по разработке методик оценки эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками [77, 240], большая часть которых связана с испытанием автомобиля в условиях частых разгонов и торможений, что позволяет изучать широкий круг связанных с этим вопросов, в т.ч. и рекуперацию. Одним из направлений данных исследований является установление экспериментальных и математических зависимостей процесса рекуперации с топливной экономичностью и экологической безопасностью автомобиля.

В ряде работ уже приводились результаты исследований рекуперации энергии торможения в лабораторных условиях [93, 123, 249]. Отдельными авторами проводится работа по разработке гидравлической системы рекуперации [75]. Другими учеными – И.К. Александровым [1, 10, 12], С.Н. Zhang [264], Е. Pipitone [241, 242], В. Liu [218], А.В. Kulekina [233], И.М. Рябовым [132], В.Я. Двадненко [28], S. Kliauzovich [231], К. Li [219], М. Khodaparastan [229], S.A. Oleksowicz [237] – представлены аналитические описания системы рекуперации, ее конструктивные особенности, разработанные математические модели и ряд конструктивных и организационных решений по улучшению ее эффективности.

Предлагается проводить оценку эффективности рекуперации, а также ее влияние на экономичность и экологическую безопасность автомобилей на основе энергетического анализа и тягово-мощностного расчета двигателя, которые были представлены в предыдущих исследованиях [246, 251].

Как уже отмечалось ранее, в основе настоящего исследования лежит теоретическая симуляция движения автомобиля по заданному циклу, в котором задано время (t) и изменение скорости при движении $v(t)$. Тягово-мощностной и энергетический баланс позволяют получить изменение силы тяги на ведущих колесах при движении $N_T(t)$, изменение мощности ДВС $N_{\text{ДВС}}(t)$.

На основании исходных данных можно определить изменение мощности в цепи накопителя электрической энергии $N_{\text{VB}}(t)$, которое в общем виде будет вычисляться по формуле:

$$N_{\text{НЭ}} = \left(\frac{dN_{\text{НЭ}}}{dt} - N_T \right) \cdot \eta_{\text{П}}. \quad (2.22)$$

Это же значение в каждый конкретный момент времени (i) будет равно:

$$N_{\text{НЭ}}(t) = (N_{\text{НЭ}i-1} + N_{\text{ДВС}i} - N_{\text{T}i}) \cdot \eta_{\text{П}}, \quad (2.23)$$

где $\eta_{\text{П}}$ – коэффициент полезного действия привода.

При этом необходимо отметить, что значение N_{VB} может быть как положительным, так и отрицательным. При положительном значении накопитель электрической энергии будет заряжаться, при отрицательном – разряжаться.

На автомобилях с традиционной энергоустановкой в составе ДВС движение осуществляется только за счет его полезной работы. Однако на автомобилях с комбинированной и электрической энергоустановкой запас энергии в накопителе $W_{НЭ}$ позволяет начинать движение с выключенным двигателем. После окончания энергии в накопителе или запросе водителя на высокий крутящий момент двигатель внутреннего сгорания включается в работу. Это можно выразить следующими зависимостями:

$$\left. \begin{array}{l} N_{\text{ДВС МАКС}} > N_{\text{ДВС}i} - N_{\text{НЭ}i} \\ \text{если } N_{Ti} > 0 \\ \text{если } W_{\text{НЭ}} > 0 \\ \text{если } N_T < N_{\text{НЭ МАКС}} \end{array} \right\} \quad (2.24)$$

Режим работы ДВС без рекуперации ($N_{\text{ДВС}}$) и с рекуперацией ($N_{\text{ДВС Р}}$) позволяет судить о снижении расхода органического топлива и выбросов загрязняющих веществ от автомобиля. Однако умножение $N_{\text{ДВС}}$ на удельный расход топлива напрямую для дальнейшего расчета будет ошибочным, т.к. эффективность работы двигателя, как известно, не одинакова на разных режимах работы. Для учета неодинакового удельного расхода топлива использован поправочный коэффициент rvk_1 , приведенные в ГОСТ Р 56162-2014. Значения коэффициента rvk_1 в диапазоне от 5 до 120 км/ч приведены в Российском национальном стандарте «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу» (ГОСТ Р 56162-2014). Недостающие значения от 1 до 5 км/ч дополнены на основе собственных исследований авторов [248, 249]. Таким обра-

зом, значения поправочного коэффициента rvk_1 в среднескоростном диапазоне движения от 0 до 40 км/ч приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Значения поправочного коэффициента для выбросов загрязняющих веществ в зависимости от средней скорости движения

v, км/ч	<1	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	35	40
rvk_1	7,5	3,75	2,5	1,87	1,5	1,4	1,35	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,75

С учетом поправочного коэффициента rvk_1 расход топлива гибридного автомобиля Q_T в каждый конкретный момент времени i и выбросы загрязняющих веществ M_i в общем виде будут вычисляться по формулам:

$$Q_{Ti} = q_{\text{ДВС}} \times N_{\text{ДВС}i} \times rvk_1, \quad (2.25)$$

$$M_{ji} = Q_{Ti} \times M_j, \quad (2.26)$$

где $q_{\text{ДВС}}$ – удельный расход топлива бензинового двигателя, M_j – масса загрязняющего вещества, j – загрязняющее вещество.

Влияние рекуперации энергии на выбросы загрязняющих веществ автомобиля определялось по формуле:

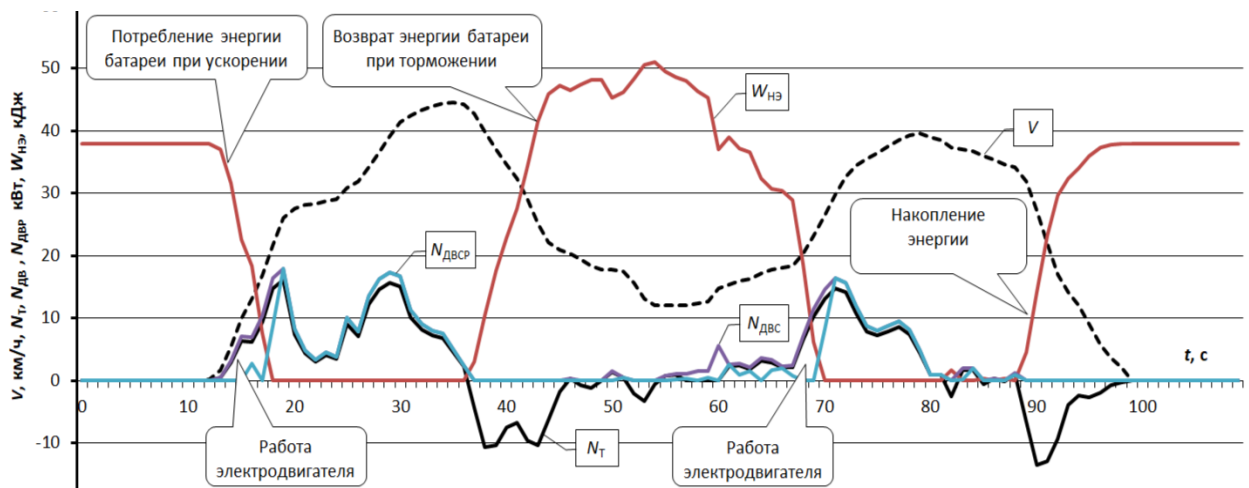
$$\Delta M_j = \frac{M_j^{\text{ДВС}} - M_j^{\text{ДВС Р}}}{M_j^{\text{ДВС}}} \times 100, \quad (2.27)$$

где $M_j^{\text{ДВС}}$ – выбросы j -го вещества без рекуперации, $M_j^{\text{ДВС Р}}$ – выбросы j -го вещества с рекуперации.

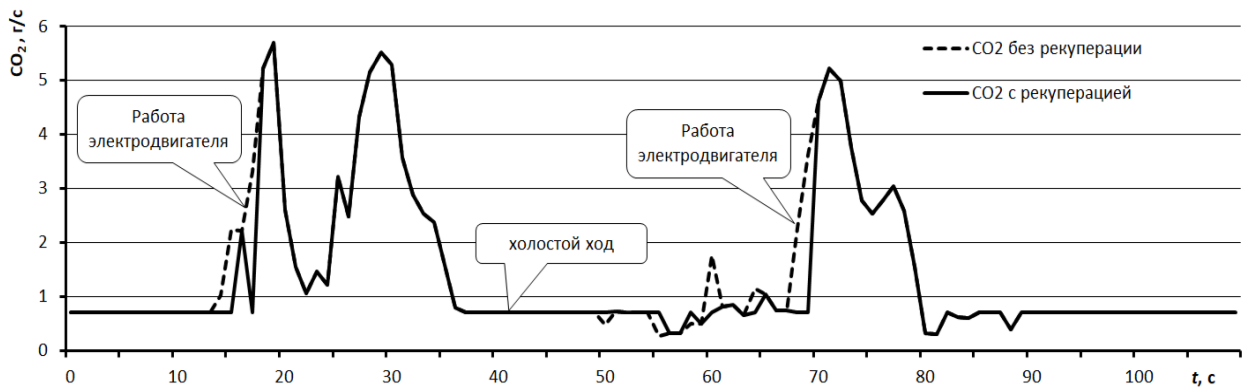
На графике (рисунок 2.40а) показаны результаты мощностного расчета, построенные на основе фрагмента одного из участков ездового цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) для испытаний автомобилей на токсичность отработавших газов. Автомобиль начинает двигаться и разгоняется до скорости 45 км/ч, затем тормозит и еще раз ускоряется до скорости 40 км/ч, затем снова тормозит до полной остановки. Такой режим движения характерен для большей части городских автомобилей. На графике (рисунок 2.40а) наложе-

ны характеристики изменения скорости $v(t)$ и силы тяги на ведущих колесах $N_T(t)$. Также показан остаток энергии в НЭ. Для наглядности теоретического эксперимента авторы подобрали начальную энергию в НЭ таким образом, чтобы в конце цикла она была возвращена до начального уровня, тем самым сохраняется баланс энергии:

$$W_{\text{НЭ нач}} = W_{\text{НЭ кон}} \quad (2.28)$$



а)



б)

Рисунок 2.40 – Синхронные графики изменения параметров автомобиля с рекуперацией и без (начальный участок цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021)): а – график изменения скорости (v), мощности на ведущих колесах (N_T), мощности двигателя с рекуперацией ($N_{\text{ДВР}}$) и без ($N_{\text{ДВ}}$), энергии в бортовом накопителе ($W_{\text{НЭ}}$); б – график, характеризующий выбросы CO_2

Таким образом, эффективность возврата кинетической энергии торможения в накопитель энергии зависит от конструктивных особенностей тягового электрического привода и его системы управления. По отношению кинетической энергии движущегося автомобиля к возвращенной в НЭ эффективность рекуперации составит 40 %. По отношению к начальному остатку энергии в НЭ в начале движения и конечному значению в конце движения это же значение составит 25 %. Необходимо отметить, что на данный момент отсутствует единая методика оценки эффективности рекуперации, но имеются отдельные публикации по ее оценке. В некоторых работах приведены различные экспериментальные данные по оценке эффективности рекуперации [28]. В отдельных публикациях также можно встретить информацию о величине эффективности рекуперации и способах ее улучшения [221].

Результаты тягово-мощностного расчета и зависимости 1–3 также позволяют получить развиваемую мощность бензинового двигателя без рекуперации ($N_{\text{ДВС}}$) и с рекуперацией ($N_{\text{ДВС Р}}$) (рисунок 2.40а). Как можно заметить, благодаря использованию накопленной при рекуперации энергии в первые несколько секунд начала движения ДВС не задействован, а разгон осуществляется за счет электродвигателя. Следовательно, в этот период не расходуется топливо и не выбрасываются загрязняющие вещества.

С использованием представленных зависимостей построен график (рисунок 2.40б), на котором для примера показаны выбросы углекислого газа CO_2 на исследуемом участке.

Согласно полученным результатам расчетов благодаря рекуперации на автомобиле, эксплуатируемом в городских условиях, расход топлива и выбросы загрязняющих веществ могут быть снижены на 6,3 %. При увеличении интенсивности разгонов и торможений это значение будет до некоторого момента расти.

Для подтверждения результатов были дополнительно проведены экспериментальные исследования на автомобиле с комбинированным двигате-

лем смешанной схемы, по результатам которых было установлено, что при циклических разгонах и торможениях 0–40–0 км/ч рекуперация позволяет снизить расход топлива на 6–8 % (ΔQ_1). Но если двигатель отключать в моменты отсутствия нагрузки при тех же условиях, расход топлива снижается уже на $\Delta C_{уд2} = 10\text{--}16\%$ (ΔQ_2). Таким образом, отключение двигателя на холостом ходу позволяет снизить расход еще на столько же.

При эксплуатации одного автомобиля в городе выбросы CO_2 в год составляют:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = \frac{M_{\text{СР}} \cdot L_{\text{СР}}^{\text{ГОД}}}{10^6} = \frac{277,4 \cdot 12000}{10^6} = 3,3 \text{ т}, \quad (2.29)$$

где $M_{\text{СР}}$ – среднее значение удельного выброса CO_2 автомобилем (согласно расчетному методу «НИИАТ» принято 3,12 кг/кг бензина или 277 г/км при среднем расходе топлива 12 л/100км).

Снижение расхода топлива и выбросов CO_2 благодаря рекуперации энергии торможения составит

$$\Delta C_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = \frac{M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} \cdot \Delta Q_1}{100} = \frac{3,3 \cdot 8}{100} = 0,26 \text{ т}. \quad (2.30)$$

С учетом отключения двигателя при торможении и остановке экономия топлива составит

$$\Delta C_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = \frac{M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} \cdot \Delta Q_2}{100} = \frac{3,3 \cdot 16}{100} = 0,53 \text{ т}. \quad (2.31)$$

Таким образом, благодаря рекуперации выбросы от одного автомобиля уменьшатся в среднем на $0,3 \div 0,6$ тонны в год.

В масштабах всего автопарка страны использование рекуперативного торможения на автомобилях категории M_1 может снизить выбросы CO_2 на 4,4–11 млн. т. в год. При этом расход топлива автопарком снизится на 2,6–4,2 млн т, стоимость которого в ценах 2025 года составит 170–260 млрд руб.

В результате проведенной работы разработана методика оценки влияния рекуперации на топливную экономичность и экологическую безопасность автомобилей с учетом используемого цикла движения. Исследование позволяет выявить возможность снижения расхода топлива и выброса CO_2 автомобилями, эксплуатируемыми в условиях улично-дорожной сети. Результаты работы дополняют уже существующие представления об эксплуатационных свойствах автомобилей с электромеханическими и полностью электрическими энергоустановками.

Результаты исследования. Приведенные исследования позволяют оценить характеристики рекуперативного торможения в зависимости от конструктивных характеристики и условий движения автомобиля. Для автомобиля категории М1 мощность системы электропривода при рекуперативном торможении в условиях городского движения должна быть до 15 кВт. При меньшей мощности эффективность возврата энергии снизится. Натурные испытания, проведенные в условиях эксплуатации на нескольких типах автомобилей с КЭУ и лабораторных установках, подтвердили представленные расчеты [128].

2.9.3 Оценка влияния рекуперативного торможения на экологическую безопасность и топливную экономичность в условиях эксплуатации

Рассматривая экологичность автомобилей с электрическим приводом, необходимо проверить существующие оценки по влиянию рекуперации на расход топлива гибридного автомобиля и проанализировать снижение выбросов твердых мелкодисперсных частиц. Наиболее близкие исследования в этой области представлены в МАДИ, ОрГУ и РГАУ. По имеющимся результатам исследований выбросы мелкодисперсных частиц от дороги и тормоз-

ных механизмов могут превышать выбросы от отработавших газов, а значит имеют существенное влияние на окружающую среду.

В работа поставлена задача разработки методики оценки экологических свойств рекуперации и оценки ее влияния на экономичность автомобиля в условиях эксплуатации.

Выбросы твердых дисперсных частиц от автотранспорта ДЧ 10 и ДЧ 2,5 являются одной из причин онкологических заболеваний. При этом существенная доля частиц выбрасывается продуктами износа тормозных механизмов, шин и дорожного покрытия. В городских условиях движения износ тормозных механизмов происходит чаще и плотность потока движения более высокая [22, 74].

Состав мелкодисперсных частиц в воздухе на улично-дорожной сети представлен в исследованиях Трофименко Ю.В. [142] и Януш Д.Н., [153] (рисунок 2.41).

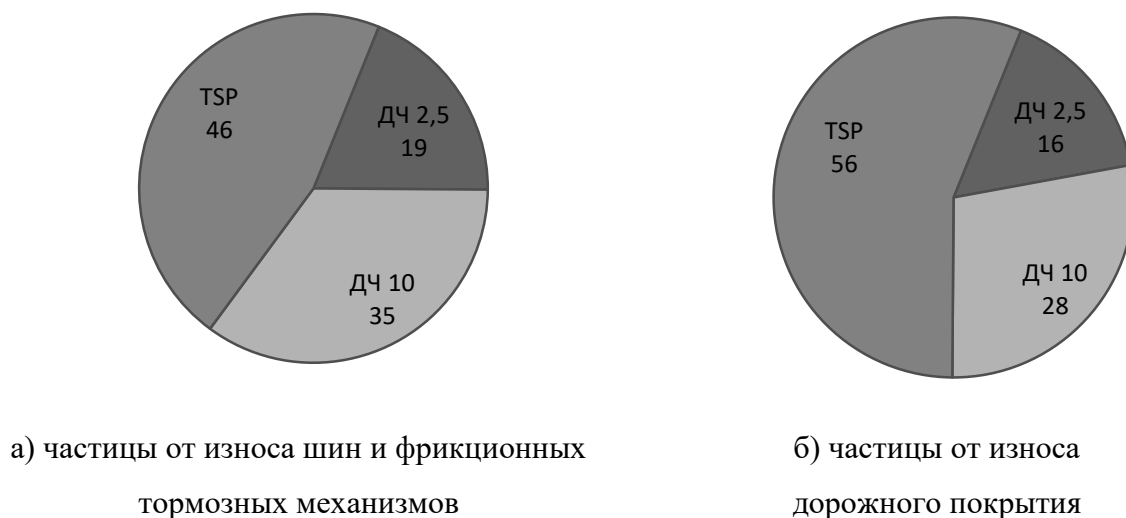


Рисунок 2.41 – Доля отдельных фракций дисперсных частиц (ДЧ) от шин и дорожного покрытия

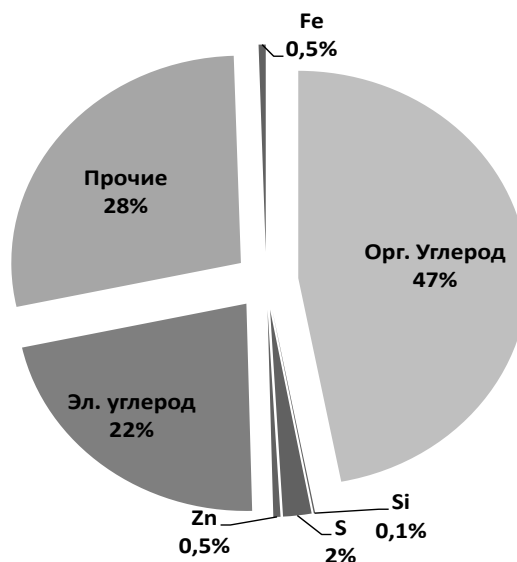


Рисунок 2.42 – Продукты износа шин

Продукты износа шин представляют собой мелкодисперсные частицы ДЧ 10 (35 %), ДЧ 2,5 (19 %) и общая пыль TPS (46 %).

По материальному составу продукты износа шин состоят из 47,15 % органического углерода, 22 % элементарного углерода и 22,75 % прочих компонентов (рисунок 2.42).



Рисунок 2.43 – Продукты износа дорожного покрытия

В продуктах износа дорожного покрытия (рисунок 2.43) содержится в сумме 42 % мелкодисперсных частиц и 58 % остальной пыли. В продуктах

износа присутствует: 17 % кремния; 16,5 % кальция; 5,4 % алюминия; 1 % серы; 1,6 % калия; 4,2 % железа и около 40 % прочих компонентов [36, 153].

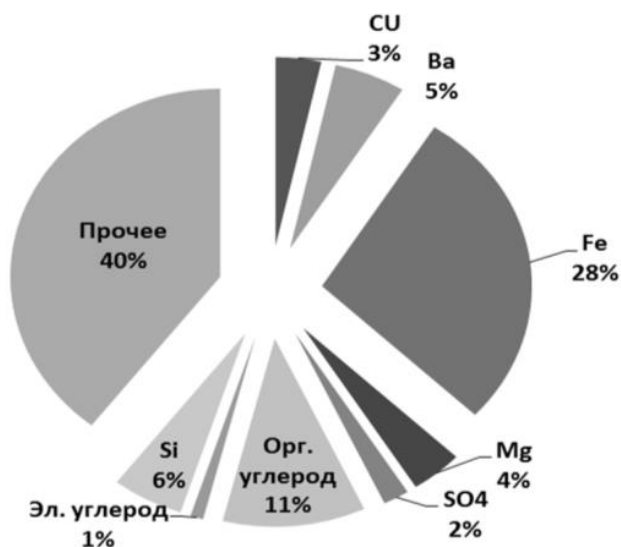


Рисунок 2.44 – Продукты износа тормозных колодок

Продукты износа тормозных механизмов (рисунок 2.44) состоят из 28 % железа; 5,6 % бария; 3,5 % меди; 2 % серы; 4 % магния; 5,2 % кремния; 12 % органического углерода.

В этой связи снижение воздействия автомобилей на окружающую среду возможно за счет уменьшения выбросов от износа тормозных колодок. Этот вопрос рассматривается автопроизводителями и экологами.

Тормозная система автомобилей с КЭУ отличается от тормозной системы обычных автомобилей. Это вызвано особенностями режимов работы энергоустановки. В обычном автомобиле режим движения с выключенным двигателем никогда не допустим, одна из причин этого – отказ усилителя торможения, работающего от разряжения во впускном коллекторе. В автомобиле с КЭУ движение с выключенным бензиновым двигателем возможно, поэтому усилитель торможения имеет иную конструкцию. Роль усилителя, как правило выполняет плунжерный насос с гидропневматическим аккумулятором давления. Конструкция системы описана в учебном пособии «Гибридные автомобили» [47]. Механическая тормозная системы гибридного автомобиля связана с органами управления тяговым электроприводом. При

нажатии на педаль тормоза задействуется рекуперативное торможение тяговым электроприводом, преобразующим механическую энергию в электрическую. Усилие, создаваемое рекуперативной тормозной системой, дозируется силой нажатия на педаль тормоза. Как было отмечено в главе 2.9.1, возможности преобразования энергии электродинамическим торможением ограничены мощностью тягового электропривода и емкостью накопителя энергии. Чем выше начальная скорость торможения и замедление, тем выше мощность, поглощаемая тормозной системой. Когда мощности рекуперативной тормозной системы не достаточно система управления подключает механическую тормозную систему. Дозирование усилия механической тормозной системы также осуществляется по усилию нажатия педали тормоза.

В некоторых гибридных автомобилях водитель может выбирать настройки интенсивности рекуперации, а также автоматическое ее включение при отпускании педали газа.

На рисунке 2.45 показан график совмещения тормозного усилия при торможении.



Рисунок 2.45 – График совмещения тормозного усилия между электродинамической и механической тормозной системой

Из вышесказанного можно сделать вывод, что рекуперативное торможение влияет на расход топлива комбинированной энергоустановкой. Выбросы загрязняющих веществ снижаются как за счет уменьшения количества

сжигаемого топлива, так и за счет уменьшения износа фрикционных тормозных механизмов механической тормозной системы.

Ограничением для рекуперативного торможения также является состояние тягового накопителя энергии. Если она не будет способна принимать энергию, эффективность рекуперативного торможения снизится. Например, рекуперация будет невозможна при полном заряде ТНЭ или при чрезмерном ее перегреве.

Для оценки использован гибридный автомобиль Toyota Prius с КЭУ смешанного типа без подзарядки от внешней сети. Бортовой накопитель имеет запас энергии, достаточный для рекуперации энергии при торможении со скорости 50 км/ч с замедлением до 2 м/с^2 до полной остановки. Т.е. при всех служебных торможениях в городском цикле обеспечивается эффективная рекуперация.

При оценке влияния рекуперативного торможения на топливную экономичность и экологическую безопасность необходимо провести сравнительные замеры с включенной и выключенной рекуперацией. На испытуемом автомобиле рекуперация отключалась путем сброса калибровок линейного клапана в системе управления торможением. Таким образом, при одинаковых условиях испытания, массе и интенсивности торможений возможно измерить параметры износа механизмов и косвенно судить о выбросах твердых частиц.

Методика испытаний

Испытания проводились в дорожных условиях. Автомобиль с КЭУ смешанного типа двигался на участке дороги. Температура окружающей среды соответствует 15-20 °С. Атмосферные осадки при испытании отсутствовали.

Перед проведением испытаний выполнено техническое обслуживание тормозной системы автомобиля: произведена замена тормозной жидкости в гидравлической системе, с прокачкой согласно инструкции, смазаны направляющие рабочих тормозных цилиндров, установлены новые тормозные диски и фрикционные колодки. При этом перед установкой каждая из тормозных колодок нумеровалась и измерялась ее масса (рисунок 2.46). Для изме-

рения массы колодок использовались электронные весы, откалиброванные с помощью стандартного набора мерных грузиков. Погрешность измерений – 0,1 г. После каждого испытания все тормозные колодки снимались и взвешивались повторно. Данные заносились в протокол испытаний. Для исключения влияния параметров климата испытания проводились в этот же день.

С помощью диагностического сканера, подключенного к ДВС КЭУ производился замер расхода топлива. Если параметр «расход топлива» отсутствует в списке текущих данных, для его вычисления используется один из параметров, характеризующих смесеобразование.

Проводятся 2 испытания: с работающей и отключенной системой рекуперации. В каждом испытании проводилась серия торможений с заданным замедлением до полной остановки. Начальная скорость торможения принята 40 км/ч, что соответствует усредненной начальной скорости перед торможением в стандартном цикле испытаний по ГОСТ Р 59890-2021.

В процессе испытаний производится запись параметров рабочих процессов энергоустановки. Также производится мониторинг нагрева тормозных механизмов.

После проведения испытаний тормозные колодки и диски демон-

тируются и проводится повторный замер их размеров и массы. Взвешивание осуществляется с помощью электронных весов, откалиброванных тарированными грузиками, на погрешность 0,05 г.

Данные измерений занесены в протоколы № 2 и 3 Приложения Б.

График изменения скорости и диаграмма торможения представлены на рисунках 2.47 и 2.48.



Рисунок 2.46 – Взвешивание тормозных колодок перед испытанием

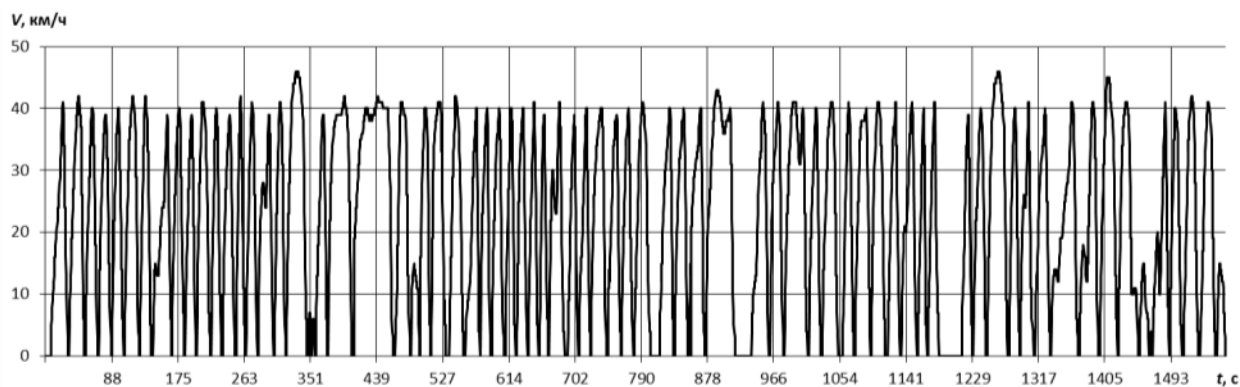


Рисунок 2.47 – График с записью циклов торможений

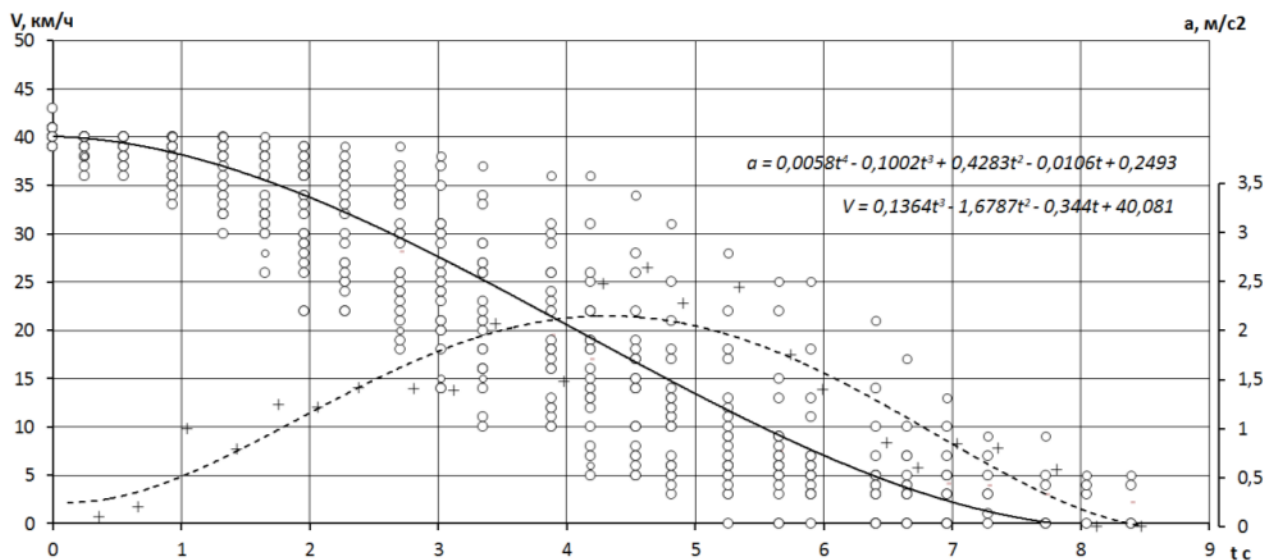


Рисунок 2.48 – График изменения скорости и замедления при торможении

Результаты обработки измерений при испытании с рекуперацией приведены в протоколе № 2 и таблице Б.8 Приложения Б. Результаты показали, что на каждые 100 циклов торможений с использованием рекуперации общая масса тормозных колодок уменьшилась на 1,4 г, или 0,014 г на одно торможение.

Результаты обработки измерений при испытании без рекуперации приведены в протоколе измерений № 3 таблице Б.9 Приложения Б.

Испытания без рекуперации показали, что на каждые 100 циклов торможения общая масса тормозных колодок уменьшилась на 4,2 г, что составляет 0,042 г на одно торможение.

Сравнение результатов в таблицах Б.8 и Б.9 Приложения Б показывает: при применении рекуперативного торможения при испытании износ колодок снизился в 3 раза. Как следствие, выбросы твердых частиц также будут ниже на эту величину. Материал тормозных колодок при этом не оказывает влияние на результат, т.к., полученная величина является относительной.

В КЭУ испытуемого автомобиля используется высоковольтная аккумуляторная батарея с максимальным напряжением при заряде (U_3)= 280В и максимальным током (I_3) = 50 А. С учетом КПД трансмиссии ($\eta_{\text{ТР}}$) максимальная мощность в цепи электропривода при рекуперации составит

$$P_3 = \frac{I_3 \cdot U_3}{\eta_{\text{ТР}} \cdot 1000} = \frac{50 \cdot 280}{0,95 \cdot 1000} = 14,7 \text{ кВт}, \quad (2.32)$$

Если необходимая мощность торможения будет больше, чем мощность рекуперации, будет дополнительно подключаться задействована фрикционная тормозная система.

Для контроля режима торможения в процессе испытаний измерялась температура тормозных дисков. Измерения заносятся в протоколы №4 и №5 (табл. № 10 и 11 Приложения Б). Сравнительные результаты измерения указаны в сводной таблице Б. 12. Приложения Б, а также показаны на рисунке 2.49.

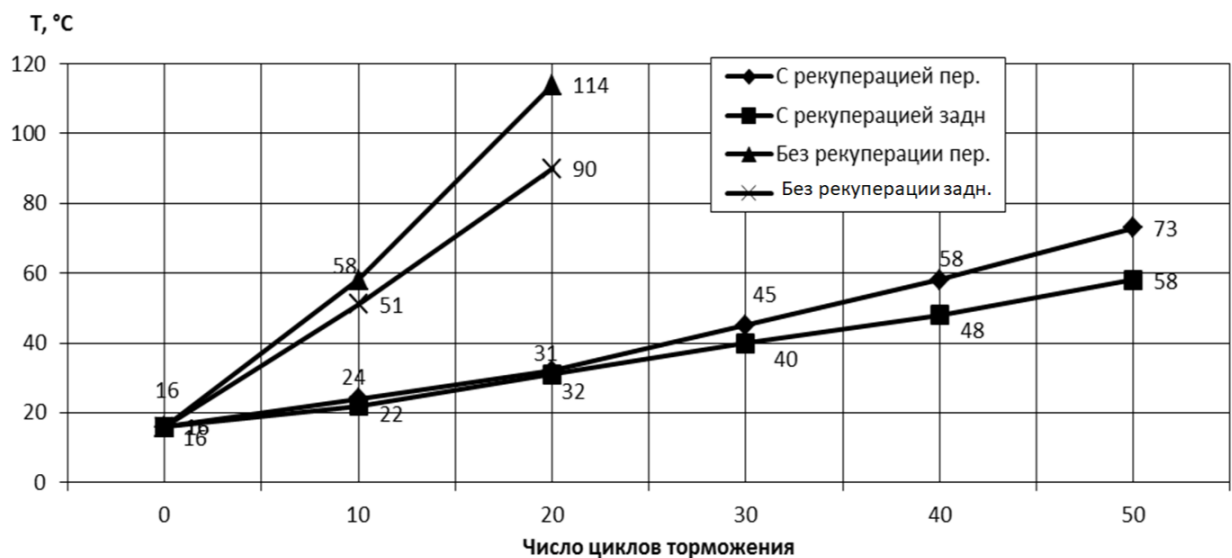


Рисунок 2.49 – График изменения температуры фрикционных тормозных механизмов при испытаниях

Измерения при торможении с рекуперацией осуществлялись до достижения температуры механизма более 100 °С. Испытания остановлены на 20 цикле торможения.

В процессе дорожных испытаний по оценке износа накладок тормозных колодок фиксировались параметры работы ДВС, включая расход топлива. Результаты сопоставления двух циклов испытаний показали, что расход топлива с использованием рекуперативного торможения ниже на 16%.

Натурные испытания подтвердили достоверность ранее предложенных методик теоретического исследования свойств рекуперации изложенных в п.п. 2.9.1.

Согласно расчетной инструкции по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами, разработанной НИИАТ при эксплуатации одного автомобиля в городе выбросы CO₂ в год (M_{CO_2}) составляют 5 т.

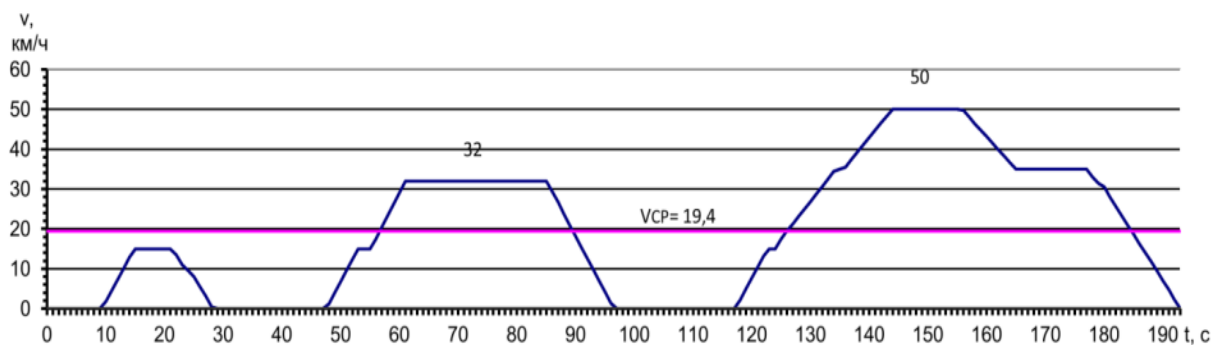
$$M_{CO_2} = M_{уд.} \cdot L_{CP} = 0,277 \cdot 17,5 = 4,85 \text{ т} \quad (2.33).$$

Таким образом, использование рекуперации торможения позволит снизить выбросы от одного автомобиля на величину M_{Δ} :

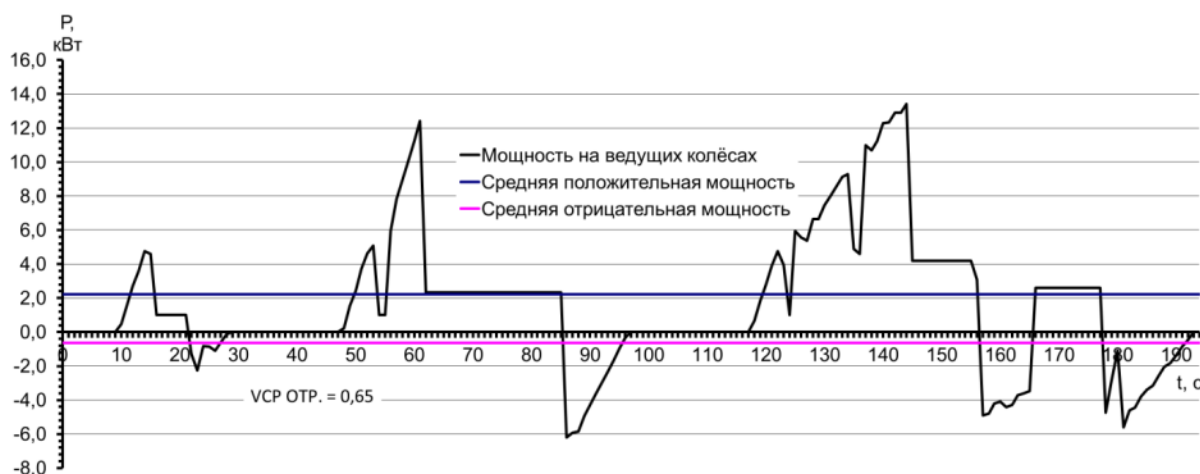
$$M_{\Delta} = M_{CO_2} \cdot \frac{\Delta Q}{100} = 0,4 \text{ т}, \quad (2.34)$$

где L_{CP} – среднегодовой пробег легковых автомобилей в РФ (тыс. км); $M_{уд.}$ – удельные выбросы в CO_{2экв.} при эксплуатации одного автомобиля в кг/км (согласно методике по инвентаризации выбросов «НИИАТ»); ΔQ – снижение расхода топлива, %.

Цикл движения автомобиля в городе можно сопоставить с Европейским ездовым циклом (городской участок) испытания автомобилей на токсичность (рисунок 2.50).



а



б

Рисунок 2.50 – Европейский ездовой цикл NEDC (городской участок):
а – изменение скорости; б – изменение мощности силы тяги (торможения)
на ведущих колесах

Испытания в дорожных условиях на автомобиле с КЭУ выявили возможность за счет рекуперации снижать расход топлива на 10–16 %.

При среднегодовом пробеге 15 тыс. км и среднем расходе топлива 8 л/100 км автомобиль за год потребляет 1200 литров топлива. При реализации рекуперативного торможения расход топлива будет снижен на 120–192 литра, что в ценах 2024 года составляет 7200–11500 руб. Если рассматривать рекуперативное торможение как отдельную систему для экономии топлива, то учитывая средний ресурсный пробег 250 тыс. км. стоимость такой системы не должна превышать 200 тыс. руб.

Износ тормозных механизмов при использовании рекуперации снизился с 0,042 г до 0,014 г, т.е. в три раза.

Если учесть, что на 1 км пути в городе приходится в среднем 2 торможения (низкоскоростная часть цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021)), то на 1 км пути износ составляет 0,056 г. За условный период эксплуатации автомобиля в 250 тыс. км масса продуктов износа тормозных колодок уменьшится на 14 кг. Доля мелкодисперсных частиц в продуктах износа по данным [147, 148] составляет 12 %. Таким образом, рекуперация энергии позволяет уменьшить выбросы мелкодисперсных частиц от одного автомобиля только за счет снижения износа тормозных колодок на 1680 г. При эксплуатации всего автопарка страны снижение выбросов мелкодисперсных частиц будет вычисляться по формуле

$$\Delta M_{\text{дч}} = M_{\text{дч1}} \cdot N \cdot 10^{-6}, \text{ т}, \quad (2.35)$$

где $M_{\text{дч1}}$ – масса выбросов мелкодисперсных частиц от одного автомобиля (г/год), N – количество автомобилей, эксплуатируемых в условиях городского движения (22 млн ед.).

Из формулы (2.35) следует, что рекуперация энергии позволяет снизить выбросы мелкодисперсных частиц от всех автомобилей в РФ на 36 960 т.

Негативное воздействие мелкодисперсной пыли на здоровье человека, выраженное в экономическом эквиваленте определяется «социальным ущербом». Данный термин используется во многих странах для определения негативного влияния загрязнителей на окружающую среду. В России определение социального ущерба рассматривается в трудах Ложконой О.В. [74].

Снижение годового социального ущерба от снижения выбросов мелкодисперсных частиц составит

$$\Delta C_{\text{дч}} = \frac{\Delta V_{\text{дч}} \cdot C_{\text{дч кг}}}{1000}, \text{ млрд руб.}, \quad (2.36)$$

где $C_{\text{дч кг}}$ – годовой социальный ущерб из расчета 2540 руб. на 1 кг мелкодисперсных частиц (принято на основании последних исследований д.т.н. Ложкиной О.В. [74]). $\Delta C_{\text{дч}}$ составит 93,88 млрд руб.

Тепловые выбросы из-за нагрева тормозных механизмов при использовании рекуперации также снижаются.

Результаты сопоставимы с исследованиями авторов из МАДИ [148], НАМИ [22] и Оренбургского государственного университета [153]. Метод оценки и полученные результаты исследований обсуждались на конференциях и опубликованы в работах автора [80, 246, 251].

2.10 Оценка влияния условий эксплуатации на топливную экономичность автомобилей

Для оценки эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированной энергоустановкой в реальных условиях эксплуатации в рамках исследования выполняются наблюдения за расходом топлива с учетом параметров среды. К наиболее важным параметрам среды отнесены: температура окружающей среды, средняя скорость движения и продолжительность поездки. Расход топлива при наблюдении оценивается по данным расходных чеков АЗС. На протяжении всего периода наблюдения заправка осуществлялась бензином марки Аи-95 (ГОСТ 32513-2013) на АЗС одного производителя. Паспорт № 451-3-05-18 на топливо производителя НК Лукойл представлен в Приложении Е. Данные о количестве заправляемого топлива, его стоимости записывались из чеков с АЗС. Данные о пробеге фиксировались по одометру автомобиля. Результаты наблюдений фиксировались в электронном журнале, где также рассчитывался приведенный расход топлива. Выписка из электронного журнала приведена в таблице Б.13 Приложения Б.

Существуют исследования по оценке влияния холодного климата на топливную экономичность автомобилей с двигателем внутреннего сгорания. По данным Министерства транспорта РФ при эксплуатации автомобилей в условиях холодного климата (Республика Саха, Острова Северного Ледовитого океана и морей районов Крайнего Севера) применяется поправочный

коэффициент для расхода топлива 20%, дополнительно устанавливаются нормы расхода при работе двигателя на стоянке [163].

Для оценки свойств топливной экономичности проведены наблюдения за эксплуатацией автомобиля с ДВС и гибридного автомобиля суммарно в течение 12 лет. Оба автомобиля имеют ДВС максимальной мощностью 72,5 кВт, выполняли одинаковую работу и эксплуатировались в одинаковых дорожных и климатических условиях. Нагрузка на автомобили при эксплуатации одинаковая, для обоих использовался один и тот же бензин.

Это позволяет объективно оценить их эксплуатационные свойства в одинаковых условиях окружающей среды. Гибридный автомобиль имеет смешанную схему привода, включающую тяговую АКБ с запасом энергии 2.5 мДж и электромотор мощностью 60 кВт.

На рисунке 2.51 представлен график изменения расходов на топливо гибридного автомобиля Toyota Prius ZWV30 со смешанной схемой КЭУ за 7 лет эксплуатации.

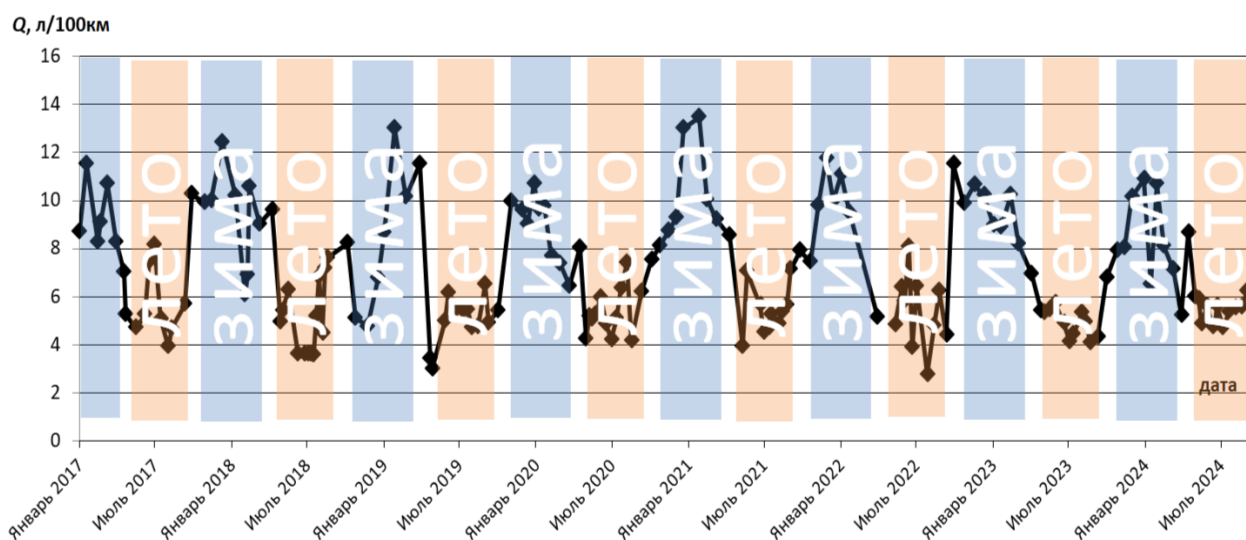


Рисунок 2.51 – Средний расход топлива гибридного автомобиля в условиях эксплуатации за 7 лет

Температура при испытаниях менялась в диапазоне от +33 до -32 °С. Средняя температура за период наблюдения составляла +4 °С. Средний годо-

вой пробег автомобиля 15 тыс. км, среднее время поездки 25 минут, режим эксплуатации – смешанный, средняя скорость – 27 км/ч. Средний расход топлива за период наблюдений составил 6,38 л/100 км, что соответствует 152 г CO₂/км.

Средний расход топлива автомобилем с бензиновым ДВС составил 10,45 л/100 км или 244,5 г/км выбросов CO₂.

На рисунке 2.52 представлены графики с результатами наложения приведенного расхода топлива гибридного автомобиля и автомобиля с бензиновым двигателем по месяцам года накопленный в течение 6 лет эксплуатации.

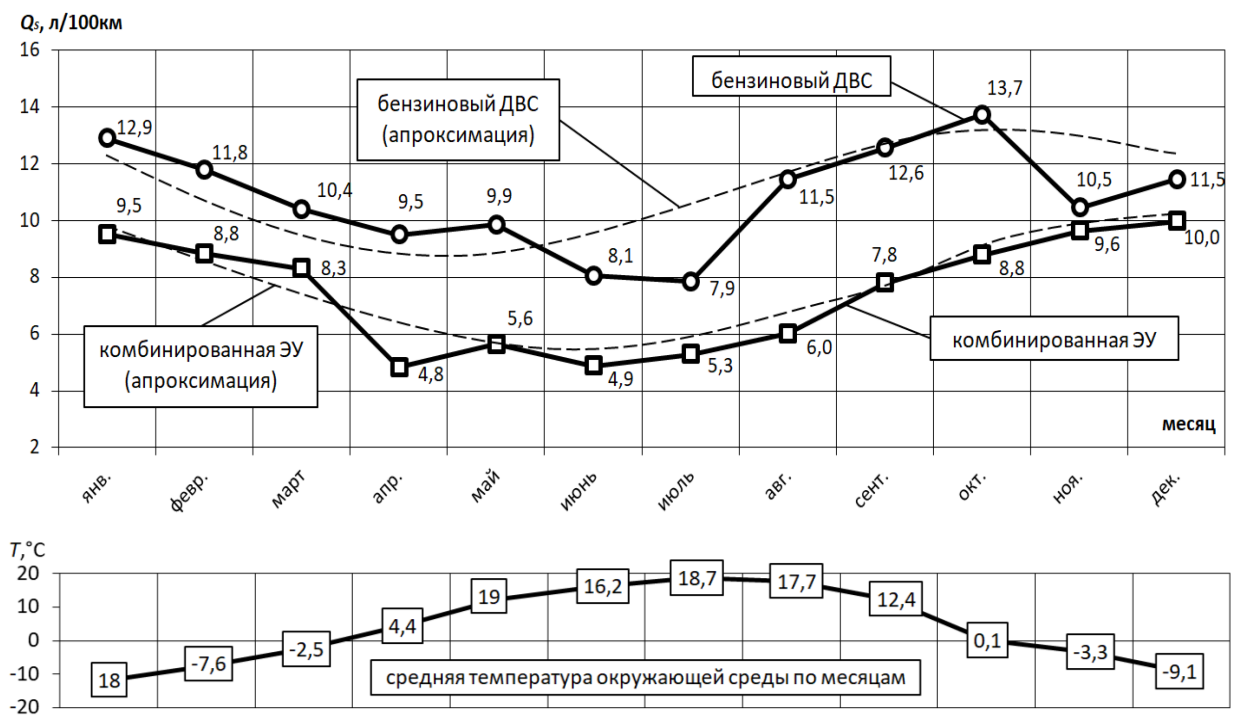


Рисунок 2.52 – График среднего расход топлива автомобилей с ДВС и КЭУ по месяцам года за 7 лет наблюдений

Как следует из графика, максимальный расход топлива зимой гибридного автомобиля зимой увеличивался до 11 л/100 км, что в 1,2 раза выше, чем в летний период. Автомобиль с бензиновым ДВС имеет расход топлива зимой 14 л/100 км, что в 1,15 раза выше, чем в летний период, в целом гибридный автомобиль был экономичнее на 38% по сравнению с ДВС. В условиях самых низких температур расход топлива гибридного автомобиля увеличи-

вался в пике до 12 л/100 км, а бензинового с ДВС до 20 л/100 км. Как и у гибридного, так и у бензинового автомобиля после запуска ДВС он работает постоянно для самопрогрева и отопления салона, однако после его завершения ДВС гибридного автомобиля в отсутствии работы отключается, а при торможении возвращает некоторое количество энергии благодаря рекуперации.

При низкой температуре емкость никель-металлогидридного АКБ гибридного автомобиля снижается. Влияние низкой температуры на топливную экономичность гибридного автомобиля можно оценить с помощью теоретических моделей разработанных ранее [100]. Из исследований было установлено, что рост расхода топлива начинается при снижении емкости тяговой АКБ ниже 0,6 МДж. Из характеристик никель-металлогидридных АКБ известно, что при снижении температуры до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. их емкость падает на 20%, при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 40 на 40%. Таким образом, при номинальной емкости АКБ испытуемого гибридного автомобиля 2,5 МДж она не достигнет 0,6 МДж даже при температуре ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За весь период наблюдений расход топлива гибридного автомобиля был ниже на 38% по сравнению с бензиновым аналогом. Это значение используется для верификации метода априорной оценки топливной экономичности гибридных автомобилей, предложенного в работе.

Результаты наблюдений показали высокую устойчивость гибридного автомобиля к перепадам температуры воздуха при эксплуатации. Отключение ДВС в отсутствии нагрузки снижает вероятность его перегрева. Для запуска холодного двигателя КЭУ с температурой $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ не требовалось специальных подготовительных мероприятий. Сразу после запуска автомобиль был готов к началу движения. Для запуска автомобиля с ДВС требовался прогрев и заряд стартерной АКБ, а после запуска ДВС трансмиссия требовала дополнительного времени прогрева в течение 5–10 минут. Это обусловлено большим количеством трущихся деталей в механической трансмиссии и высокой вязкостью универсального масла.

Оценка влияния температуры окружающей среды на время прогрева ДВС КЭУ

Как было отмечено ранее после запуска ДВС при низкой температуре окружающей среды он работает не как двигатель, а как нагревательное устройств, разогревая самого себя и пассажирский салон транспортного средства. В этот период гибридная система функционирует не полноценно, т.к. ДВС не выключается, а заряженная полностью АКБ не позволяет его нагрузить. В этом режиме гибридный автомобиль может экономить топливо только за счет более эффективной работы ДВС и трансмиссии.

В процессе наблюдения за эксплуатацией фиксировалось время прогрева после запуска. Движение начиналось всегда сразу без прогрева. За окончание прогрева принято переход ДВС в режим «запуск-остановка», после наступления которого гибридная система начинает полноценно функционировать. На рисунке 2.53 показан график времени прогрева гибридной системы в зависимости от температуры окружающей среды.

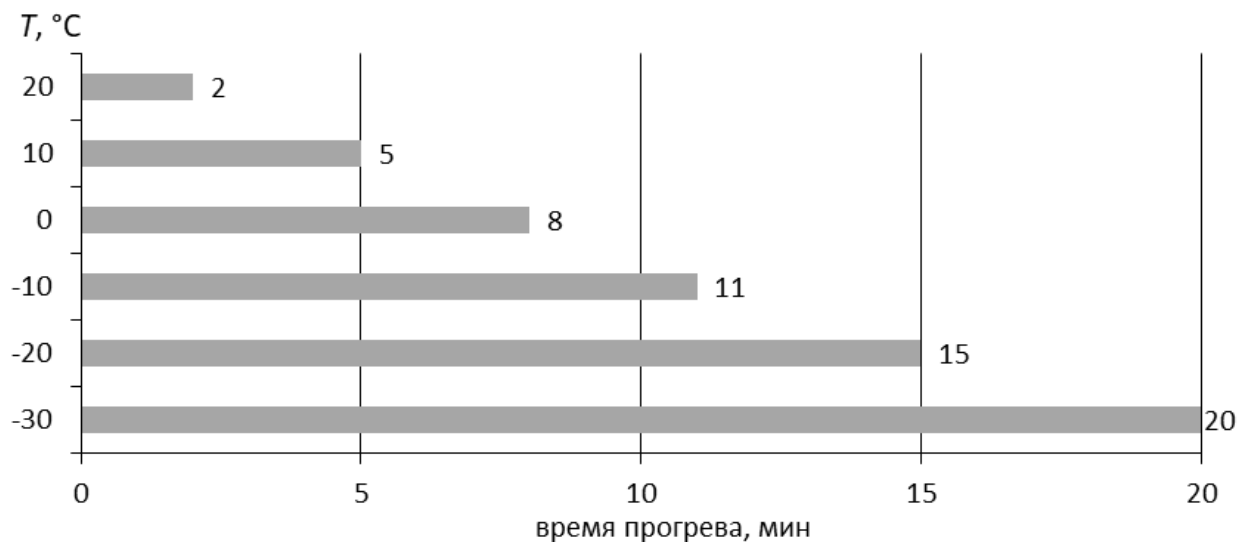


Рисунок 2.53 – Влияние температуры окружающей среды на времена прогрева гибридного двигателя в городском режиме эксплуатации

Из графика следует, что при снижении температуры окружающей среды до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ прогрев происходит только через 20 минут. Далее после достижения необходимой температуры двигателя и воздуха в салоне он отключа-

ется. Тяговая батарея за этот период времени не успевает полностью прогреться, движение в режиме электромобиля будет невозможно еще более длительное время. При начальной температуре ДВС 15-20 °С гибридная система начинает функционировать почти сразу же всего через 2 минуты.

Оценка влияния времени поездки с момента запуска ДВС на топливную экономичность КЭУ

На графике (рисунок 2.54) показано влияние времени прогрева ДВС на топливную экономичность автомобиля с КЭУ. Наблюдения показывают, что Ni-MH батарея способна обеспечивать режим движения с выключенным ДВС при температуре окружающей среды до -15 °С. После движения в течение 15 минут ее функции полностью восстанавливаются. Из этого следует, что при температуре эксплуатации ниже -15 °С расход топлива комбинированной ЭУ будет такой же, как и автомобиля с бензиновым ДВС.

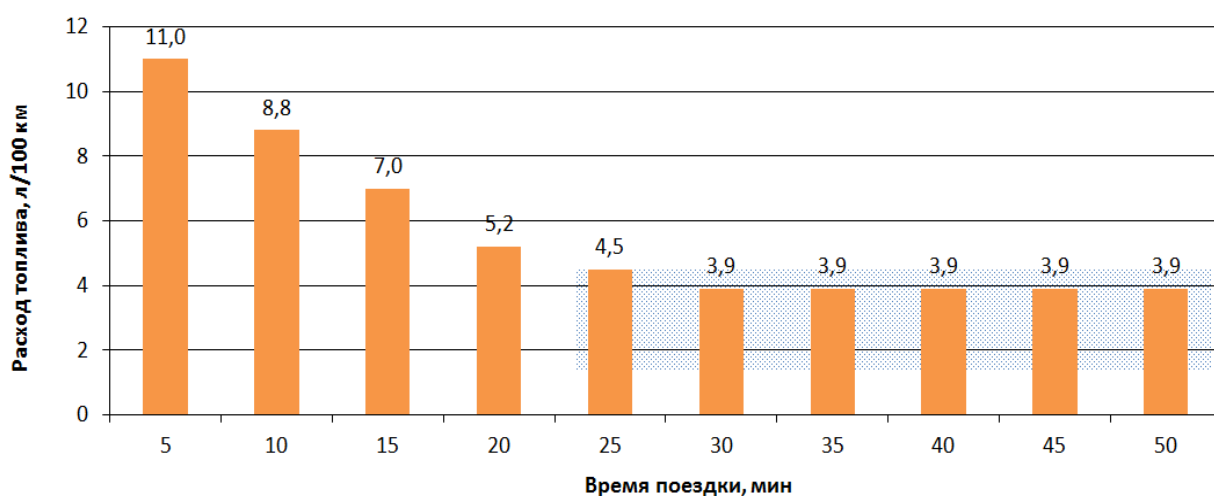


Рисунок 2.54 – Влияние времени поездки на приведенный расход топлива автомобиля с КЭУ при начальной температуре двигателя -20°С

При температурах более нуля градусов Цельсия гибридный автомобиль имеет более высокую экономичность при времени поездки более 10 мин.

На рисунке 2.55 представлен средний расход топлива гибридного переднеприводного автомобиля. Минимальный расход топлива менее 5 л/100 км обеспечивается в диапазоне средних скоростей от 25 до 100 км/ч.

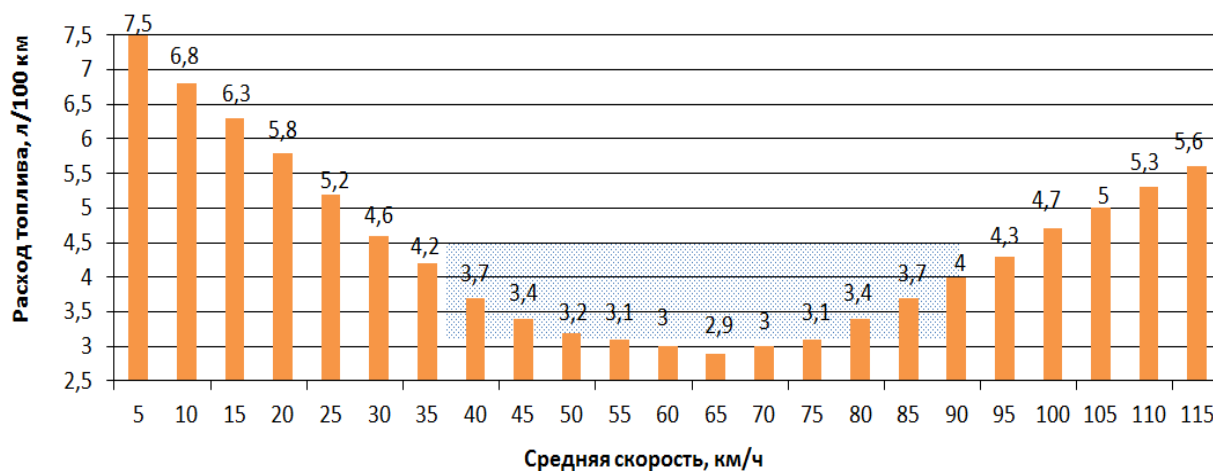


Рисунок 2.55 – Влияние средней скорости движения на расход топлива испытуемого гибридного автомобиля

Накопление данных о топливной экономичности гибридного автомобиля в разные периоды времени года в течение 5 лет позволяет получить зависимость расхода топлива от температуры окружающей среды (рисунок 2.56).

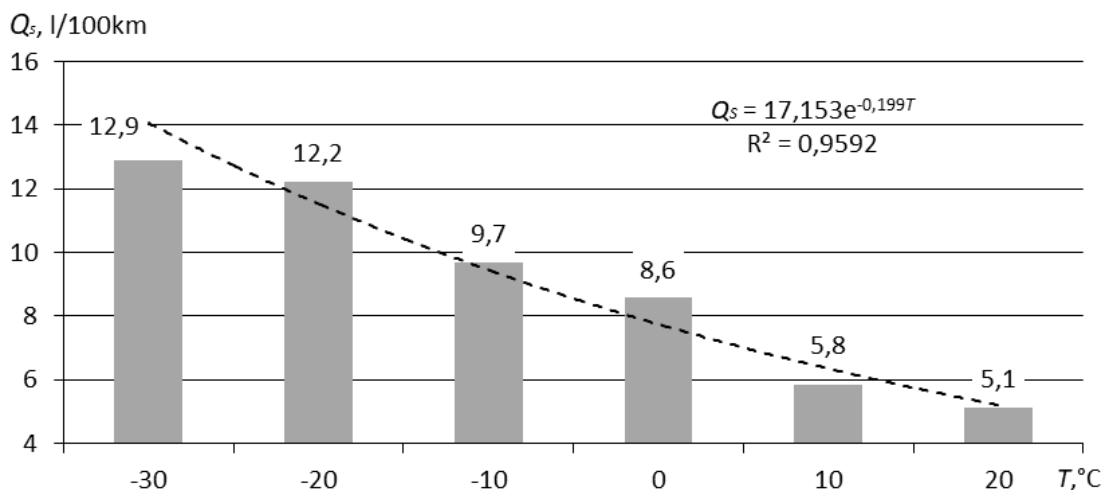


Рисунок. 2.56 Влияние температуры окружающей среды на расход топлива гибридного автомобиля

Не смотря на то, что при отрицательных температурах расход топлива гибридной системы растет, он все же ниже чем у автомобиля с ДВС. Результа-

ты исследований позволили получить коэффициенты корректировки расхода топлива при снижении температуры окружающей среды. В таблице 2.11 представлены коэффициенты относительно температуры 20 °С.

Таблица 2.11 – Коэффициент увеличения расхода топлива при снижении температуры наружного воздуха

Температура окр. среды, °С	20	10	0	-10	-20	-30
$K_{\text{ТЕМП}}$	1,00	1,14	1,7	1,9	2,4	2,53

2.11 Оценка надежности комбинированной энергоустановки гибридных автомобилей в условиях эксплуатации

Оценка надежности

Наблюдение за надежностью гибридных автомобилей проводилось с 2007 по 2024 год. Ряд исследований по оценке надежности были представлены на конференциях и опубликованы в работах автора [92, 95, 98, 99], затем продолжены. Последние результаты представлены в настоящей работе.

Оценка эффективности эксплуатации гибридных автомобилей должна происходить в том числе и показателями надежности в широком диапазоне климатических условий. Такими показателями служат число отказов и неисправностей, приходящихся на комбинированную энергоустановку, автомобиля, число дней простоя из-за неисправностей КЭУ, затраты на поддержание и восстановление работоспособности.

Эксплуатация гибридных автомобилей в России началась с 2001 года. Официальные продажи гибридных автомобилей начались с 2007 года. Для установления параметров надежности гибридных автомобилей проанализировано число отказов и неисправностей наиболее распространенных типов автомобилей. Исходными данными по статистике являются наблюдения за эксплуатацией, данные автосервисов, данные, полученные путем мониторинга состояния автомобиля от пользователей приложения MotorData OBD (таб-

лицы 2.12, 2.13). Всего были проанализированы неисправности и отказы 55 гибридных эксплуатируемых с 2005 по 2024 годы автомобилей.

Таблица 2.12 – Статистика неисправностей гибридных автомобилей

Марка, модель	Пробег, тыс. км								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Toyota Prius XW10-11 2001-2003 г.в.	н/д	н/д	ДВС-14 ЭО*-4 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-25 ЭО-14 ВВБ-4 ТР-3	ДВС-66 ЭО-19 ВВБ-39 ТР-17	ДВС-87 ЭО-24 ВВБ-68 ТР-36	ДВС-93 ЭО-29 ВВБ-58 ТР-49	ДВС-97 ЭО-36 ВВБ-80 ТР-58	ДВС-100 ЭО-59 ВВБ-95 ТР-74
Toyota Prius NHW20 2005-2009 г.в.	н/д	ДВС-4 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-12 ЭО-3 ВВБ-1 ТР-0	ДВС-15 ЭО-7 ВВБ-8 ТР-0	ДВС-37 ЭО-10 ВВБ-16 ТР-11	ДВС-78 ЭО-17 ВВБ-27 ТР-34	ДВС-94 ЭО-44 ВВБ-69 ТР-42	ДВС-96 ЭО-85 ВВБ-97 ТР-52	ДВС-100 ЭО-100 ВВБ-100 ТР-63
Toyota Prius ZVW30 2012-2016 г.в.	ДВС-1 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-4 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-10 ЭО-0 ВВБ-1 ТР-0	ДВС-16 ЭО-4 ВВБ-8 ТР-0	ДВС-36 ЭО-6 ВВБ-16 ТР-2	ДВС-45 ЭО-14 ВВБ-27 ТР-7	ДВС-85 ЭО-18 ВВБ-55 ТР-14	ДВС-93 ЭО-28 ВВБ-90 ТР-19	ДВС-97 ЭО-39 ВВБ-93 ТР-29
Toyota Prius XW50 2016-2019 г.в.	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-1 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-2 ЭО-0 ВВБ-1 ТР-0	ДВС-4 ЭО-0 ВВБ-2 ТР-0	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Toyota Estima 2010-2016 г.в.	н/д	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-3 ЭО-0 ВВБ-3 ТР-0	ДВС-12 ЭО-3 ВВБ-14 ТР-3	ДВС-26 ЭО-14 ВВБ-26 ТР-7	ДВС-44 ЭО-25 ВВБ-38 ТР-13	ДВС-68 ЭО-28 ВВБ-67 ТР-17	ДВС-90 ЭО-33 ВВБ-89 ТР-26
Toyota Aqua 2013-2016 г.в.	н/д	н/д	ДВС-5 ЭО-3 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-9 ЭО-7 ВВБ-2 ТР-0	ДВС-17 ЭО-10 ВВБ-13 ТР-0	ДВС-28 ЭО-15 ВВБ-17 ТР-3	ДВС-66 ЭО-43 ВВБ-25 ТР-17	ДВС-78 ЭО-81 ВВБ-35 ТР-40	ДВС-94 ЭО-94 ВВБ-67 ТР-67
Honda Civic Hybrid 2011-2013 г.в.	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-3 ЭО-0 ВВБ-18 ТР-0	ДВС-14 ЭО-7 ВВБ-44 ТР-0	ДВС-27 ЭО-15 ВВБ-59 ТР-2	ДВС-67 ЭО-22 ВВБ-78 ТР-7	ДВС-87 ЭО-29 ВВБ-97 ТР-14	н/д	н/д

*Относительная доля неисправности по системам в %: ДВС – механические неисправности двигателя внутреннего сгорания и его системы; ЭО – неисправности электрооборудования энергоустановки, включая низковольтную АКБ; ВВБ – неисправности связанные с высоковольтной батареей.

Таблица 2.13 – Статистика отказов гибридных автомобилей

Марка, модель	Пробег, тыс. км								
	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Toyota Prius XW10-11 2001- 2003 г.в.	н/д	н/д	ДВС-0 ЭО*-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-10 ТР-0	ДВС-5 ЭО-5 ВВБ-30 ТР-0	ДВС-15 ЭО-5 ВВБ-65 ТР-5	ДВС-25 ЭО-10 ВВБ-75 ТР-15	ДВС-35 ЭО-10 ВВБ-80 ТР-20	ДВС-55 ЭО-15 ВВБ-100 ТР-20
Toyota Prius NHW20 2005- 2009 г.в.	н/д	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-10 ТР-0	ДВС-5 ЭО-5 ВВБ-30 ТР-0	ДВС-10 ЭО-5 ВВБ-65 ТР-0	ДВС-20 ЭО-10 ВВБ-70 ТР-5	ДВС-35 ЭО-10 ВВБ-75 ТР-15	ДВС-55 ЭО-15 ВВБ-85 ТР-20
Toyota Prius ZVW30 2012- 2016 г.в.	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-5 ТР-0	ДВС-5 ЭО-0 ВВБ-20 ТР-5	ДВС-15 ЭО-5 ВВБ-40 ТР-5	ДВС-20 ЭО-15 ВВБ-60 ТР-5	ДВС-25 ЭО-25 ВВБ-80 ТР-5
Toyota Prius XW50 2016- 2019 г.в.	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-5 ТР-0	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
Toyota Estima 2010- 2016 г.в.	н/д	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-20 ВВБ-5 ТР-0	ДВС-0 ЭО-25 ВВБ-15 ТР-0	ДВС-5 ЭО-35 ВВБ-30 ТР-5	ДВС-10 ЭО-45 ВВБ-65 ТР-10	ДВС-15 ЭО-65 ВВБ-85 ТР-10
Toyota Aqua 2013- 2016 г.в.	н/д	н/д	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-10 ТР-0	ДВС-5 ЭО-10 ВВБ-15 ТР-0	ДВС-15 ЭО-20 ВВБ-25 ТР-5	ДВС-20 ЭО-35 ВВБ-35 ТР-10	ДВС-40 ЭО-45 ВВБ-70 ТР-10
Honda Civic Hybrid 2011- 2013 г.в.	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-0 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-4 ТР-0	ДВС-0 ЭО-0 ВВБ-15 ТР-0	ДВС-0 ЭО-1 ВВБ-44 ТР-3	ДВС-14 ЭО-3 ВВБ-56 ТР-14	ДВС-38 ЭО-16 ВВБ-78 ТР-27	ДВС-69 ЭО-22 ВВБ-97 ТР-36	н/д	н/д

* Относительная доля отказов по системам в %: ДВС – механические неисправности двигателя внутреннего сгорания и его системы; ЭО – неисправности электрооборудования энергоустановки, включая низковольтную АКБ; ВВБ – неисправности связанные с высоковольтной батареей; ТР – трансмиссия энергоустановки.

На основании собранных данных о статистике отказов и неисправностей построены графики вероятностей отказов по всем системами наблюдаемых автомобилей по маркам и моделям (рисунок 2.57). Кривая среднее показывает вероятности неисправностей всей КЭУ.

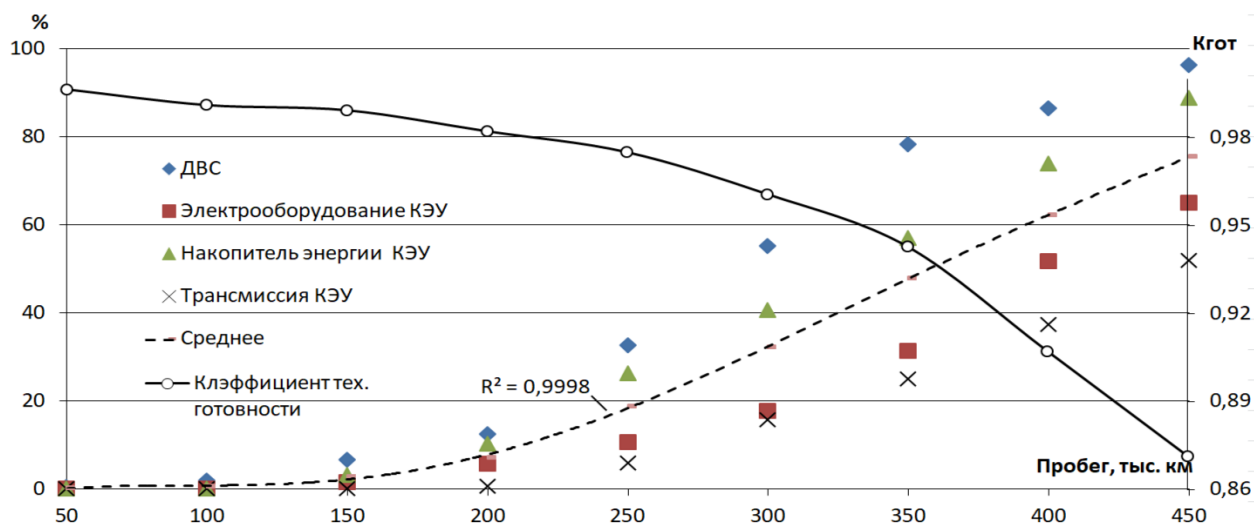


Рисунок 2.57 – График вероятности отказов элементов КЭУ и коэффициента технической готовности в зависимости от пробега

Как следует из полученных обобщающих, рассматриваемых модели гибридных автомобилей графиков, наиболее частые отказы и неисправности возникают по ДВС. Высоковольтная батарея у гибридных автомобилей отказывает с вероятностью $\gamma=10\%$ при пробеге 200 тыс. км, с вероятностью $\gamma=90\%$ при пробеге 450 тыс. км.

Проанализированы основные причины возникновения отказов и неисправностей КЭУ гибридных автомобилей по основным системам.

Двигатель внутреннего сгорания.

Наиболее частыми неисправностями ДВС КЭУ гибридных автомобилей являются: пропуски воспламенения при работе, высокий расход масла, рывки и провалы при работе, перегрев двигателя. Установлено, что причинами возникновения большинства отказов и неисправностей являлись:

- несвоевременная проверка состояния и устранение неисправностей свечей и изоляторов катушек системы зажигания;

- закоксовывание дроссельной заслонки низкотемпературными отложениями масла, что характерно для работы двигателя при низкой температуре или непрогретого двигателя;

- низкое качество применяемого моторного масла или несоблюдение установленной с учетом условий эксплуатации периодичности его замены;

- засорение радиаторов системы охлаждения в процессе эксплуатации, отсутствие надлежащего обслуживания системы охлаждения.

Наблюдения показывают, что ДВС гибридных автомобилей имеет более высокую надежность, что обусловлено снижением ударных нагрузок и резких скачков мощности благодаря наличию электропривода. Наибольшую проблему при эксплуатации представляют неполный нагрев двигателя при эксплуатации на маленьких пробегах, что приводит к образованию низкотемпературных нагаров, а также низкое качество обслуживания.

Электрооборудование КЭУ, включая дополнительные насосы, вентиляторы, датчики, электронные блоки управления, провода и разъемы.

Наиболее частыми причинами отказов электрооборудования КЭУ являются: разряд или потеря емкости низковольтной АКБ; окисление контактов в разъемах; повреждения при ремонте; естественное старение. Анализ показывает, что электрооборудование КЭУ имеет высокую надежность. В большинстве гибридных автомобилей отсутствует генератор с приводным ремнем и стартер ДВС. Неисправности возникают из-за ошибок при эксплуатации, таких как: несвоевременная проверка низковольтной АКБ, несвоевременное обнаружение неисправностей системы охлаждения, ошибки при ремонте.

Высоковольтная аккумуляторная батарея КЭУ.

ВВБ большинства гибридных автомобилей имеют ресурс, сопоставимый с ресурсом всей энергоустановки. В процессе эксплуатации не предусмотрено периодического технического обслуживания ВВБ весь срок ее службы. Неисправности ВВБ обнаруживаются встроенной системой самодиагностирования и приводят к увеличению расхода топлива и ухудшению динамики автомобиля. К наиболее встречающимся относится: чрезмерный раз-

ряд; разбалансировки емкости отдельных ячеек; окисление контактных пластин; выход из строя отдельных аккумуляторов. После возникновения неисправностей ВВБ ее работоспособность восстанавливается ремонтом или заменой. Наибольшая сложность в ремонте и восстановлении вызвана недостаточным распространением мастерских по обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей в регионах и городах страны, недостатком знаний по конструкции КЭУ гибридных автомобилей, способах обслуживания, диагностирования и ремонта. Как следствие – увеличение времени и стоимости восстановления работоспособности автомобиля, ошибки при ремонте.

Трансмиссия гибридного автомобиля, включая тяговые электродвигатели. В КЭУ гибридных автомобилей последовательного и смешанного типа отсутствует ступенчатая трансмиссия. Сцепление в трансмиссиях типа HSD Toyota отсутствует, В трансмиссиях подзаряжаемых гибридных автомобилей автоматические многодисковые сцепления применяются для переключения между схемами передачи энергии, т.е. реже, чем в механических трансмиссиях. Статистика возникновения неисправностей показывает, что трансмиссия имеет высокую надежность, однако также требует периодического обслуживания, в частности: периодический контроль уровня и замену масла и охлаждающей жидкости, проверку работоспособности системы охлаждения трансмиссии. Несвоевременность регламентных операций, приводит к повышенному износу пар трения, перегреву электродвигателей и инверторов. Как следствие к их повреждению.

Влияние климатических условий на надежность эксплуатации гибридных автомобилей.

Наблюдение за условиями эксплуатации гибридных автомобилей проводилось в период с 2006 по 2024 годы. Температура окружающей среды в период эксплуатации составляла от -32 до 30 °С.

Автомобили с КЭУ не требовали специальных мероприятий для подготовки к запуску с температурой окружающей среды ниже 30 °С. Дополнительный прогрев комбинированной энергоустановке не требовался, сразу по-

сле запуска она была готова к работе. Комбинированная ЭУ имеет Ni-NH батарею, с запасаемой энергией до 2,5 МДж, которая питает стартер-генератор мощностью 15 кВт, запускающий ДВС. Трансмиссия КЭУ не имеет синхронизаторов, фрикционных элементов и механических управляемых элементов. Такая конструкция хорошо приспособлена к очень низким температурам пуска и эксплуатации.

Путем наблюдения за гибридными автомобилями установлено отрицательное влияние высоких температур окружающей среды на срок службы высоковольтной батареи.

Выводы. Оценка надежности гибридных автомобилей показала, что КЭУ имеет высокий конструктивный ресурс с вероятной средней наработкой безотказной работы $\gamma=90$ % в 200 тыс. км, что соответствует надежности большинства автомобилей. При этом КЭУ в процессе эксплуатации имеет меньшие на 50 % затраты на поддержание работоспособности ДВС, трансмиссии и тормозной системы. У ДВС гибридного автомобиля имеется склонность к образованию низкотемпературных нагаров, связанная с частыми отключениями при эксплуатации. Обслуживание и ремонт гибридных автомобилей требует от инженеров-диагностов, механиков, слесарей-электриков специальных знаний, включая обращение с электрооборудованием высокого напряжения.

Для обучения студентов обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей разработано учебное пособие «Гибридные автомобили», 2016 г., авторы А.А. Капустин, В.А. Раков, допущенное УМО вузов по автомобильным специальностям [47].

В целях приспособления ДВС к работе в условиях частых запусков и остановок при малых нагрузках для гибридных автомобилей разработан управляемый рекуператор отработавших газов, Патент на полезную модель «Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания» № 120923 от 10.10.2012.

Выводы по главе

Разработанные методики оценки мощности и расхода топлива при эксплуатации расширяют возможности исследования эксплуатационных свойств гибридных автомобилей. Разработанная методика сбора и систематизации параметров движения автомобилей по параметрам рабочих процессов позволяет проводить исследование эксплуатационных свойств автомобилей, эксплуатируемых в различных странах, климатических районах, а также проводить исследование эксплуатационных свойств выборочной группы автомобилей по заданным условиям эксплуатации.

Решена задача экспериментального исследования эксплуатационных свойств КЭУ. Для этого разработана экспериментальная модель КЭУ, которая может имитировать работу автомобилей с КЭУ различных типовых схем по любому заданному циклу движения, производились замеры и запись входных и выходных параметров во время поведения испытаний КЭУ. На основании произведенных лабораторных исследований и дорожных испытаний описано понятие «коэффициент возврата энергии при рекуперации» (K_p), характеризующий эффективность рекуперативного торможения и дополняющий понятие «эффективность рекуперации».

При этом коэффициент K_{p1} характеризует отношение энергии, возвращенной в накопитель при рекуперации, по отношению к энергии, затраченной на разгон автомобиля до начальной скорости. Этот коэффициент оценивает степень влияния рекуперации на топливную экономичность автомобиля.

Коэффициент K_{p2} характеризует отношение энергии, возвращенной в накопитель, по отношению к кинетической энергии движущегося автомобиля. K_{p2} показывает качества преобразования и накопления энергии в накопитель. Значение K_{p1} для автомобиля с КЭУ смешанной типовой схемы, полученные в результате дорожных испытаний, составили 10–16 %, Эффектив-

ность преобразования энергии (K_{p2}) для аналогичного типа гибридных автомобилей составляет 25–30 %.

Испытания разработанного ходового макета ЛАДА-1118 с КЭУ последовательного типа, имеющего дизельный двигатель, номинальную выходную механическую мощность 6,6 кВт при 3000 об/мин, максимальную выходную электрическую мощность 5 кВт, позволяют разгонять экспериментальный автомобиль массой 1325 кг до 50 км/ч и двигаться в необходимом ускорении в общем потоке движения. Средний расход топлива автомобилем, не смотря на простейшую конструкцию используемого дизельного двигателя и большие потери в последовательной схеме привода КЭУ, составляет при этом 4,7–5,6 л/100 км.

Данное обстоятельство говорит о рациональном использовании энергии ДВС комбинированной энергоустановкой за счет накопления ее в электрическом накопителе, что особенно важно при частых разгонах, торможениях и низкой средней потребляемой мощности в городских условиях движения. Жесткая стабилизация нагрузочного режима позволяет двигателю КЭУ работать в стабильном нагрузочном режиме с оптимальной загрузкой ДВС.

Испытания, проведенные на серийном образце автомобиля с КЭУ, показали снижение выбросов твердых частиц от износа накладок тормозных колодок при использовании рекуперативного торможения в 3 раза. Экспериментально установлено, что расход топлива при использовании рекуперации в городских условиях движения ниже на 16 %.

Установлены взаимосвязи между рекуперативным торможением, экономичностью и экологической безопасностью автомобилей. Использование рекуперативного торможения может повлиять на снижение выбросов парниковых газов от автомобилей. В масштабах Российской Федерации снижение выбросов CO_2 составит 9 млн тонн. При этом экономия топлива составит 3,8 млн тонн за год, что в ценах 2025 года составляет 230 млрд руб.

Проведенные в течение 7 лет эксплуатационные испытания позволяют сделать выводы о реальной топливной экономичности автомобиля. По сравнению с аналогичным автомобилем с ДВС гибридный автомобиль потреблял на 38 % меньше топлива. Установлено влияние условий эксплуатации на топливную экономичность гибридного автомобиля. Эксплуатация гибридного автомобиля неэффективна при температуре эксплуатации ниже -15°C и продолжительности поездок с момента запуска ДВС менее 15 минут.

Оценка надежности гибридных автомобилей показала, что КЭУ имеет высокий конструктивный ресурс с вероятной средней наработкой безотказной работы $\gamma=90\%$ в 200 тыс. км, что соответствует надежности большинства автомобилей. При этом КЭУ в процессе эксплуатации имеет меньшие на 50 % затраты на поддержание работоспособности ДВС, трансмиссии и тормозной системы. В тоже время у ДВС гибридного автомобиля имеется склонность к образованию низкотемпературных нагаров, связанная с частыми отключениями при эксплуатации. Обслуживание и ремонт гибридных автомобилей требует от инженеров-диагностов, механиков, слесарей-электриков специальных знаний, включая обращение с электрооборудованием высокого напряжения.

ГЛАВА 3 МЕТОД ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ КЭУ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО ЗАДАННОМУ ЦИКЛУ

3.1 Обоснование структуры, функциональной схемы и применяемые зависимости

Зачастую используемая схема КЭУ оказывается слишком дорогой, менее надежной и неудобной в обслуживании. Более того, в некоторых случаях предложенные схемы КЭУ не улучшали технические характеристики, а, наоборот, ухудшали их. Так, например, после замены в городском автобусе традиционного дизельного двигателя на КЭУ расход топлива на некоторых режимах не снижался, а увеличивался, ресурс силовой установки резко падал, ремонт ее был сложным, в результате автобусы простаивали. Аналогичная ситуация и с легковыми автомобилями: автомобиль мог показать сниженный расход топлива на полигонных испытаниях, но в реальных условиях эксплуатации ввиду особенностей режима движения и климатических особенностей был сопоставим с более традиционными энергетическими установками.

Существует множество принципов расчета КЭУ, предложенных учеными НАМИ [45, 63, 66, 70, 72, 152], МАДИ [136, 151], ИжГТУ [144], другими [213, 261]. Автор использует методику, совмещающую тяговый и энергетический расчет [18, 83, 85, 97, 103–106, 117–119, 122, 183, 245].

Для оценки эксплуатационных свойств автомобилей с различными типовыми схемами КЭУ разработана метод теоретической оценки параметров движения в заданных условиях эксплуатации.

Метод разработан на основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований проведенных в работе и служит для прогнозирования топливной экономичности гибридных автомобилей с разными типами и характеристиками энергоустановок в различных циклах движения. В основе метода лежит тягово-мощностной и энергетических расчет, в котором КЭУ гибридного автомобиля представляется как система цепочек передачи энергии от ДВС на ведущие колеса. В зависимости от выбранной типовой схемы энергоустановки ее особенностей и характеристик определяется расход топлива.

Методы и методики оценки топливной экономичности ДВС в условиях меняющихся нагрузок были изложены в работах Александрова И.К, Ракова В.А., Капустина А.А. [13, 19, 46, 105, 114, 116, 118, 124, 252]. Профессором И.С. Ефремовым впервые была изложена методика расчета тягового электропривода автомобиля [35].

Разработанные методики оценки позволяют получать изменение параметров движения автомобилей с заданным типом ЭУ при движении по заданному циклу. Исходными данными служат массогабаритные параметры автомобиля, включая площадь поперечного сечения кузова, коэффициент учета сил инерции, и характеристика цикла движения: изменение скорости от времени. Потери в элементах КЭУ задаются их КПД. Условно принято постоянство КПД элементов привода.

Вычисляются следующие параметры: мощность энергоустановки в целом; мощностью, развиваемая ДВС; мгновенный и средний расход топлива, выбросы CO_2 автомобиля за период испытания. Также вычисляются характеристики тягового электропривода: максимальная мощность электродвигателя и необходимая емкость аккумуляторной батареи. Искомые параметры могут быть заданы также в качестве целевых, и уже согласно им определяются остальные.

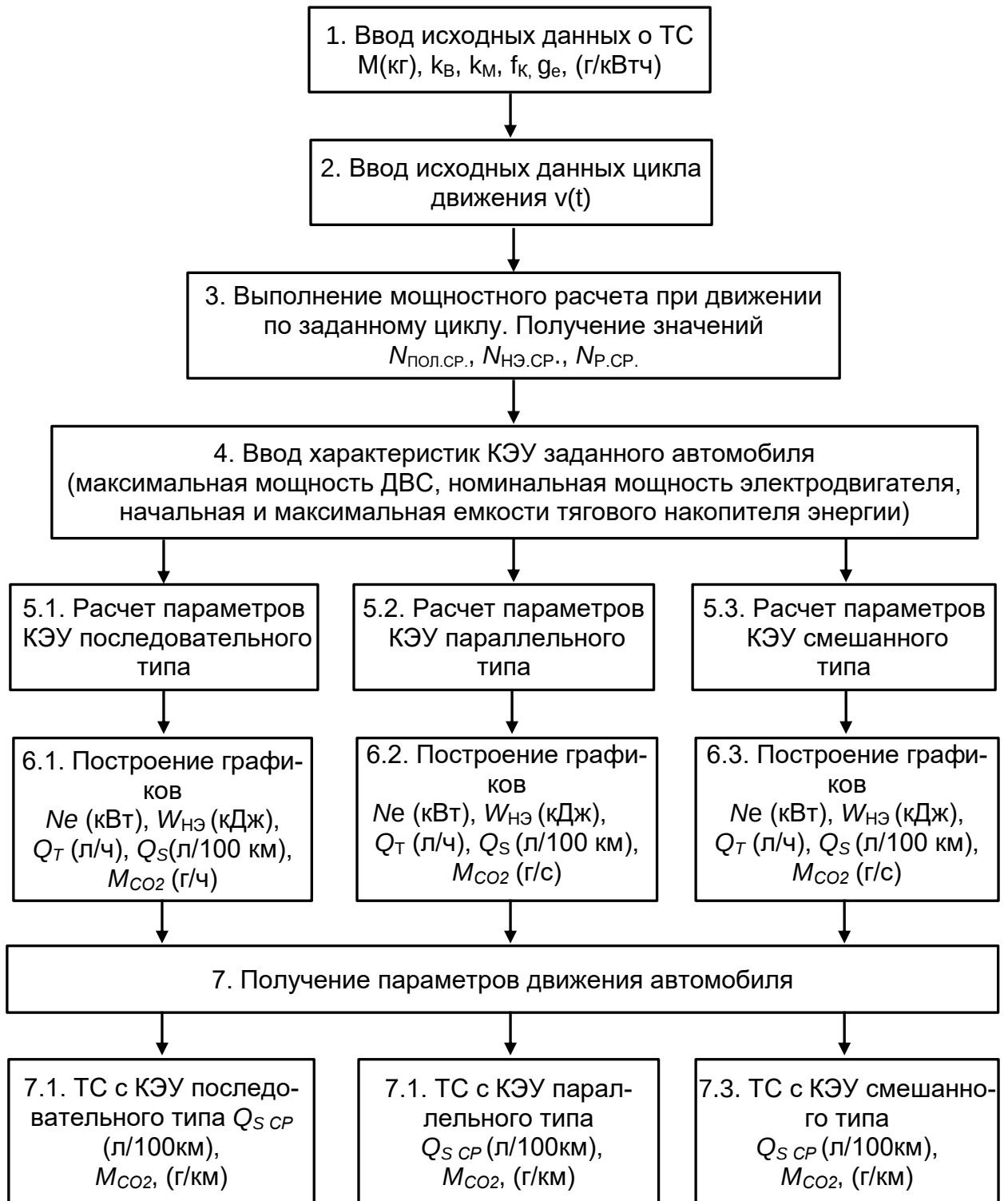


Рисунок 3.1 – Функциональная схема расчета параметров КЭУ

Алгоритм позволяет адаптировать расчет для заданных условий движения, задавать необходимые параметры энергоустановки, выбирать режим

работы, сравнивать типовые схемы КЭУ между собой [97, 103–106, 117, 119, 122, 253]. Функциональная схема расчета параметров КЭУ приведена на рисунке 3.1. Алгоритмы метода прогнозирования расхода топлива гибридных автомобилей подстроены под пакет программа MS Office и зарегистрированы в реестре программ для ЭВМ [186].

Для прогнозирования расхода топлива задается цикл движения автомобиля. Это может быть стандартный цикл, например NEDC испытания автомобиля на токсичность изображенный на рисунке 3.2, более современный, ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021), или заданный для конкретных условий эксплуатации цикл маршрутного автобуса.

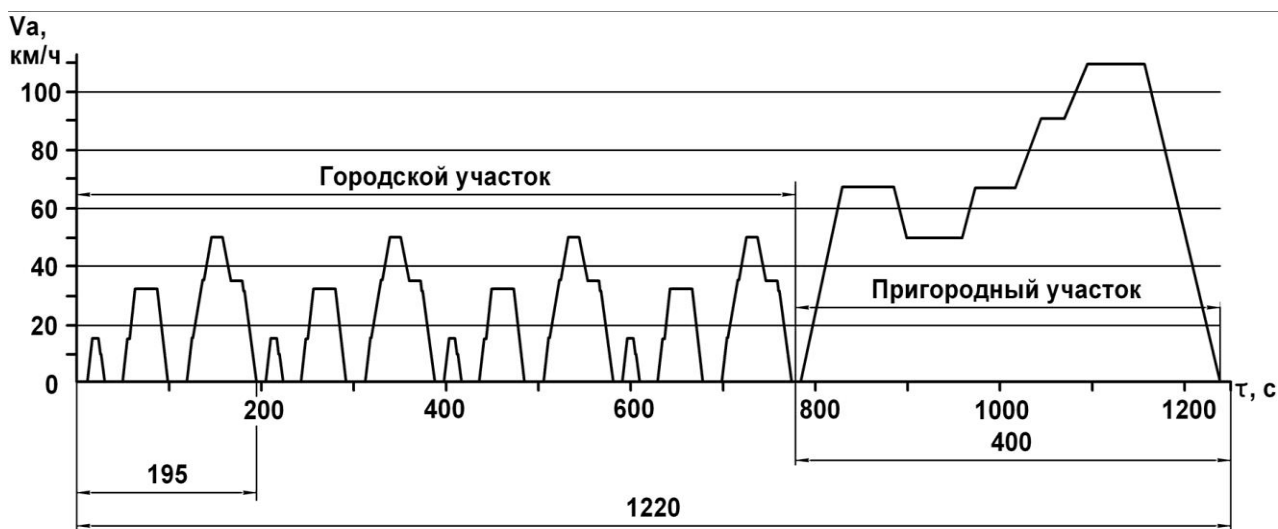


Рисунок 3.2 – Стандартный ездовой цикл NEDC испытаний автомобилей на токсичность

Вся последовательность определения расхода топлива показана на графиках (рисунок 3.3).

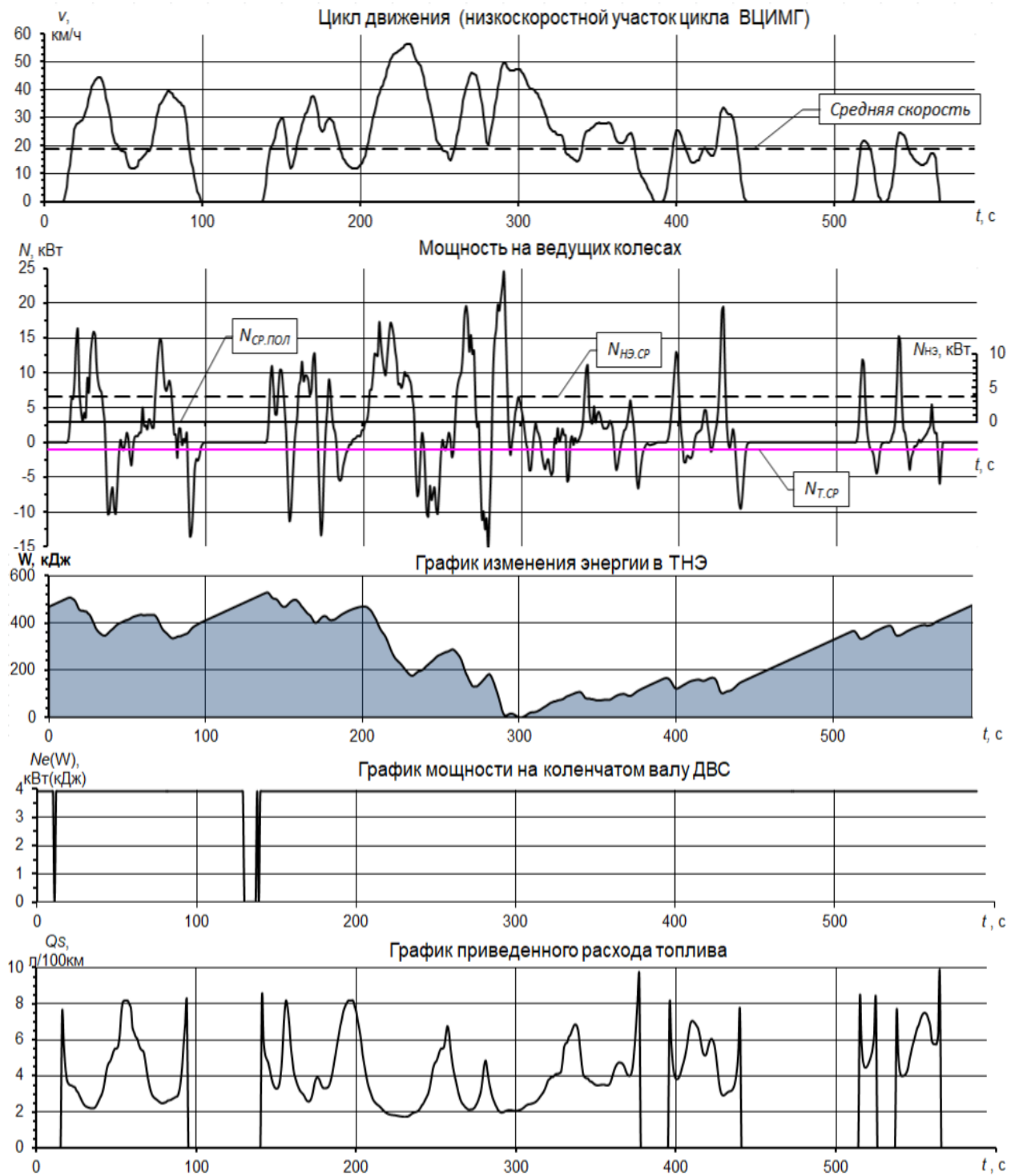


Рисунок 3.3 – Графики результатов вычисления расхода топлива, где $N_{ср.пол}$ – средняя положительная мощность на ведущих колесах; $N_{нэ.ср}$ – средняя мощность, проходящая через накопитель энергии; $N_{т.ср}$ – средняя мощность торможений

На первоначальном этапе исходные данные используются для выполнения мощностного расчета. Согласно существующей теории расчета мощность на ведущих колесах автомобиля равна сумме сил сопротивления, действующих на него в каждый момент времени: N_{Bi} – сила сопротивления воздуха; N_{Ki} – сила сопротивления качению; N_{Ii} – сила сопротивления инерции; N_{Pi} – сила сопротивления подъему. Сумма сил сопротивления движению равна силе тяги на ведущих колесах [152].

$$N_{Ti} = N_{Ki} + N_{Bi} + N_{Ii} + N_{Pi}. \quad (3.1)$$

После мощностного расчета получается график (рисунок 3.3), на котором отображается изменение мощности ЭУ от времени, а также указываются значения: средней положительной, средней отрицательной мощности и средней мощности пиков.

Средняя мощность на ведущих колесах на всем участке движения $N_{\text{ср.пол}}$ показывает среднюю величину развиваемой ДВС комбинированной энергоустановки мощности с учетом потерь в приводе.

$$N_{\text{ср.пол}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{ср.пол.}i}}{n} \quad \sum N_T > 0. \quad (3.2)$$

Средняя мощность торможений $N_{\text{т.ср}}$ показывает среднюю величину отрицательных значений мощности на ведущих колесах.

$$N_{\text{т.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{\text{т.отр}i}}{n}, \quad \sum N_T < 0. \quad (3.3)$$

С учетом потерь в электроприводе она будет учитывать энергию, возвращенную при рекуперации.

Применение данного подхода позволяет производить энергетический расчет основных параметров КЭУ для заданных условий эксплуатации.

Исходные данные для прогнозирования расхода топлива гибридных автомобилей :

1. Характеристика цикла движения:

- набор данных об изменении скорости: $v = [1 \dots n]$;
- набор данных об изменении продольного уклона дороги: $\alpha = [1 \dots n]$

(задается в случае больших перепадов высот).

2. Заданные технических характеристик ТС:

- снаряженная масса автомобиля или масса с грузом (m);
- коэффициент трения-качения (f_k);
- площадь поперечного сечения автомобиля (F, m^2);
- коэффициент обтекаемости кузова (k_B);
- коэффициент учета вращающихся масс (k_m).

Основные зависимости тягово-мощностного расчета

Мощностной расчет основан на общеизвестной теории расчета автомобиля [72, 83, 100] и позволяет предварительно определить баланс мощностей в энергоустановке. Ниже приведены используемые зависимости.

1. Средняя скорость движения заданного цикла:

$$v_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i / 3,6)}{n}, \text{ м/с}, \quad (3.4)$$

где v_i – скорость в отдельно взятом i -м интервале, км/ч; n – количество точек на участке.

2. Путь, пройденный на отдельно взятом интервале:

$$S_i = \frac{v_i \cdot t}{3,6}, \text{ м}, \quad (3.5)$$

где t – время прохождения отдельного интервала, принято 1 с.

3. Суммарная длина цикла:

$$S_{\Sigma} = \sum_1^n S_i, \text{ м.} \quad (3.6)$$

4. Ускорение движения на отдельно-взятом интервале:

$$a_i = \frac{(v_{i-1} - v_i)}{(3,6t_i)}, \text{ м/с}^2. \quad (3.7)$$

5. Вес автомобиля:

$$G_a = M \cdot g, \text{ Н}, \quad (3.8)$$

где g – ускорение свободного падения.

1. Мощности сил сопротивления, действующих на автомобиль

$$N_{Ki} = \frac{G \cdot f \cdot \cos \alpha \cdot v_i}{3600}, \text{ кВт.} \quad (3.9)$$

$$N_{Bi} = \frac{F \cdot k_B \cdot (v_i / 3,6)^3}{1000}, \text{ кВт.} \quad (3.10)$$

$$N_{Иi} = \frac{M \cdot j_i \cdot v_i \cdot k_M}{3600}, \text{ кВт.} \quad (3.11)$$

$$N_{Pi} = \frac{G_a \cdot v_i \cdot \sin(\alpha_i)}{3600}, \text{ кВт.} \quad (3.12)$$

$$N_{Ti} = N_{Ki} + N_{Bi} + N_{Иi} + N_{Pi}, \text{ кВт.} \quad (3.13)$$

7. Средняя положительная мощность силы тяги за весь цикл движения:

$$N_{T, \text{ПОЛ.СР}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{Ti}}{n_{>0}}, \text{ кВт}, \quad (3.14)$$

(если $N_{Ti} \geq 0$).

8. Средняя мощность торможений на за весь цикл движения:

$$N_{T, \text{ОТР.СР}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{Ti}}{n_{<0}}, \text{ кВт}, \quad (3.15)$$

(если $N_{Ti} < 0$).

9. Средняя мощность, проходящая через накопитель энергии:

$$N_{\text{НЭ.СР}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_{Ti}}{n_{<0}}, \text{ кВт}, \quad (3.16)$$

(если $N_{Ti} > N_{T, \text{СР}}$).

10. Средняя мощность в цепочке без накопителя энергии:

$$N_{\text{ПР.СР}} = N_{T, \text{СР}} - N_{\text{НЭ.СР}}, \text{ кВт}. \quad (3.17)$$

Основные зависимости расчета параметров КЭУ

Средняя мощность в электрической цепочке без накопителя энергии:

– для КЭУ последовательного типа

$$N_1 = \frac{N_{\text{СР}} - N_{\text{НЭ.СР}}}{K \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{ИН}}^2 \cdot \eta_{\Theta} \cdot \eta_{\text{ТР}}}, \text{ кВт}; \quad (3.18)$$

– для КЭУ смешанного типа

$$N_1 = \frac{(N_{\text{CP}} - N_{\text{HЭ.СР}}) \cdot K_{\text{PM}}}{K \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{ИН}}^2 \cdot \eta_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}, \text{ кВт.} \quad (3.19)$$

Средняя электрическая мощность, передаваемая через накопитель энергии:

$$N_2 = \frac{N_{\text{HЭ.СР}}}{K \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{ИН}} \cdot \eta_{\text{ТНЭ}} \cdot \eta_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}, \text{ кВт.} \quad (3.20)$$

Средняя мощность, передаваемая через механическую передачу:

– для КЭУ параллельного типа

$$N_3 = \frac{N_{\text{ПР.СР}}}{K \cdot \eta_{\text{ПР}}}, \text{ кВт;} \quad (3.21)$$

– для КЭУ смешанного типа

$$N_3 = \frac{N_{\text{ПР.СР}} \cdot (1 - K_{\text{PM}})}{K \cdot \eta_{\text{ПР}}}, \text{ кВт.} \quad (3.22)$$

Средняя мощность цепочки рекуперации:

$$N_4 = N_{\text{Т.ОТР.СР}} \cdot \eta_{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{Ко}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\text{МГ2}} \cdot \eta_{\text{ИН}} \cdot \eta_{\text{HЭ}}, \text{ кВт.} \quad (3.23)$$

Средняя мощность ДВС комбинированной энергоустановки:

– для КЭУ параллельного и смешанного типа

$$N_{\text{ДВС}} = N_1 + N_2 + N_3 - N_4, \text{ кВт;} \quad (3.24)$$

– для КЭУ последовательного типа

$$N_{\text{ДВС}} = N_1 + N_2 - N_4, \text{ кВт.} \quad (3.25)$$

Необходимая мощность электродвигателя (электродвигателей):

– для КЭУ последовательного типа

$$N_{\text{эл.ном}} = \frac{N_{\text{ДВС}}}{1,6}, \text{ кВт} \quad (3.26)$$

– для КЭУ параллельного типа

$$N_{\text{эл.ном}} = \frac{N_1 + N_2}{1,6}, \text{ кВт.} \quad (3.27)$$

Коэффициент неравномерности нагрузки:

$$K_{\text{НР}} = \frac{N_{\text{Т.МАКС}}}{N_{\text{Т.ПОЛ.СР}}} \quad (3.28)$$

Коэффициенты полезного действия:

в цепи заряда тягового накопителя энергии

$$\eta_{\text{З.НЭ}} = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{НЭ}}, \quad (3.29)$$

в цепи разряда тягового накопителя энергии

$$\eta_{\text{П.НЭ}} = \eta_{\text{ИН}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\Theta}, \quad (3.30)$$

в цепи электропривода

$$\eta_{\text{ПР.П}} = \eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{ИН}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\Theta}, \quad (3.31)$$

в цепи электропривода при рекуперации

$$\eta_{\text{Р.Σ}} = \eta_{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТР}} \cdot \eta_{\Theta} \cdot \eta_{\text{ИН}} \cdot \eta_{\text{НЭ}} \quad (3.32)$$

Мгновенное значение энергии в накопителе:

$$W_i = W_{i-1} - \frac{N_{\text{Т.ПОЛ}i} \cdot t - N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot \eta_{\text{Ин.П}} \cdot t}{\eta_{\text{П.НЭ}}}, \text{ кДж}, \quad (3.33)$$

$$W_i = W_{i-1} + N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot t - \frac{N_{\text{Т.ПОЛ}i} \cdot t}{\eta_{\text{ПР.П}}} \cdot \eta_{\text{З.НЭ}} + N_{\text{Т.ОТР}i} \cdot \eta_{\text{Р.Σ}} \cdot t, \text{ кДж}. \quad (3.34)$$

Мгновенное значение полезной энергии ДВС за условный интервал i :

$$W_{\text{ДВС}i} = N_{\text{ДВС}i} \cdot t \cdot K, \text{ кДж}, \quad (3.35)$$

$$W_{\text{ДВС}i} = \frac{N_{\text{Т.ПОЛ}i} \cdot t}{\eta_{\text{ПР.П}}}, \text{ кДж}. \quad (3.36)$$

Энергия, вырабатываемая ДВС за время испытания:

$$W_{\text{ДВСΣ}} = \sum_1^n W_{\text{ДВС}i}, \text{ кДж}. \quad (3.37)$$

Расход топлива:

– в текущем интервале, равном одной секунде

$$B_i = W_{\text{ДВС}i} \cdot g_e, \text{ г} \quad (3.38)$$

– за все время испытания

$$B_{\Sigma} = \frac{\sum_1^n B_i}{1000} \cdot \rho, \text{ л} \quad (3.39)$$

- приведённый за все время испытания

$$B_{100} = \frac{B_{\Sigma} \cdot 100}{S_{\Sigma}}, \text{ л/100 км}. \quad (3.40)$$

Выбросы CO₂:

– в текущем интервале, равном одной секунде

$$M_{CO2i} = \frac{3120 \cdot B_i \cdot 0,75}{1000}, \text{ г} \quad (3.41)$$

– за все время испытания

$$M_{CO2\Sigma} = \frac{\sum_1^n M_{CO2i}}{1000}, \text{ кг} \quad (3.42)$$

– удельные выбросы

$$M_{CO2\text{уд}} = \frac{M_{CO2\Sigma}}{S_\Sigma}, \text{ г/км.} \quad (3.43)$$

Порядок вычислений:

- 1 – ввод характеристики цикла движения: $v_1 \div v_n$; $\alpha_1 \div \alpha_n$;
- 2 – вычисление средней скорости движения цикла по формуле (3.4)
- 3 – вычисление пройденного пути в каждом i -м интервале по формуле (3.5)
- 4 – вычисление пути, пройденного в каждом i -м интервале по формуле (3.6)
- 5 – вычисление ускорения в каждом i -м интервале по формуле (3.7)
- 6 – вычисление веса автомобиля по формуле (3.8)
- 7 – вычисление мощности силы сопротивления качения в каждом i -м интервале по формуле (3.9)
- 8 – вычисление мощности силы сопротивления воздуха в каждом i -м интервале по формуле (3.10)
- 9 – вычисление мощности силы сопротивления инерции в каждом i -м интервале по формуле (3.11)

10 – вычисление мощности силы сопротивления подъема в каждом i -м интервале по формуле (3.12)

10 – вычисление мощности силы тяги на ведущих колесах в каждом i -м интервале по формуле (3.13)

11 – вычисление средней положительной мощности силы тяги на ведущих колесах за весь цикл движения по формуле (3.14)

12 – вычисление средней мощности торможений за весь цикл движения по формуле (3.15)

13 – ввод значений: $K, \eta_{\Gamma}, \eta_{\text{пр}}, \eta_{\text{э}}, \eta_{\text{нэ}}, \eta_{\text{тр}}, \eta_{\text{р}}, g_e$.

14 – вычисление $N_{\text{нэ}i}$: логическое сравнение $N_{\text{Ti}} > N_{\text{т.ср}}$.

14.1 – если «да»: по формуле $N_{\text{нэ}i} = N_{\text{Ti}} - N_{\text{т.ср}}$, кВт;

14.2 – если «нет»: $N_{\text{нэ}i} = 0$, кВт.

15 – вычисление мощности $N_{\text{нэ.ср}}$ по формуле (3.16).

16 – вычисление мощности $N_{\text{пр.ср}}$ по формуле (3.17).

17 – вычисление мощности в цепочке N_1 по формуле (3.18) или (3.19).

18 – вычисление мощности в цепочке N_2 по формуле (3.20).

19 – вычисление мощности в цепочке N_3 по формуле (3.21) или (3.22).

20 – вычисление мощности в цепочке N_4 по формуле (3.23).

21 – вычисление мощности в цепочке $N_{\text{двс}}$ по формуле (3.24) или (3.25).

22 – построение графика мощности $N_{\text{двс}}(t)$.

23 – вычисление мощности $N_{\text{эл.ном}}$ по формуле (3.26) или (3.27).

24 – вычисление коэффициента $K_{\text{пр}}$ по формуле (3.28).

25 – вычисление КПД цепочки заряда ТНЭ ($\eta_{\text{з.нэ}}$) по формуле (3.29).

26 – вычисление КПД цепочки потребления ТНЭ ($\eta_{\text{п.нэ}}$) по формуле (3.30).

27 – вычисление КПД в электрической цепочке привода минуя ТНЭ ($\eta_{\text{пр.п}}$) по формуле (3.31).

28 – вычисление КПД в цепочке рекуперации ($\eta_{p,\Sigma}$) по формуле (3.32).

29 – вычисление энергии в ТНЭ ($W_{\text{ТНЭ}i}$) в каждой i -й точке по формуле (3.33).

30 – ввод максимальной энергии в ТНЭ ($W_{\text{ТНЭ.МАКС}}$) (если «1»).

31 – вычисление энергии в ТНЭ ($W_{\text{ТНЭ}i}$), логическое сравнение «0» или «1».

31.1 – если «1», логическое сравнение $N_{T.\text{ПОЛ}i} - N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot \eta_{\text{ПР.ПР}} > 0$;

31.1.1 – если «да», логическое сравнение:

$$W_{\text{ТНЭ}i-1} - \frac{N_{T.\text{ПОЛ}i} - N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot \eta_{\text{ПР.ПР}}}{\eta_{\text{П.ТНЭ}}} > W_{\text{НЭ.МАКС}};$$

31.1.1.1 – если «да», $W_{\text{ТНЭ}i} = W_{\text{ТНЭ.МАКС}}$;

31.1.1.2 – если «нет», логическое сравнение:

$$N_{T.\text{ПОЛ}i} - N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot \eta_{\text{ПР.ПР}} > 0;$$

31.1.1.2.1 – если «да», вычисление энергии в ТНЭ ($W_{\text{ТНЭ}i}$) по формуле (3.33);

31.1.1.2.2 – если «нет», вычисление энергии в ТНЭ ($W_{\text{ТНЭ}i}$) по формуле (3.34);

31.1.2 – если «нет», логическое сравнение:

$$W_{\text{ТНЭ}i-1} + N_{\text{ДВС}} \cdot K - \frac{N_{T.\text{ПОЛ}i}}{\eta_{\text{ПР.ПР}}} \cdot \eta_{3.\text{НЭ}} + N_{T.\text{ОТР}i} \cdot \eta_{p,\Sigma} > N_{\text{ТНЭ.МАКС}};$$

31.1.2.1 – если «да», $N_i = N_{\text{МАКС}}$;

31.1.2.2 – если «нет», логическое сравнение:

$$N_{T.\text{ПОЛ}i} - N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot \eta_{\text{ПР.ПР}} > 0;$$

31.1.2.2.1 – если «да», вычисление энергии $W_{\text{ТНЭ}i}$ по формуле (3.33);

31.1.2.2.2 – если «нет», вычисление энергии $W_{\text{ТНЭ}i}$ по формуле (3.34);

31.2 – если «0», логическое сравнение:

$$N_{T.\text{ПОЛ}i} - N_{\text{ДВС}} \cdot K \cdot \eta_{\text{ПР.ПР}} > 0;$$

31.2.1 – если «да», вычисление энергии $W_{\text{НЭ}i}$ по формуле (3.33);

31.2.2 – если «нет», вычисление энергии в ТНЭ $W_{\text{ТНЭ}i}$ по формуле (3.34).

32 – построение графика энергии в ТНЭ ($W_{\text{ТНЭ}i}(t)$).

- 33 – логическое сравнение: $W_{\text{мин-нэ}} \geq 0$;
- 33.1 – если «да», «Емкости ТНЭ достаточна!»;
- 33.2 – если «нет», «Недостаточна максимальная емкость ТНЭ!».
- 34 – ввод режима работы ДВС $U_{\text{двс}i}$, ввод значения «0» – ДВС работает постоянно или «1» – отключение ДВС при отсутствии нагрузки:
- 34.1 – если «0», $U_{\text{двс}i} = \text{«заряд»}$;
- 34.2 – если «1», логическое сравнение $N_i < N_{\text{макс}}$;
- 34.2.1 – если «да», $U_{\text{двс}i} = \text{«заряд»}$;
- 34.2.2 – если «нет», $U_{\text{двс}i} = \text{«разряд»}$.
- 35 – вычисление энергии производимой ДВС ($W_{\text{двс}i}$): логическое сравнение $U_{\text{двс}i} = \text{«заряд»}$:
- 35.1 – если «да», логическое сравнение $W_i < W_{\text{макс}}$;
- 35.1.1 – если «да», по формуле (3.35);
- 35.1.2 – если «нет», по формуле (3.36);
- 35.2 – если «нет», энергия $W_{\text{двс}i} = 0$.
- 36 – вычисление энергии произведенной ДВС за цикл ($W_{\text{двс}\Sigma}$) по формуле (3.37).
- 37 – вычисление расхода топлива B_i в каждом i -м интервале по формуле (3.38).
- 38 – построение графика расхода топлива $B(t)$.
- 39 – вычисление расхода топлива за цикл движения B_{Σ} по формуле (3.39).
- 40 – вычисление приведенного расхода топлива B_{100} по формуле (3.40).
- 41 – вычисление мгновенных выбросов $CO_2 M_{CO_2i}$ по формуле (3.41).
- 42 – построение графика зависимости $M_{CO_2}(t)$.
- 43 – вычисление суммарных выбросов $CO_2 M_{CO_2\Sigma}$ по формуле (3.42).
- 44 – вычисление удельных выбросов $CO_2 M_{CO_2\text{уд}}$ по формуле (3.43).

Допущения и ограничения

В расчете коэффициенты полезного действия условно постоянны и соответствуют номинальным значениям. Мощность дополнительных бортовых потребителей задается постоянной. Удельный расход топлива принимается для прогретого ДВС. Влияние низкой температуры на емкость накопителя не учитывается. Уровень заряда ТНЭ в начале и конце испытательного цикла для объективности вычислений задается постоянным. Т.к. степень использования заряда в ТНЭ гибридных автомобилей задается от 30 до 80% должен учитываться запас по его емкости.

3.2 Определение параметров движения автомобилей с разными типами КЭУ

3.2.1 Определение параметров движения автомобилей с комбинированной энергоустановкой последовательного типа

В последовательной схеме КЭУ энергия ДВС передается электрической машине (М/Г1), работающую в режиме генератора. Производимая им электрическая энергия передается тяговому электродвигателю М/Г2, соединенному с ведущими колесами через редуктор. Часть электрической энергии, вырабатываемой М/Г1, используется для заряда тягового накопителя электрической энергии (ТНЭ).

Последовательная схема применяется в легковых гибридных автомобилях, грузовых автомобилях и автобусах. Схема имеет следующие особенности: движение может осуществляться с работающим или выключенным ДВС (обеспечивается возможностью его отключения при малых нагрузках); широкий диапазон регулировки скорости и крутящего момента без ступенчатой трансмиссии обеспечивается за счет управления мощной электрической тяговой машиной; цикличность нагрузок не влияет на режим работы ДВС, что позволяет поддерживать его высокую эффективность; при торможении обеспечивается возможность возврата кинетической энергии движения в

электрическую для повторного использования. Преимуществом последовательной схемы также является простота ее изготовления. Автобусы с КЭУ последовательной схемы создаются на базе троллейбусов, которые дооснащают генераторными установками и системой накопления энергии.

Недостатки у последовательной схемы КЭУ также есть – это отсутствие простой механической связи ДВС с ведущими колесами. По этой причине вся энергия ДВС преобразуется в ЭУ 2 раза. Последовательная схема не будет эффективной в условиях передвижения по длинным пригородным или загородным маршрутам. Минимизация емкости ТНЭ в такой схеме приближает ее к электрической тяговой передаче, которая будет неэффективна из-за необходимости применения ДВС высокой мощности.

Высокая эффективность такой схемы будет при минимизации мощности ДВС КЭУ при эксплуатации в режиме частых разгонов и торможений [114, 119]. Блок-схема общей цепочки потерь в последовательном приводе представлена на рисунке 3.4.

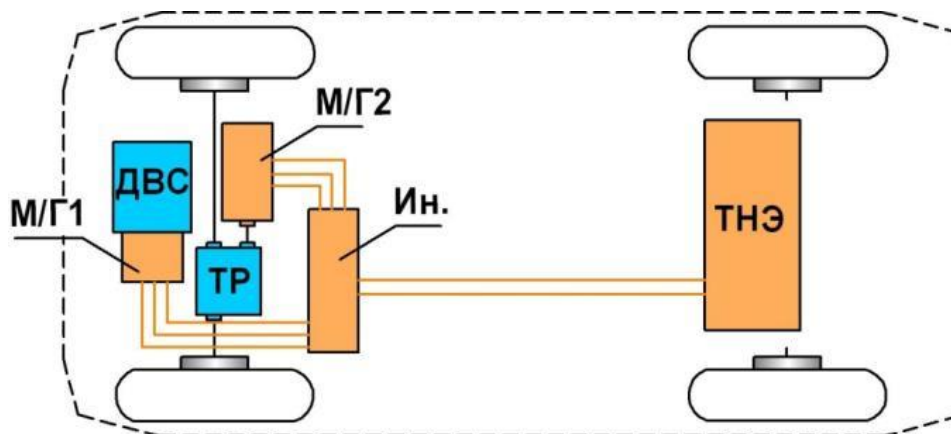


Рисунок 3.4 – КЭУ последовательной схемы: ТР – трансмиссия (редуктор); М/Г1 – генераторная электрическая машина; М/Г2 – тяговая электрическая машина; Ин. – частный преобразователь (инвертор); ТНЭ – тяговый накопитель энергии (аккумуляторная батарея)

В последовательной схеме ДВС всегда работает в оптимальном нагрузочном режиме и не участвует в регулировке скорости движения. Постоян-

ный нагрузочный режим обеспечивается перераспределением потребляемой энергии между тяговым электродвигателем и накопителем энергии. В случае отсутствия достаточной нагрузки, когда автомобиль не разгоняется и ТНЭ заряжен, ДВС должен быть выключен. Это обстоятельство формулирует алгоритм расчетной схемы: вся вырабатываемая ДВС энергия будет потрачена на движение или потери в приводе. Часть потраченной энергии ДВС вернется благодаря рекуперативному торможению.

Схема цепочек передачи энергии в последовательной схеме представлена на рисунке 3.5.

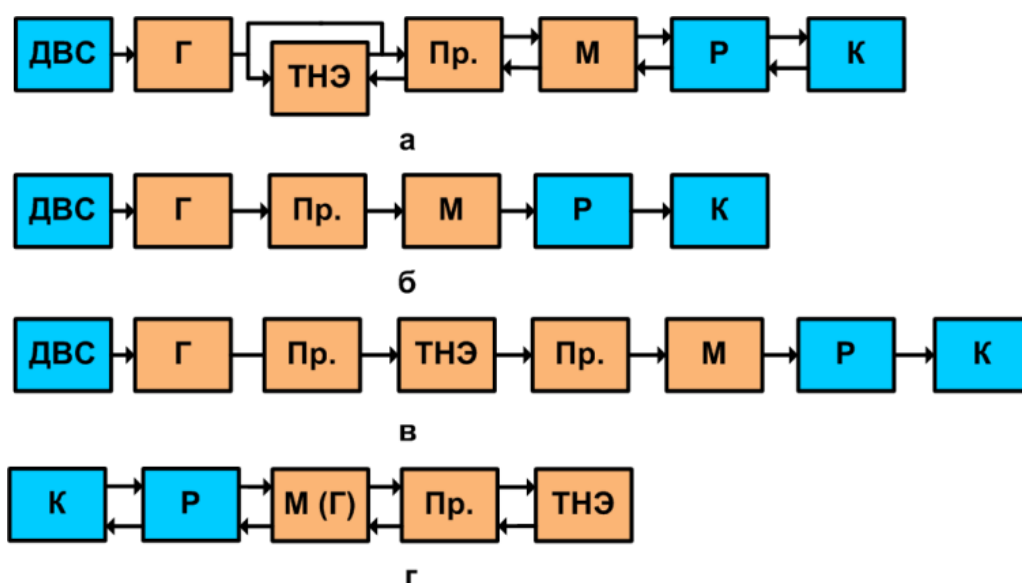


Рисунок 3.5 – Схема цепочек передачи энергии в последовательной схеме:

а) общая цепочка передачи энергии; б) электрическая цепочка;

в) электрическая цепочка с ТНЭ; г) цепочка возврата энергии

при рекуперативном торможении

Исходя из указанных особенностей, выражение мощностного расчета КЭУ будет иметь вид:

$$N_{\text{ДВС}} = \frac{N_{\text{ср.пол}}}{K \cdot \eta_{\Pi}} - N_{\text{т.ср}} \cdot \eta_{\text{Р}} = \frac{N_{\text{пр.ср}} + N_{\text{нэ.ср}}}{K \cdot \eta_{\Pi}} - N_{\text{т.ср}} \cdot \eta_{\text{Р}}, \quad (3.44)$$

где $N_{\text{ДВС}}$ – требуемая мощность ДВС с учетом потерь во всех цепочках привода, кВт; $N_{\text{пр.ср}}$ – средняя мощность энергии, передаваемой по электрической цепочке на ведущие колеса; $N_{\text{нэ.ср}}$ – средняя мощность энергии, проходящей через ТНЭ; K – коэффициент запаса ДВС по мощности (позволяет ДВС работать на наиболее эффективном режиме [30, 140]; η_p – КПД цепочки рекуперации; $\eta_{\text{п}}$ – КПД привода.

Как было отмечено ранее, основной поток энергии в КЭУ последовательной схемы будет проходить по электрической цепочке передачи энергии от ДВС через М/Г1, инвертор и тяговый электродвигатель М/Г2 (рисунок 3.5б). Исходя из этого, формируется уравнение, в котором учитывается КПД рассматриваемых элементов:

$$N_{\text{пр.ср}}(N_1) = N_{\text{ср.пол.}} - N_{\text{нэ.ср}}. \quad (3.45)$$

Прямая мощность с учетом потерь в цепочке привода:

$$N_1 = \frac{N_{\text{пр.ср}}}{K \cdot \eta_{\text{п}}}. \quad (3.46)$$

Средняя мощность в цепочке N_1 с учетом КПД каждого из элементов привода будет равна:

$$N_1 = \frac{N_{\text{ср}} - N_{\text{нэ.ср}}}{K \cdot \eta_{\text{г}} \cdot \eta_{\text{ин}} \cdot \eta_{\text{э}} \cdot \eta_{\text{тр}}}, \quad (3.47)$$

где $\eta_{\text{э}}$ – КПД электрической машины М/Г1; $\eta_{\text{г}}$ – КПД электрической машины М/Г2; $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии; $\eta_{\text{ин}}$ – КПД инвертора.

Далее рассмотрим электрическую цепочку передачи энергии через накопитель (рисунок 3.5в).

Для ее вычисления необходимо вернуться к графику на рисунке 3.3, где представлена кривая изменения средней мощности на участке.

В геометрическом представлении текущая мощность энергии, проходящей через ТНЭ ($N_{\text{НЭ.СРi}}$), будет являться разницей между текущим значением мощности N_i КЭУ и средней положительной мощностью ($N_{\text{ПОЛ.СР}}$) (рисунок 3.3) с условием, что N_i будет больше $N_{\text{ПОЛ.СР}}$:

$$N_{\text{НЭ.СР}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - N_{\text{ПОЛ.СР}})}{n}, \quad (\sum \text{ если } N_i - N_{\text{ПОЛ.СР}} > 0), \quad (3.48)$$

где n – общее число точек на испытуемом участке.

Обозначим эту цепочку N_2 . С учетом КПД мощность N_2 будет равна:

$$N_2 = \frac{N_{\text{НЭ.СР}}}{K \cdot \eta_{\text{П}}}, \quad (3.49)$$

где $\eta_{\text{П}}$ – КПД всего привода. С учетом КПД каждого из элементов привода N_2 будет равна:

$$N_2 = \frac{N_{\text{НЭ.СР}}}{K \cdot \eta_{\text{Г}} \cdot \eta_{\text{ПР}} \cdot \eta_{\text{ТНЭ}} \cdot \eta_{\text{Э}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}. \quad (3.50)$$

Рассмотрим цепочку передачи энергии при рекуперации. Некоторое количество энергии, потраченное на увеличение кинетической энергии движения автомобиля, вернется при рекуперативном торможении в ТНЭ, откуда снова будет потрачено на движение. Таким образом рекуперированная энергия будет дважды проходить через М/Г2 и инвертор (рисунок 3.5г).

Обозначим мощность при рекуперации как N_3 . В общем виде N_3 будет равна:

$$N_3 = N_{\text{Т.СР}} \cdot \eta_{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ПР}}, \quad (3.51)$$

где $\eta_{\text{Р}}$ – КПД рекуперации.

С учетом потерь в каждом из элементов цепочки N_3 будет равна:

$$N_3 = N_{\text{Т.СР}} \cdot \eta_{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТР}}^2 \cdot \eta_{\text{Э(Г)}} \cdot \eta_{\text{ПР}}^2 \cdot \eta_{\text{ТНЭ}} \cdot \eta_{\text{Э}}. \quad (3.52)$$

Сумма мощностей в каждой из цепочек передачи энергии будет равна мощности ДВС комбинированной энергоустановки. При этом N_3 будет указана со знаком «–».

$$N_{\text{ДВС}} = N_1 + N_2 - N_3. \quad (3.53)$$

Для обеспечения работы ДВС в режиме минимального удельного расхода топлива его мощность должна находиться в диапазоне 70–80 % от максимальной. Таким образом, представленные зависимости, объединенные в алгоритм, позволяют вычислить необходимую мощность ДВС комбинированной энергоустановки последовательного типа с заданными характеристиками.

Представленные алгоритмы расчета легли в основу методики расчета, позволяющей вычислять текущие параметры движения и эксплуатационные свойства автомобиля с КЭУ последовательного типа.

Произведен ряд вычислений с помощью полученной методики оценки. Смоделировано движение автомобиля категории M_1 массой 1500 кг, движущегося по испытательному циклу NEDC. Из теоретического эксперимента установлено, что максимальная мощность ДВС комбинированной энергоустановки последовательного типа в таком случае составит 4,84 кВт при среднем расходе топлива 5,26 л/100 км [77, 87, 97, 104].

3.2.2 Определение параметров движения автомобилей с комбинированной энергоустановкой параллельного типа

Параллельная типовая схема КЭУ включает в себя ДВС, энергия от которого передается через механическую передачу на ведущие колеса автомо-

бия. Ввиду наличия механической связи механическая передача должна иметь изменяемое передаточное отношение, реверс, сцепление и нейтральную передачу. Параллельно механической передаче в одной из осей привода располагается электрическая машина переменного тока МГ, работающая в зависимости от условий в режиме генератора или электродвигателя (рисунок 3.6). Часть энергии ДВС при работе привода будет преобразовываться в МГ в электрическую энергию и накапливаться в тяговой аккумуляторной батарее (ТНЭ), емкость которой значительно меньше, чем в последовательной схеме.

В большинстве случаев движение автомобиля обеспечивается за счет механической передачи, как и на автомобиле с ДВС. Однако при ускорениях МГ, работая совместно с ДВС, помогает уменьшить на него нагрузку, тем самым уменьшая диапазон неэффективных режимов работы и увеличивая крутящий момент на ведущих колесах [123]. Наличие тягового электропривода также обеспечивает режим рекуперативного торможения. В ряде автомобилей с последовательной КЭУ электрическая машина заменяет стартер ДВС и генератор бортовой электросети, что упрощает конструкцию энергоустановки.

Недостатками последовательной схемы КЭУ является отсутствие возможности движения с выключенным ДВС, наличие сложной механической трансмиссии, большая мощность ДВС, работающего в широком неэффективном диапазоне нагрузочных режимов.

Параллельная схема КЭУ (рисунок 3.6) хорошо подходит для движения по скоростным циклам (пригородный городской режим). Концепция параллельной схемы: минимальная стоимость компонентов электрического привода при сохранении существующей трансмиссии.

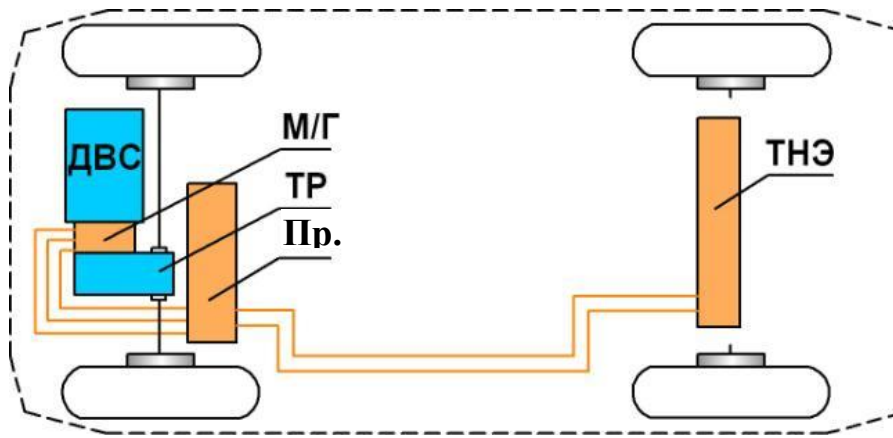


Рисунок 3.6 – Схема КЭУ параллельного типа: Пр. – преобразователь; ТНЭ – тяговый накопитель энергии; ТР – трансмиссия; М/Г – электродвигатель-генератор

В энергоустановке сохраняется полноценная трансмиссия, позволяющая передавать всю мощность от ДВС на ведущие колеса [13]. Электрическая машина синхронного типа в такой схеме встраивается вместо маховика между ДВС и трансмиссией. Тяговая АКБ малой емкости (как правило, не более 2 кВт·ч) не позволяет обеспечивать длительное движение на одной электротяге. Электрический привод работает при ускорениях, обеспечивает частичную рекуперацию энергии при торможениях, обеспечивает запуск ДВС и является источником энергии для бортовых электропотребителей.

Параллельная схема применяется во всех Российских автомобилях August, в ряде энергоустановок Китайских автомобилей Geely, Tank.

Электрическая машина переменного тока в параллельной схеме работает в режиме электродвигателя, когда происходит ускорение и емкости в накопителе энергии достаточно, т.е. достаточно непродолжительное время. Режим заряда возможен в режиме торможения и при работе ДВС с частичной нагрузкой [115].

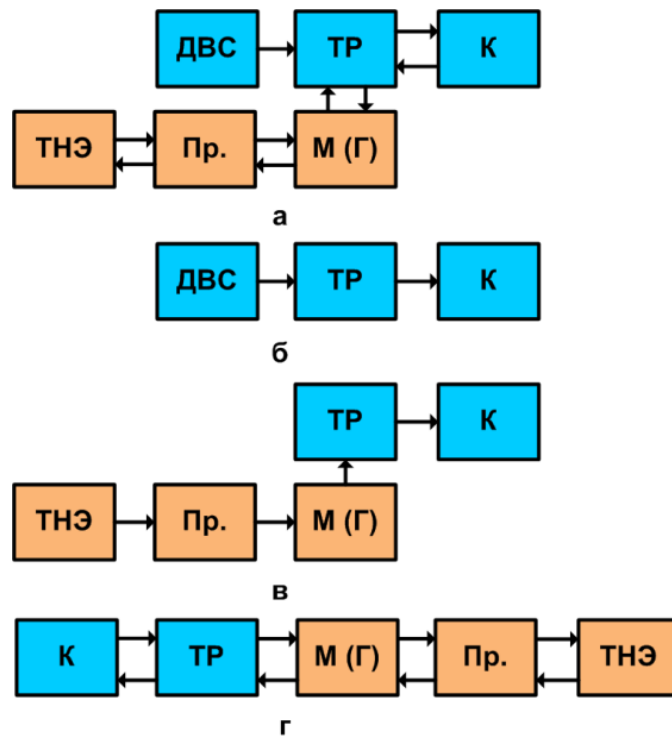


Рисунок 3.7 – Схемы цепочек передачи энергии в параллельной схеме КЭУ:
а) общая схема; б) механическая цепочка; в) цепочка электропривода при разгоне; г) цепочка рекуперации при рекуперативном торможении

Электрическая машина, расположенная между ДВС и механической трансмиссией работает в режиме генератора или электродвигателя, обеспечивая заряд или разряд ТНЭ.

Большая часть энергии в параллельной схеме будет передаваться по механической цепочке потерь. Мощность этой цепочки $N_{\text{пр.ср}}$ будет определяться как среднее положительное значение мощности на ведущих колесах ($N_{\text{ср.пол}}$) за испытание за вычетом средней мощности пиковых значений выше $N_{\text{ср.пол}}$, которые обеспечиваются электроприводом (рисунок 3.7а).

$$N_{\text{пр.ср}} = N_{\text{ср.пол}} - N_{\text{эл.ср}}, \quad (3.54)$$

или находится как

$$N_{\text{ср.пол}} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i}{n} \cdot (\sum \text{если } N_i > 0), \quad (3.55)$$

Схема передачи энергии в цепочке механической передачи показана на рисунке 3.7б. Назовем эту цепочку N_1 . Передача энергии от ДВС по механической цепочке N_1 выражается формулой

$$N_1 = \frac{N_{\text{ср.пол}}}{K \cdot \eta_{\text{тр}}} . \quad (3.56)$$

Рассмотри цепочку передачи энергии через тяговый накопитель (ТНЭ) в КЭУ параллельной схемы (рисунок 3.7в). Основным критерий алгоритма здесь основан на том, что пиковые нагрузки при ускорении должны быть компенсированы электроприводом, т.е. в любой момент времени, когда мгновенная мощность на ведущих колесах N_i больше, чем средняя положительная ($N_{\text{ср.пол}}$).

Средняя мощность, проходящая через ТНЭ, будет рассчитываться по формуле:

$$N_{\text{эл.ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i - N_{\text{ср.пол}})}{n} , \quad (\sum \text{если } N_i - N_{\text{ср.пол}} > 0), \quad (3.57)$$

где n – количество значений, удовлетворяющих условию $N_i > N_{\text{ср.пол}}$ (ТНЭ задействован).

В цепочке ТНЭ, условно обозначенной N_2 , поток электрической энергии проходит дважды через МГ, инвертор и один раз через трансмиссию. С учетом КПД элементов привода и обеспечения работы ДВС на режиме с минимальным удельным расходом топлива, который учитывается коэффициентом (K) мощность в цепочке ТНЭ будет рассчитываться по формуле:

$$N_2 = \frac{N_{\text{эл.ср}}}{K \cdot \eta_{\text{МГ}}^2 \cdot \eta_{\text{ин.}}^2 \cdot \eta_{\text{ТНЭ}} \cdot \eta_{\text{тр}}} . \quad (3.58)$$

Рассмотрим цепочку передачи энергии при рекуперации. Некоторое количество энергии ДВС, потраченное на увеличение кинетической энергии движения автомобиля, вернется при рекуперативном торможении в ТНЭ, откуда снова будет потрачено на движение. Таким образом рекуперированная энергия будет дважды проходить через М/Г2 и инвертор (рисунок 3.7г). Мощность рекуперированной энергии, назовем ее N_3 , будет рассчитываться исходя из средней отрицательной энергии $N_{\text{ср.отр.}}$. С учетом КПД каждого из элементов привода она будет рассчитываться по формуле:

$$N_3 = N_{\text{Т.С.}} \cdot \eta_{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{ТР}}^2 \cdot \eta_{\text{Г}} \cdot \eta_{\text{ГПР}}^2 \cdot \eta_{\text{НЭ}} \cdot \eta_{\text{М}} . \quad (3.59)$$

Сумма мощностей в каждой из цепочек передачи энергии будет равна мощности ДВС комбинированной энергоустановки. При этом N_3 будет указана со знаком «–».

$$N_{\text{ДВС}} = N_1 + N_2 - N_3 . \quad (3.60)$$

ДВС в параллельной схеме не работает в стационарном режиме, поэтому нет необходимости обеспечивать его запас по мощности, как в последовательной схеме. Таким образом, представленные зависимости, объединенные в алгоритм, позволяют вычислить необходимую мощность ДВС комбинированной энергоустановки параллельного типа с заданными характеристиками.

Представленные алгоритмы расчета легли в основу методики оценки, позволяющей вычислять текущие параметры движения и эксплуатационные свойства автомобиля с КЭУ параллельного типа.

Произведен ряд вычислений с помощью полученной методики оценки [86, 87, 97, 104]. Произведена оценка автомобиля категории M_1 массой 1500 кг, движущегося по испытательному циклу NEDC. Из теоретического эксперимента установлено, что максимальная мощность ДВС комбинированной энергоустановки параллельного типа в таком случае составит 9,1 кВт,

что на 88 % больше, чем в последовательно схеме. Средний расход топлива для заданного цикла и типа автомобиля в параллельной схеме составил 5,6 л/100 км, что на 7 % больше, чем в последовательной схеме.

3.2.3 Определение параметров движения автомобилей с комбинированной энергоустановкой последовательно-параллельного типа

Последовательно-параллельная (смешанная) схема КЭУ ДВС соединяется с ведущими колесами механическим путем. Коробка переменных передач в такой схеме может быть, но, как правило, она заменяется механическим распределителем мощности планетарного типа (УСМ) [47]. На одной из осей привода ведущей оси установлена трехфазная электрическая машина переменного тока (М/Г2) достаточной мощности, чтобы самостоятельно разгонять автомобиль. Питание для М/Г2 осуществляется от трехфазной электрической машины М/Г1, подсоединенной через УСМ к ДВС параллельно. В цепочке между М/Г1 и М/Г2 имеется тяговый накопитель энергии (ТНЭ). Смешанная схема сочетает в себе последовательную и параллельную.

При ускорении автомобиля энергия на ведущие колеса поступает как от ДВС механическим путем, так и от ТНЭ, питающего М/Г2, таким образом обеспечивается высокий крутящий момент при разгоне, начиная с неподвижного состояния ведущих колес. Часть энергии от ДВС может также поступать на ведущие колеса через электрическую передачу минуя ТНЭ.

При движении с постоянной скоростью большая часть энергии от ДВС передается на ведущие колеса механическим путем, что сокращает потери при передаче энергии. ДВС в смешанной схеме всегда нагружен и работает в оптимальном режиме во всем диапазоне скоростей и нагрузок.

При отсутствии необходимой нагрузки на ведущих колесах ДВС выключается и движение происходит за счет энергии ТНЭ до ее окончания. Тяговый электропривод также обеспечивает рекуперацию энергии при торможении.

В смешанной схеме задача создания условий достижения максимальной эффективности ДВС решается наиболее успешно. Потери на преобразование энергии в целом также достаточно малы. Все это позволяет достигать высокой экономичности КЭУ смешанной схемы в целом.

КЭУ смешанного типа представлены в России компаниями Toyota, Lexus, Haval, Chery. Это наиболее популярный тип комбинированных энергоустановок [109].

КЭУ смешанного типа имеет два электродвигателя-генератора (М/Г1 и М/Г2), инверторы управления ими (Ин. 1, Ин. 2), устройство смешения мощности (УСМ), тяговый накопитель электрической энергии и ДВС (рисунок 3.8). М/Г1 связан с коленчатым валом двигателя солнечным зубчатым колесом планетарной передачи УСМ. М/Г2 связан с ведущей осью и коронным зубчатым колесом планетарной передачи УСМ. Вырабатываемая ДВС энергия может направляться на ведущие колеса по механической или электрической цепочке. Также при движении ДВС может быть полностью выключен. КЭУ смешанного типа сочетает в себе последовательную и параллельную схему и имеет некоторые особенности расчета.

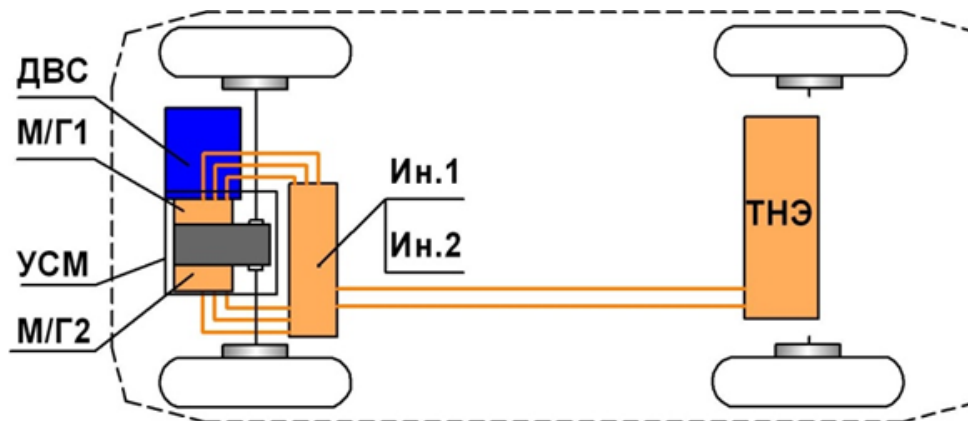


Рисунок 3.8 – Схема КЭУ смешанного типа

Исходными данными для расчета смешанной схемы КЭУ также является тягово-мощностной расчет (рисунок 3.9). Согласно теории движения автомобиля сумма сил сопротивления, действующая на автомобиль равна силе тяги на ведущих колесах. [17, 18]:

$$N_C(t) = N_T(t). \quad (3.61)$$

КЭУ смешанного типа может работать и как последовательная, и так параллельна. Т.е. часть энергии ДВС может одновременно передаваться механическим путем через трансмиссию и через электропривод в разных долях, зависящих от конструктивных особенностей энергоустановки. Как правило на электропривод приходится от 25 до 30% передаваемой от ДВС мощности. Смешение мощности происходит разными путями. В не подзаряжаемых энергоустановках автомобилей Toyota, с помощью планетарной передачи. В подзаряжаемых энергоустановках компании Chery, Great Wall, BYD – с помощью ряда фиксированных передач с многодисковыми автоматическими сцеплениями.



Рисунок 3.9 – Изменения мощности силы тяги
на ведущих колесах автомобиля

Условно принято, что вся энергия в смешанной схеме передается по четырем цепочкам N_1-N_4 : электропривода; ТНЭ, механической, электропривода при рекуперации [93]:

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 - N_4. \quad (3.62)$$

В соответствии с распределением энергии мощностью в цепочках передачи энергии будет равна:

$$N_1 = 0,28 (N_{T,i} - N_{НЭ,ср}), \quad (3.63)$$

$$N_2 = N_{T,i} - N_{\text{CP.ПОЛ}}, \quad (3.64)$$

$$N_3 = 0,72 (N_{T,i} - N_{\text{НЭ.СР}}), \quad (3.65)$$

$$N_4 = N_{T.\text{СР}}. \quad (3.66)$$

где $N_{T,i}$ – средняя сила тяги на ведущих колесах при испытаниях; $N_{\text{НЭ.СР}}$ – средняя мощность энергии, проходящей через ТНЭ; $N_{\text{CP.ПОЛ}}$ – средняя мощность силы тяги на ведущих колесах автомобиля на всем участке; $N_{T.\text{СР}}$ – средняя мощность торможений за испытание.

Проведем анализ цепочки N_1 . Часть энергии ДВС преобразуется в электрическую энергию переменного тока, далее после выпрямления в постоянный ток поступает через преобразователь (инвертор) в М/Г1, связанный с ведущей осью.

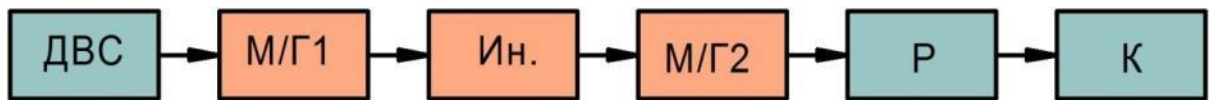


Рисунок 3.10 – Блок-схема цепочки передачи энергии N_1 ,
 где М/Г1, М/Г2 – электрические машины переменного тока;
 Ин. – инвертор; Р – редуктор; К – колеса ведущей оси

Мощность, передаваемая по первой цепочке, равна $N_{\text{ГСУ},i}$ за вычетом переданной через накопитель энергии, с учетом потерь в каждом из элементов привода:

$$N_1 = \frac{0,28 (N_{T,i} - N_{\text{НЭ.СР}})}{\eta_{\text{МГ1}} \cdot \eta_{\text{Ин.}}^2 \cdot \eta_{\text{МГ2}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}, \text{ кВт}, \quad (3.67)$$

где $\eta_{\text{МГ1}}$, $\eta_{\text{МГ2}}$ – КПД в первом и втором МГ, $\eta_{\text{Ин.}}$ – КПД инвертора, $\eta_{\text{ТР}}$ – КПД трансмиссии.

Вернемся к графику на рисунке 3.9. Как и в предыдущих типовых схемах, мощность ДВС должна быть равна средней потребляемой мощности N_{CP} на движение по заданному циклу с учетом потерь в приводе. Все пики выше этой линии должны обеспечиваться ТНЭ. Таким образом, средняя мощность пиковых нагрузок (находящихся выше линии N_{CP}) должна соответствовать средней мощности проходящей через ТНЭ. Сформулируем это условие выражением

$$N_2 = \frac{\sum_{i=1}^n (N_{T,i} - N_{\text{CP}})}{n}, \text{ (сумма, если } N_i > N_{\text{CP}} > 0), \quad (3.68)$$

с учетом КПД каждого из элементов цепочки передачи энергии (рисунок 3.11):

$$N_2 = \frac{N_{\text{ТНЭ.СР}}}{\eta_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{Ин.}}^2 \cdot \eta_{\text{ТНЭ}} \cdot \eta_{\text{МГ2}} \cdot \eta_{\text{ТР}}}, \quad (3.69)$$

где $N_{\text{ТНЭ}}$ – КПД тягового накопителя энергии.

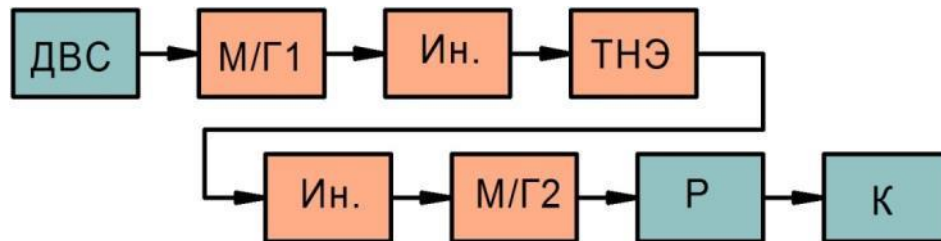


Рисунок 3.11 – Блок-схема цепочки передачи энергии N_2 , где М/Г1, М/Г2 – электрические машины переменного тока; Ин. – инвертор; ТНЭ – тяговый накопитель энергии; Р – редуктор; К – колеса ведущей оси

В алгоритме вычисления мощности в цепочки N_2 должны быть учтены: текущий уровень заряда ТНЭ, ограничение максимальной мощности энергии, принимаемой ТНЭ, фактический режим работы ДВС [93].

Далее рассмотрим механическую цепочку передачи энергии (рисунок 3.12). Как было отмечено ранее, большая часть механической энергии передается на ведущие колеса механическим путем через планетарный редуктор и ряд цилиндрических зубчатых колес. Согласно этому описанию цепочка передачи энергии будет иметь следующий вид:



Рисунок 3.12 – Блок-схема передачи энергии в механической цепочке N_3

С учетом доли, указанной автопроизводителями КЭУ, через механическую цепочку передается 72 % энергии ДВС. С учетом потерь в цепочке зависимость мощность в цепочке N_3 будет находится по формуле:

$$N_3 = \frac{0,72 (N_{T.i} - N_{HЭ.СР})}{\eta_{ТР}}, \text{ кВт}, \quad (3.70)$$

где $\eta_{ТР}$ – потери в трансмиссии.

Цепочка передачи энергии при рекуперации такая же как и в последовательной и параллельных схемах (рисунок 3.13).



Рисунок 3.13 – Блок-схема передачи энергии при рекуперативном торможении в цепочке N_4

С учетом потерь в каждом из элементов мощность в цепочке N_4 будет равна:

$$N_4 = N_{\text{Т.СР}} \cdot \eta_{\text{Р}} \cdot \eta_{\text{Ин.}}^2 \cdot \eta_{\text{Р}}^2 \cdot \eta_{\text{М/Г2}}^2 \cdot \eta_{\text{ТНЭ}}, \text{ кВт}, \quad (3.71)$$

где $\eta_{\text{Р}}$ – КПД рекуперации [93].

Сумма мощностей в каждой из цепочек передачи энергии будет равна мощности ДВС комбинированной энергоустановки. При этом N_4 будет указана со знаком «–».

$$N_{\text{ДВС}} = N_1 + N_2 + N_3 - N_4. \quad (3.72)$$

ДВС в смешанной схеме не работает в квазистационарном режиме, т.е. его режим работы должен соответствовать минимальному удельному расходу топлива. Такой режим достигается при нагрузках 70–80 %.

Представленные зависимости, объединенные в алгоритм, позволяют вычислить необходимую мощность ДВС комбинированной энергоустановки смешанного типа с заданными характеристиками.

Представленные алгоритмы расчета легли в основу методики оценки, позволяющей вычислять текущие параметры движения и эксплуатационные свойства автомобиля с КЭУ смешанного типа.

Произведен ряд вычислений с помощью полученной методики оценки [67, 87, 97, 104]. Имитировано движение автомобиля категории M_1 массой 1500 кг, движущегося по испытательному циклу NEDC. Из теоретического эксперимента установлено, что максимальная мощность ДВС комбинированной энергоустановки смешанного типа в таком случае составит 4,2 кВт. Средний расход топлива для заданного цикла и типа автомобиля в схеме составил 5,1 л/100 км, что является наименьшим среди всех типовых схем.

Оценка расхода топлива с помощью разработанного метода учитывает цикл движения автомобилей, существенно влияющий на эффективность гибридного автомобиля.

При частых разгонах и торможениях на низкой скорости минимальный расход топлива будет обеспечиваться гибридными автомобилями с КЭУ по-

следовательного типа, в которой ДВС может работать в квазистационарном режиме с минимальным удельным расходом топлива, а электрический двигатель хорошо приспособлен для разгонов. Примером гибридных автомобилей с такой КЭУ является собираемый в России Evolute i-Space PHEV 1.5.

При длительном движении с высокой скоростью и смешанном городском и пригородном режимах минимальный расход будут обеспечивать смешанные схемы КЭУ. В настоящее время такой тип схемы используются на автомобилях Chery Tiggo 7(8) Pro e+, Changan UNI-K iDD1.5, Voyah Dream 1.5 PHEV. Компромиссным и более простым решением с точки зрения внедрения является КЭУ параллельного типа, обеспечивающая большую по сравнению с ДВС, но меньшую по сравнению с другими типами КЭУ экономичность. Примером таких автомобилей служат Geely Atlas Pro и семейства Augus.

Частным случаем является движение с постоянной скоростью, что характерно для загородных участков. Холостой ход и торможение в таком цикле отсутствует. В таких условиях эффективность энергоустановки будет зависеть в большей степени от первоисточника энергии – ДВС.

Таким образом, разработанные алгоритмы, позволяют объективно оценить топливную экономичность и выбросы CO_2 автомобиля с заданным типом КЭУ при движении по заданному циклу. Также разработанные модели позволяют оценить влияние емкости тягового накопителя энергии, мощности тягового электропривода и мощности ДВС на топливную экономичность автомобиля, что также важно для априорной оценки его эксплуатационных свойств [16].

3.2.4 Оценка влияния емкости накопителя энергии комбинированной энергоустановки на топливную экономичность автомобиля

Тяговый накопитель энергии (НЭ) является одним из основных элементов комбинированной энергоустановки. Благодаря НЭ ДВС имеет возмож-

ность работать на более эффективном скоростном и нагрузочном режиме, увеличиваются тягово-динамические свойства автомобилей, движение без нагрузки осуществляется с выключенным ДВС, обеспечивается рекуперативное торможение с возвратом и повторным использованием кинетической энергии автомобиля. В настоящее время ведутся работы по оптимизации накопителя энергии гибридных и электрических автомобилей [236]. Разработанные алгоритмы оценки эксплуатационных свойств позволяют оценивать влияние емкости НЭ на тягово-скоростные, экологические свойства и топливную экономичность автомобиля [100]. При математическом описании работы системы с накоплением энергии необходимо перейти от мощностного к энергетическому балансу.

При переходе на энергии уравнение мощностного баланса будет иметь вид:

$$W_{\Pi} = \int_0^t N_{\text{ДВС}i}(t)dt + \int_0^t N_{\text{НЭ}i}(t)dt - \int_0^t N_{\text{Р}i}(t)dt \quad (3.73)$$

Баланс мощности за все время движения Т:

$$\sum W_{\Pi} = \sum \int_0^t N_{\text{ДВС}i}(t)dt + \sum \int_0^t N_{\text{НЭ}i}(t)dt - \sum \int_0^t N_{\text{Р}i}(t)dt \quad (3.74)$$

С учетом КПД всех цепочек привода:

$$\sum W_{\Pi} = \sum \int_0^t \frac{N_{\Pi}}{\eta_{\text{Т}}}(t)dt + \sum \int_0^t \frac{N_{\text{НЭ}i}}{\eta_{\text{НЭ}}}(t)dt - \sum \int_0^t \frac{N_{\text{Р}i}}{\eta_{\text{Р}}}(t)dt \quad (3.75)$$

Двигатель внутреннего сгорания в не подзаряжаемых гибридных автомобилях является единственным первоисточником энергии энергоустановки. Часть его энергии преобразуется в электричество и накапливается в бортовом накопителе (буфере). Тяговый электрический двигатель использует эту накопленную энергию для вращения ведущих колес.

Уравнение накопления энергии в бортовом накопителе в режиме непрерывного вычисления:

$$W_{\text{НЭ}i} = W_{\text{НЭ}i-1} + N_{\text{ДВС}i} \cdot t_i - N_{\text{П}i} \cdot t_i + N_{\text{Р}i} \cdot t_i \quad (3.76)$$

Условия движения с выключенным ДВС будут описываться как:

$$\left\{ \begin{array}{l} W_{\text{НЭ}i} \geq 0,5W_{\text{НЭ.МАКС}} \\ N_{\text{П}i} < N_{\text{НЭ.МАКС}} \\ T_{\text{ДВС}} \geq T_{\text{ДВС.ПРОГР}} \end{array} \right. \quad (3.77)$$

где $W_{\text{НЭ}i}$ – энергия в НЭ в текущий момент времени; $W_{\text{НЭ}i-1}$ – энергия в НЭ в предыдущий момент времени; $W_{\text{НЭ.МАКС}}$ – максимальная энергия в НЭ; $N_{\text{НЭ.МАКС}}$ – максимальная мощность НЭ; $T_{\text{ДВС}}$ – текущая температура двигателя; $T_{\text{ДВС.ПРОГР}}$ – температура прогретого двигателя.

При рекуперации энергии ДВС не заряжает ТНЭ ($N_{\text{ДВС}} = 0$).

Условие рекуперации энергии.

Как отмечено ранее максимальная мощность рекуперации ($N_{\text{Р.МАКС}}$) ограничена характеристиками ТНЭ и электропривода, а также зависит от теплового режима аккумуляторов. При чрезмерно высокой или низкой температуре мощность в цепи заряда-разряда будет снижаться системой контроля ТНЭ.

$$N_{\text{Р.МАКС}} \leq N_{\text{НЭ.МАКС}} \cdot \eta_{\text{Р}} \cdot k_{\text{ТЕМП}}, \quad (3.78)$$

где $k_{\text{ТЕМП}}$ – коэффициент учитывающий температуру ТНЭ.

Максимальная емкость и мощность ТНЭ может быть определена характеристиками заводов-изготовителей. При необходимости в расчета эти данные могут учитываться для корректировки оценки расхода топлива.

$$N_{\text{НЭ.МАКС}} = N_{\text{П.МАКС}} - N_{\text{ДВС.МАКС}}. \quad (3.79)$$

От емкости накопителя энергии КЭУ также зависит продолжительность приема энергии при рекуперации, а также мощность и продолжительность разряда. Поэтому важной задачей является установление влияния характеристик буферного накопителя энергии на топливную экономичность автомобиля. Для этого использованы алгоритмы метода прогнозирования расхода топлива. В таблице 3.1. представлены результаты оценки влияния максимальной емкости ТНЭ на расход топлива.

Таблица 3.1 – Влияние емкости ТНЭ на топливную экономичность гибридного автомобиля*

Запас энергии в тяговом накопителе КЭУ гибридного автомобиля, МДж	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Максимальная мощность ДВС, развиваемая при испытании, кВт	14,0	9,0	7,3	6,0	5,3	5,25	5,2
Расход топлива, л/100 км	9,6	8,9	6,8	5,6	4,0	3,8	3,8

* исходные параметры: масса автомобиля – 1500 кг; низкоскоростной участок цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021); типовая схема КЭУ – смешанная.

Результаты, прогнозирования приведенные в таблице 3.1 показывают, что при достижении емкости накопителя энергии 0,5-0,6 МДж расход топлива стабилизируется на уровне 3,8 л/100 км что соответствует выбросам CO_2 94 г/км. Результаты прогнозирования сопоставимы с характеристиками гибридного автомобиля Тойота Приус, имеющего ТНЭ с запасом 3,6 МДж с возможностью использования половины от этой энергии, а также с характеристиками автомобиля Джили Атлас Про, имеющего ТНЭ, емкостью 0,38 МДж также с возможностью использования половины этого запаса.

3.3 Верификация разработанных алгоритмов прогнозирования топливной экономичности гибридного автомобиля

Отладка мощностного расчета.

Отладка программы расчета производится путем задания разных исходных данных и последующей проверкой с помощью зависимостей теории движения автомобиля.

Верификация алгоритмов мощностного расчета производится путем ввода данных значений автомобилей с известными заводскими характеристиками.

Мощность сопротивления воздушного потока имеет большие значения на высоких скоростях. Для отладки задается постоянная максимальная скорость автомобиля. Если рассчитанное значение суммарной мощности на ведущих колесах с учетом КПД трансмиссии отличается от заводской максимальной более чем на 3 %, вводится поправка на площадь поперечного сечения автомобиля и коэффициент обтекаемости.

Мощность силы сопротивления инерции имеет наибольшие значения при разгонах. Для верификации ее расчета вводится разгонная характеристика автомобиля с известными заводскими параметрами. Если при сравнении полученного значения максимальной мощности на ведущих колесах с учетом КПД трансмиссии и заводского значения максимальной мощности разница составила более 3 %, вводится корректирующий коэффициент для вычисления мощности силы сопротивления инерции.

Отладка вычислений параметров КЭУ производится путем сравнения результатов расчета с результатами проверки в режиме ручного вычисления. После устранения ошибок выполняется верификация путем задания характеристик известных гибридных автомобилей и сравнения полученного расхода топлива с заводскими значениями в режимах испытательного цикла и движе-

ния с одинаковой скоростью. При отклонении результатов расчета от заводских значений производится перепроверка в ручном режиме и при необходимости вводится поправочный коэффициент на удельный расход топлива двигателя.

3.4 Результаты анализа эксплуатационных свойств автомобилей с различными типами энергоустановок

В качестве исходных данных заданы параметры легкового автомобиля категории $M_1(N_1)$ (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Заданные характеристики автомобиля

Задаваемый параметр, единицы измерения	Величина
Масса автомобиля, кг	1500
Коэффициент сопротивления качению	0,016
Площадь поперечного сечения кузова, м ²	1,9
Коэффициент аэродинамического сопротивления кузова	0,3
Коэффициент учёта вращающихся масс	1,05
Удельный расход топлива ДВС, мл·кВт/ч	250

В качестве оцениваемого участка использован стандартный испытательный ездовой цикл ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021), состоящий из 4-х участков. Оценка произведена для автомобиля массой 1500 кг. В Приложении В представлены результаты оценки мощности, развиваемой ЭУ, топливной экономичности автомобиля, выбросов CO_2 , изменения энергии в ТНЭ для разных типов ГУЭ и ДВС на разных участках стандартного ездового цикла.

Результаты оценки параметров движения для низкоскоростного и среднескоростного участков цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Результаты расчета характеристик КЭУ (расхода топлива, выбросов CO_2), а также основных параметров ЭУ в зависимости от цикла движения

Показатель*	Низкоскоростной участок				Среднескоростной участок			
	Тип энергоустановки**							
	Комбинированная ЭУ			ДВС	Комбинированная ЭУ			ДВС
	посл.	паралл.	смеш.		посл.	паралл.	смеш.	
$N_{\text{ДВС}}$, кВт	5,24	10,4	5,34	27,1	11,96	16,9	11,7	36,9
$N_{\text{ЭЛДВ}}$, кВт	17,6	16,4	16,6	–	24	20,4	20,5	–
$W_{\text{НЭ}}$, кДж	528	361	461	–	678	374	515	–
$Q_{\text{П}}$, л/100 км	5,1	5,4	4,9	9,91	5,3	5,41	5,0	8,93
CO_2 , г/км	120	127	115	232	125	127	117	209

* $N_{\text{ДВС}}$ – требуемая мощность ДВС; $N_{\text{ЭЛДВ}}$ – требуемая мощность электродвигателя; $W_{\text{НЭ}}$ – максимальная запасаемая энергия в накопителе; $Q_{\text{П}}$ – приведенный расход топлива; CO_2 – удельные выбросы углекислого газа.

**посл. – КЭУ последовательного типа; паралл. – КЭУ параллельного типа; смеш. – КЭУ смешанного типа.

В Приложении В представлены результаты расчета энергии в накопителе, расхода топлива и выбросов CO_2 для всех 3-х типов КЭУ при движении циклу ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) и отдельным его участкам.

Расчеты показали, что автомобиль с КЭУ при движении по низкоскоростному и среднескоростному циклу имеет расход топлива меньше на 30–40 %, чем аналогичный с энергоустановкой на основе ДВС. При этом выбросы CO_2 снижаются до 110–120 г/км (для сравнения ДВС – 230 г CO_2 /км).

3.5 Рекомендации по использованию метода оценки расхода топлива гибридных автомобилей

Метод прогнозирования реализован в алгоритмах программы «КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения» [186]. Метод позволяет производить априорную оценку расхода топлива гибридных автомобилей при неизвестном экс-

плуатационном расходе топлива в заданных условиях эксплуатации (городской режим, загородный или смешанный).

При исследовании транспортных средств категории M_1 рекомендуется задавать в исходных данных снаряженную массу автомобиля. При исследовании транспортных средств категории M_2 , M_3 , N_1 рекомендуется задавать в исходных данных массу транспортного средства со средней загрузкой (пассажиры, масса груза).

При оценке топливной экономичности гибридных автомобилей начальное $W_{НЭ.НАЧ}$ и конечное $W_{НЭ.КОНЕЧ}$ значение энергии в накопителе должно отличаться не более чем на 5 %. Если это условие не выполняется, необходимо корректировать $W_{НЭ.НАЧ}$ и $N_{ДВС}$.

При проведении вычислений возможна ручная или автоматическая установка требуемой емкости накопителя. Возможно задание режима работы ДВС («автоматическое отключение после снятия нагрузки» или «постоянно включен»), что зависит от параметров окружающей среды. При начале движения с низкой температурой окружающей среды ДВС до достижения минимальной температуры прогрева отключаться не будет.

Для начальной калибровки при проведении тестирования рекомендуется провести верификацию вычислений с постоянной скоростью, когда расход топлива должен совпадать с заводскими значениями загородного режима. Удельный расход топлива задается исходя из рекомендаций завода-изготовителя в виде постоянного значения или характеристики. Для ДВС КЭУ работающих в квазистационарном режиме его величина не будет существенно меняться.

Выводы по главе

Разработанная методика позволяет произвести теоретическое моделирование расхода топлива автомобилей в зависимости от типа и характеристик их энергоустановки (комбинированная последовательная, параллельная или смешанная энергоустановки на основе ДВС), а также заданного цикла движения. Оценка адекватности используемых алгоритмов обеспечивает требуемый уровень достоверности вычислений. Это позволяет использовать методику для дальнейшего прогнозирования эффективности автомобилей различных типов. Методика оценки реализована в программе для расчета расхода топлива гибридными автомобилями КЭУ-АВТО [186].

ГЛАВА 4 МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

4.1 Методика оценка экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей

Одним из главных эксплуатационных свойств автомобилей как средства для перевозки грузов и пассажиров является их экономичность. Этот фактор не всегда является первым с точки зрения потребительских характеристик автомобилей, но его значение принципиально важно и имеет ценность. В теории эксплуатационных свойств экономичность рассматривается в ключе топливной экономичности. Это будет справедливо, когда типаж и стоимость сравниваемых автомобилей сопоставимы. В настоящее же время в связи с появлением широкого типажа энергоустановок с разной степенью технологичности значительную роль стала играть и первоначальная стоимость автомобиля, которая может отличаться в разы. Например, затраты на электричество для электромобиля при эксплуатации могут быть в 2–3 раза ниже, чем такого же автомобиля с ДВС, а разница в стоимости бензинового автомобиля и электромобиля может достигать 3–7 раз. В таких условиях оценивать эти автомобили только по эксплуатационной топливной экономичности будет бессмысленно. В этой связи подходы к оценке экономических свойств необходимо привязывать ко всем основным затратам. Т.к. гибридные автомобили более сложны в конструкции, их стоимость всегда больше, чем аналогичных автомобилей с ДВС. Поэтому для объективности предлагается оценивать топливную экономичность в комплексе с другими затратами, такими как; расход смазочных материалов; первоначальная стоимость автомобиля; потеря стоимости за период эксплуатации; обязательные

расходы на страхование и транспортный налог; расходы на запчасти и техническое обслуживание [112]. Это необходимо для определения условий рационального использования ресурсов.

Во-первых, объективная оценка затрат на эксплуатацию различных типов автомобилей для персонального использования потенциальными владельцами. Иногда производители транспортных средств вводят в заблуждение покупателей, указывая в характеристиках автомобилей необъективные данные. В первую очередь это расход топлива и затраты на обслуживание и текущий ремонт. Объективные оценки позволят потенциальному покупателю понять, какой автомобиль будет наиболее выгоден для данных условий эксплуатации, а именно: средний годовой пробег, условия эксплуатации, планируемый период эксплуатации?

Во-вторых, оценка экономичности автомобилей при их коммерческом использовании, таком как городские и междугородные пассажирские перевозчики, транспортные грузовые перевозчики, службы доставки, такси. В выборе автомобиля с наименьшими эксплуатационными затратами коммерческие компании заинтересованы в первую очередь.

В-третьих, понимание путей развития конструкции экономичных транспортных средств государственными органами, определяющими тенденции развития транспортной отрасли страны в целом. Государственные институты заинтересованы в поиске путей повышения эффективности экономики и одновременно в стимулировании спроса на высокие технологии массового потребления, которые также будут способствовать созданию новых рабочих мест. Наличие результатов исследований об эффективности различных транспортных средств позволит выработать механизмы стимулирования производства, продажи и эксплуатации наиболее экономичных транспортных средств.

В-четвертых, понимание экологичности автомобилей с учетом затрат на эксплуатацию, ремонт и техническое обслуживание.

Понятие «экономическая эффективность» обычно применяется для оценки эффективности мероприятий от нововведений. В технической эксплуатации автомобилей под эффективностью понимают значение коэффициента технической готовности и показатели надежности автомобилей [61]. Также применяются такие понятия, как стоимость владения автомобилем в руб/год, руб/км. При этом исследователи не всегда учитывают такие важные составляющие, как затраты на приобретение автомобиля, амортизацию его стоимости, расходы на ТО и текущий ремонт. Зачастую в качестве исходных данных о расходе топлива принимаются заводские характеристики, которые сильно отличаются от реальных.

Основные составляющие затрат на эксплуатацию, используемые в исследовании: первоначальная стоимость автомобиля, потеря стоимости, расход топлива, расходы на техническое обслуживание и текущий ремонт, обязательные расходы, связанные со страхованием и налогами.

Затраты на эксплуатацию могут меняться в большей степени в зависимости от первоначальной стоимости автомобиля (его комплектации), типа двигателя, нормативного расхода топлива на его эксплуатацию, пробега. Поэтому для более объективной оценки приняты следующие условия:

- класс и комплектации сравниваемых автомобилей должны быть как можно более схожи;
- нормы расхода топлива определяются в соответствии с рекомендациями Министерства транспорта РФ для одинаковых условий эксплуатации всех сравниваемых автомобилей;
- стоимость затрат на техническое обслуживание и ремонт определяется для всех автомобилей по данным официальных дилеров либо также для всех производителей по данным альтернативных станций технического обслуживания;

- затраты на текущий ремонт определяются из условия поломки одних и тех же узлов на всех автомобилях при одинаковых пробегах;
- ресурсный пробег для всех автомобилей рассчитывается исходя из официальных данных по средним пробегам и возрасту автомобилей;
- при оценке потери стоимости различных автомобилей учитывается средняя рыночная цена поддержанных автомобилей по годам.

Результаты исследования должны показывать изменение экономических затрат на единицу пробега с учетом принятых допущений и варьируемых величин [77].

Стоимость владения автомобилями, используемых в коммерческих целях. К таким автомобилям относятся такси, почтовые службы, службы доставки, служебные автомобили организаций и дорожные патрульные службы в России (таких легковых автомобилей 4 млн шт.). Работу таких автомобилей в меньшей степени оценивают грузоподъемностью и пассажироместимостью. Стоимость владения будет зависеть от первоначальной стоимости и затрат на эксплуатацию.

Для коммерческого транспорта возможным показателем оценки является: первоначальная стоимость, период окупаемости, срок службы, расход запчастей и горюче-смазочных материалов.

Стоимость владения автомобилями для персонального использования. Оценить стоимость владения автомобилями для персонального использования сложнее, чем для коммерческого. В первую очередь это связано с тем, что для таких автомобилей стоимость эксплуатации уже не связана с получением максимальной выгоды от использования. Экономическая составляющая затрат на эксплуатацию не стоит на первом месте.

Владелец персональных автомобилей (таковых в России 30 млн шт.), проблему уменьшения стоимости владения оценивают с точки зрения уменьшения затрат на топливо, стоимости самого автомобиля и стоимости

технического обслуживания. Иногда транспортную работу также оцениваю в комплексе с другими характеристиками: надежность, динамические характеристики, безопасность, эргономика, грузо- и пассажировместимость.

Таким образом, для разных типов автомобилей и их применения транспортную работу необходимо оценивать различными параметрами.

Оценка стоимости владения может быть полезна как при выборе типа автомобиля для заданных условий владельцами, так и для концептуального понимания путей развития транспорта при разработке государственных программ стимулирования производства и использования экономичных автомобилей. Подсчитано, что доля затрат автотранспортных перевозок страны составляет 2,5 трлн руб., что составляет 3 % ВВП страны. А все затраты на автотранспортную отрасль могут достигать 10 трлн рублей. Поэтому улучшение эксплуатационных свойств автомобильного транспорта может привести к значительному повышению эффективности экономики страны в целом.

Учитывая развитие эксплуатационных свойств автомобилей в последние годы, требуется более детальное изучение их не как отдельных составляющих, а как элементов системы «автомобиль – водитель – среда».

Для сравнения выбран автомобиль, в котором используются ЭУ на основе бензинового ДВС с автоматической трансмиссией и КЭУ с бензиновым ДВС и электрическим двигателем.

Основная искомая величина – это стоимость владения автомобилем выраженная в руб./км. В таблице 4.1 представлены экономические характеристики автомобилей: характеристики двигателей, цена в указанной выше комплектации и средний расход топлива.

Таблица 4.1 – Техничко-экономические характеристики сравниваемых автомобилей

Тип ЭУ	Макс мощность ЭУ, (л.с.)	Расход топлива, гор./смеш./загор. (заводские данные)	Начальная стоимость автомобиля, тыс. руб.
Комбинированная ЭУ	130	11,9	2000
ДВС	122	6,0	2340

В методике оценки стоимости владения учитываются: цена нового автомобиля; планируемый период эксплуатации; потеря стоимости автомобиля за заданный период эксплуатации; инфляционные потери; среднегодовой пробег и расходы на топливо.

Потеря стоимости автомобиля за каждый год эксплуатации определена на основании исследования динамики потери стоимости автомобилей по данным сайтов по продаже автомобилей. Усредненная потеря в стоимости описана экспоненциальным уравнением

$$П_n = Ц_A e^{-0,11n}, \text{ руб.}, \quad (4.1)$$

где $П_n$ – потеря в цене за n лет; $Ц_A$ – цена нового автомобиля, руб.; n – число лет эксплуатации.

Расходы на топливо приводятся к одному году эксплуатации и зависят от среднего приведенного расхода топлива, стоимости одного литра топлива и годового пробега.

$$Q_{\Gamma} = \frac{L_{\Gamma} Ц_{\Gamma} Q_{100}}{100}, \text{ руб.}, \quad (4.2)$$

где L_{Γ} – средний годовой пробег; $Ц_{\Gamma}$ – стоимость одного литра топлива; Q_{100} – расход топлива, рекомендованный Минтранс РФ с учетом поправочных коэффициентов

В методике учитываются инфляционные потери, которые условно приняты 5 % в год. Их величина рассчитывается уравнением

$$И_n = 0,05Ц_A \cdot (-0,001n^2 + 0,0393n), \text{ руб.} \quad (4.3)$$

Общие затраты на эксплуатацию в год будут равны:

$$З_n = П_n + Q_\Gamma + И_n. \quad (4.4)$$

Приведенные транспортные расходы (без учета ТОиР) будут равны:

$$\begin{aligned} З_n &= \frac{П_n + Q_\Gamma + И_n}{L_\Gamma} = \\ &= \frac{(Ц_A e^{-0,11n}) + \frac{L_\Gamma Ц_T Q_{100}}{100} + 0,05Ц_A(-0,001n^2 + 0,0393n)}{L_\Gamma} \text{ руб/км.} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Показатель экономической эффективности гибридного автомобиля по сравнению с бензиновым аналогом при n лет эксплуатации будет равен

$$\begin{aligned} П_{ГА} &= \frac{(Ц_A e^{-0,11n}) + \frac{L_\Gamma Ц_T Q_{100}}{100} + 0,05Ц_A(-0,001n^2 + 0,0393n)}{L_\Gamma} - \\ &- \frac{(К_Ц Ц_A e^{-0,11n}) + \frac{К_T L_\Gamma Ц_T Q_{100}}{100} + 0,05Ц_A(-0,001n^2 + 0,0393n)}{L_\Gamma}, \end{aligned} \quad (4.6)$$

после подстановки под общий знаменатель и упрощения получим

$$\begin{aligned} &((Ц_A e^{-0,11n}) + \frac{L_\Gamma Ц_T Q_{100}}{100} + 0,05Ц_A(-0,001n^2 + 0,0393n)) - \\ П_{ГА} &= \frac{-((К_Ц Ц_A e^{-0,11n}) + \frac{К_T L_\Gamma Ц_T Q_{100}}{100} + 0,05Ц_A(-0,001n^2 + 0,0393n))}{L_\Gamma} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (\Pi_A e^{-0,11n}) + \frac{L_\Gamma \Pi_T Q_{100}}{100} + 0,05 \Pi_A (-0,001n^2 + 0,0393n) - \\
& - (\Pi_\Pi \Pi_A e^{-0,11n}) - \frac{K_T L_\Gamma \Pi_T Q_{100}}{100} - 0,05 \Pi_A (-0,001n^2 + 0,0393n) \\
& \hline
& L_\Gamma = \\
& = \frac{(\Pi_A e^{-0,11n}) + \frac{L_\Gamma \Pi_T Q_{100}}{100} - (\Pi_\Pi \Pi_A e^{-0,11n}) - \frac{K_T L_\Gamma \Pi_T Q_{100}}{100}}{L_\Gamma}, \quad (4.7)
\end{aligned}$$

где C_A – цена нового автомобиля с бензиновым ДВС (руб.); n – число лет эксплуатации; Q_{100} – приведенный расход топлива автомобиля с бензиновым ДВС (л/100 км); L_T – годовой пробег автомобиля, км; C_T – цена одного литра топлива (руб.); K_c – коэффициент повышения цены гибридного автомобиля по сравнению с бензиновым аналогом (1,17); K_T – коэффициент, учитывающий более низкий расход топлива ГА, находится как Q_{100GA}/Q_{100BA} , установлен на основании Методических рекомендаций Нормы расхода топлива и ГСМ на автомобильном транспорте (Распоряжение Минтранс РФ от 14.03.2008 № АМ-23-р (ред. от 20.09.2018) [163]. Для гибридного автомобиля с КЭУ смешанного и последовательного типа – 0,5, параллельного типа – 0,3).

На рисунках 4.1 и 4.2 показаны графики сопоставления затрат, приведенные к одному километру пробега при эксплуатации автомобиля с бензиновым ДВС и ГУ. Условия сравнения: автомобиль массой 1500 кг, с ГУ смешанного типа при эксплуатации в городском и смешанном режиме.

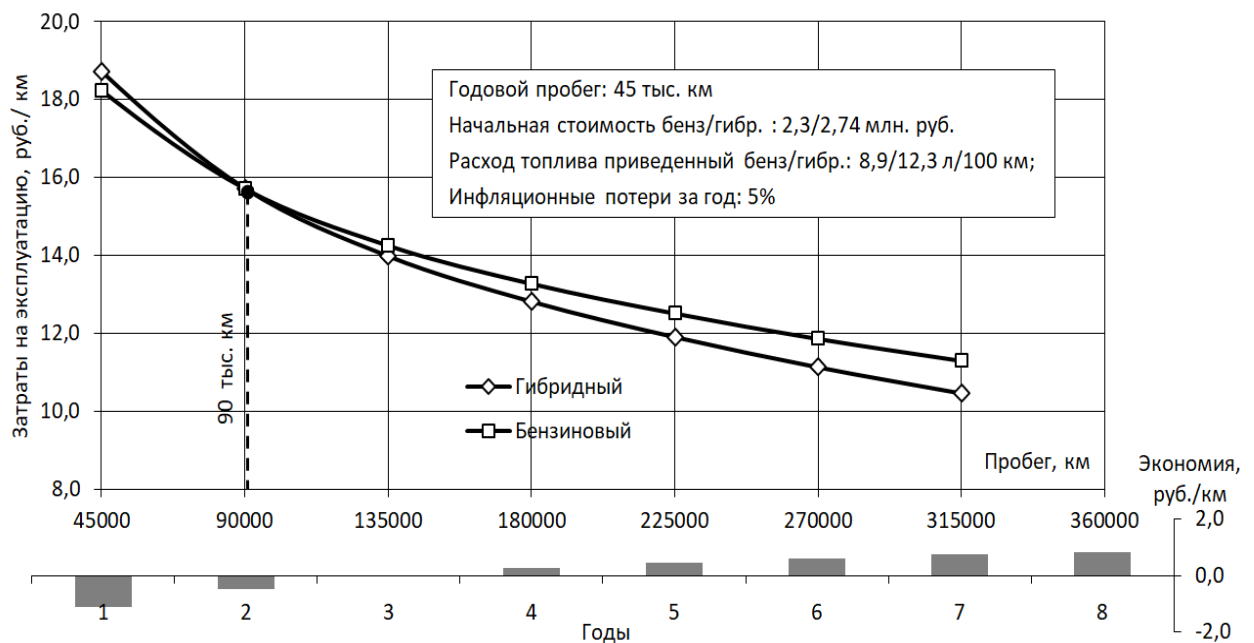


Рисунок 4.1 – График стоимости владения в зависимости от пробега в смешанном режиме эксплуатации

Экономическая выгода от эксплуатации гибридного автомобиля в зависимости от среднего годового пробега и числа лет эксплуатации приведена в таблице 4.2 и на графике (рисунок 4.2).

Таблица 4.2 – Экономическая выгода при эксплуатации гибридного автомобиля

Ежегодный пробег	Лет эксплуатации									
	15/1	30/2	45/3	60/4	75/5	90/6	105/7	120/8	135/9	150/10
15 тыс. км	-6,9	-5,0	-3,6	-2,7	-2,2	-1,7	-1,4	-1,0	-0,8	-0,5
	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
30 тыс. км	-2,6	-1,6	-0,9	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6
	45/1	90/2	135/3	180/4	225/5	270/6	315/7	360/8	405/9	450/10
45 тыс. км	-0,5	0,0	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	-0,5

*Выделены периоды с экономическими преимуществами эксплуатации ГА.

Результаты расчета затрат на эксплуатацию автомобилей с ДВС и гибридных автомобилей приведены в таблице В.2 Приложения В.

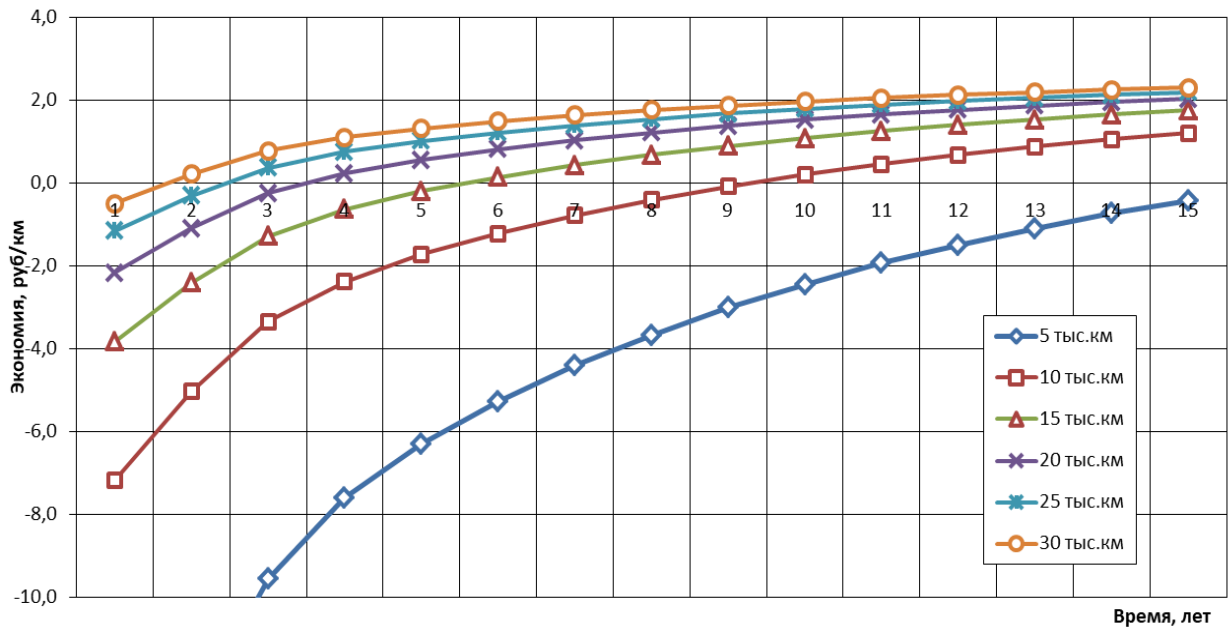


Рисунок 4.2 – График экономической выгоды при эксплуатации гибридного автомобиля в зависимости от среднегодового пробега и продолжительности эксплуатации (лет)

Согласно приведенным результатам экономия ресурсов при эксплуатации гибридного автомобиля начинается уже с общего пробега 85 тыс. км при среднегодовом пробеге 18 тыс. км (средний пробег автомобилей в РФ: данные портала Автостат на 2024 год).

Произведена оценка топливной экономичности легкового автомобиля с КЭУ разного типа, которая показывает, что автомобиль с КЭУ последовательной, параллельной и смешанной типовых схем имеет расход топлива ниже на 42, 25 и 41% соответственно, чем такой же автомобиль с бензиновым ДВС. На низко- и среднескоростной части Всемирного цикла испытаний транспортных средств малой грузоподъемности (ВЦИМГ) (ГОСТ Р 59890-2021) разница в топливной экономичности возрастает до 50 %. При моделировании движения с минимальным изменением скорости (загородный цикл) снижение расхода топлива на 15 % достигается только на автомобиле со смешанной схемой КЭУ.

Разработанные алгоритмы прогнозирования также решают вопрос определения оптимальной емкости электрического накопителя энергии КЭУ (наиболее дорогостоящего ее элемента), а также влияния емкости накопителя на расход топлива автомобилями.

4.2 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей

4.2.1 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категории М₁

Разработанные в главе 3 методики оценки топливной экономичности и оценки экономической выгоды при эксплуатации могут использоваться для прогнозирования эффективной эксплуатации гибридных автомобилей. Предложенная методика апробирована для автотранспортных предприятий с парком коммерческих пассажирских автомобилей, работающих на перевозках в городских условиях движения.

В настоящее время наибольшее распространение в России получила компания «Яндекс.Такси», которая объединяет на своей онлайн-платформе собственные автомобили, автомобили других компаний такси и автомобили частных владельцев, имеющих стимул к снижению расходов на эксплуатацию.

Основным положительным свойством, характеризующим эффективность гибридных автомобилей, является топливная экономичность, оценить которую возможно при дорожных испытаниях в условиях эксплуатации. Методика оценки экономической эффективности, представленная в разделе 4.1, позволяет компании перевозчику или частному предпринимателю по выбранному или заданному маршруту движения оценить предполагаемую топливную экономичность гибридного автомобиля в сравнении с бензиновым аналогом с ДВС [130].

Оценка произведена в следующей последовательности.

1 этап. Определение исходных данных:

- среднегодовой пробег;
- режим эксплуатации: городской; пригородный; загородный;
- предполагаемый период эксплуатации, лет;
- тип предполагаемой энергоустановки рассматриваемого гибридного автомобиля (смешанная, параллельная, последовательная).

2 этап. Определение расхода топлива сравниваемых автомобилей с учетом заданных условий эксплуатации (приведено описание выше).

3 этап. Расчет экономической выгоды от использования гибридных автомобилей.

4 этап. Получение результатов.

Приведен пример априорной оценки эффективности использования гибридных автомобилей. В исходных данных задан цикл, характеризующий условия эксплуатации гибридного автомобиля. В данном случае использован среднескоростной участок стандартного цикла испытаний легковых автомобилей ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) (рисунок 4.3).

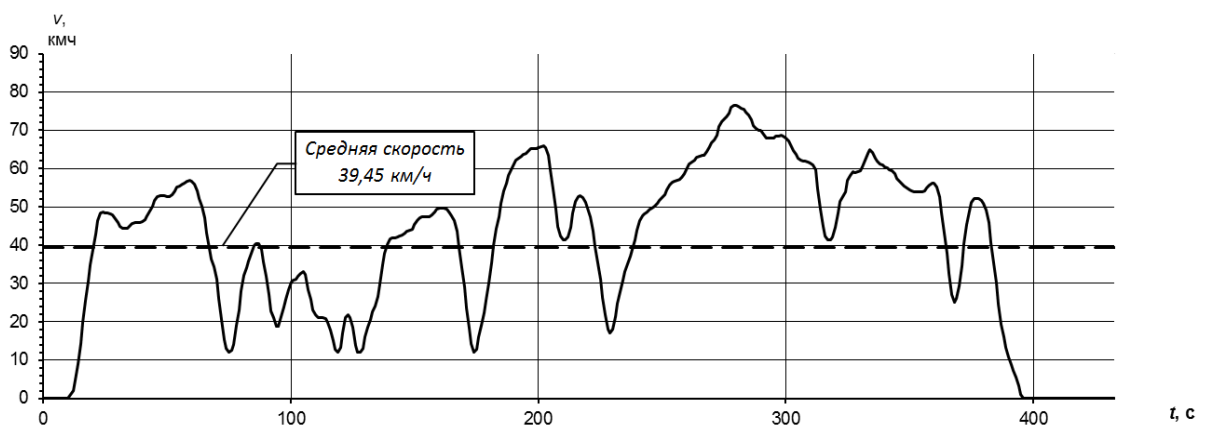


Рисунок 4.3 – Среднескоростной участок стандартного цикла испытаний легковых автомобилей ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021)

Цикл занесен в алгоритмы оценки программы КЭУ-АВТО [186]. Далее заданы типы анализируемых энергоустановок и характеристики предполага-

емых автомобилей. Для примера выбраны автомобили одинакового класса, используемые для коммерческих перевозок: с бензиновым ДВС; со смешанной схемой КЭУ; с параллельной схемой КЭУ. Настройки, установленные в программе, учитывают алгоритм работы каждой энергоустановки, режимы работы ДВС, электромеханической трансмиссии и тяговой АКБ. При этом производится расчет расхода топлива, приведенного к 100 км. В таблице 4.3 указаны полученные результаты расчета.

Таблица 4.3 – Результаты расчета расхода топлива сравниваемых автомобилей

Тип энергоустановки	Приведенный расход топлива, л/100 км
Бензиновый двигатель	8,9
Комбинированная, параллельного типа	5,4
Комбинированная, смешанного типа	5,0

Данные прогнозирования расхода топлива для предполагаемого цикла движения далее используем для обоснования экономической эффективности эксплуатации предполагаемого автомобиля по методике п/п. 2.4.

Расчеты выполнены для таксопарка, состоящего из 100 закупленных гибридных автомобилей для работы в течение 5 лет. Пробег для автомобилей такси в среднем может составлять от 30 до 90 тыс. км в год. Для работы в режиме такси принимаем среднегодовой пробег 45 тыс. км (125 км в день). Поездки автомобилей такси, как правило, имеют большое время и осуществляются постоянно в течение смены, что не требует частых прогревов двигателя. Корректировка расхода топлива не требуется. Значения расхода топлива принимаются из методики оценки, приведенной в главе 3. Сводная таблица затрат для эксплуатации гибридного автомобиля за 5 лет приведена в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Сводная таблица затрат для эксплуатации гибридного автомобиля за 5 лет

Пробег, тыс. км	0	45	90	135	180	225
Период эксплуатации, лет	0	1	2	3	4	5
Изменение цены за год, %	15	14	13	11	10	10
Изменение стоимости, тыс. руб.						
Гибридный	2350	2020	1761	1568	1412	1279
Бензиновый	2010	1730	1500	1342	1209	1095
Потеря стоимости, тыс. руб.						
Гибридный	0	330	259	193	156	133
Бензиновый	0	280	230	158	133	114
Расходы на топливо (без учета роста цены), тыс. руб.						
Гибридный	-	110	110	110	110	110
Бензиновый	-	197	197	197	197	197
Инфляционные потери стоимости автомобиля, тыс. руб. (5% в год)						
Гибридный	-	101	88	78	70	63
Бензиновый	-	86	75	67	60	54
Затраты на эксплуатацию суммарные, тыс. руб.						
Гибридный	-	2550	2211	1940	1740	1577
Бензиновый	-	2284	1991	1761	1590	1451
Затраты с учетом продажи автомобиля, тыс. руб.						
Гибридный	-	805	655	539	471	6
Бензиновый	-	788	661	562	503	467
Затраты на эксплуатацию с учетом продажи, руб./км						
Гибридный	-	17,9	14,6	12,0	10,5	9,5
Бензиновый	-	17,7	14,9	12,6	11,4	10,5
Экономическая выгода от эксплуатации, руб./км						
	-	-0,2	0,3	0,6	0,9	1,0

Таблица экономической эффективности применения гибридных автомобилей категории M_1 с параллельной и смешанной схемой КЭУ в зависимости от ежегодного пробега и продолжительности эксплуатации представлена в таблицах 4.5 и 4.6.

Таблица 4.5 – Экономическая выгода при эксплуатации гибридного автомобиля категории М₁ с параллельной схемой КЭУ (легкий гибрид)*

Годовой пробег	общий пробег/годы эксплуатации									
	руб./км									
10 тыс. км	10/1	20/2	30/3	40/4	50/5	60/6	70/7	80/8	90/9	100/10
	-11,2	-8,4	-6,2	-5,0	-4,1	-3,5	-2,9	-2,4	-2,0	-1,7
20 тыс. км	20/1	40/2	60/3	80/4	100/5	120/6	140/7	160/8	180/9	200/10
	-4,7	-3,3	-2,2	-1,6	-1,2	-0,9	-0,6	-0,3	-0,1	0,1
30 тыс. км	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
	-2,6	-1,6	-0,9	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,4	0,5	0,6
40 тыс. км	40/1	80/2	120/3	160/4	200/5	240/6	280/7	320/8	360/9	400/10
	-1,5	-0,8	-0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
50 тыс. км	50/1	100/2	150/3	200/4	250/5	300/6	350/7	400/8	450/9	500/10
	-0,8	-0,3	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
60 тыс. км	60/1	120/2	180/3	240/4	300/5	360/6	420/7	480/8	540/9	600/10
	-0,4	0,1	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
70 тыс. км	70/1	140/2	210/3	280/4	350/5	420/6	490/7	560/8	630/9	700/10
	-0,1	0,3	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3

*выделены границы экономической эффективности на основании экономического расчета и анализа отказов и неисправностей

Таблица 4.6 – Экономическая выгода при эксплуатации гибридного автомобиля категории М₁ со смешанной схемой КЭУ *

Годовой пробег	общий пробег/годы эксплуатации									
	руб./км									
10 тыс. км	10/1	20/2	30/3	40/4	50/5	60/6	70/7	80/8	90/9	100/10
	-9,9	-7,1	-4,9	-3,7	-2,8	-2,2	-1,6	-1,1	-0,7	-0,4
20 тыс. км	20/1	40/2	60/3	80/4	100/5	120/6	140/7	160/8	180/9	200/10
	-3,4	-2,0	-0,9	-0,3	0,1	0,4	0,7	1,0	1,2	1,4
30 тыс. км	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
	-1,3	-0,3	0,4	0,8	1,1	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9
40 тыс. км	40/1	80/2	120/3	160/4	200/5	240/6	280/7	320/8	360/9	400/10
	-0,2	0,5	1,1	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2

Продолжение таблицы 4.6

50 тыс. км	50/1	100/2	150/3	200/4	250/5	300/6	350/7	400/8	450/9	500/10
	0,5	1,0	1,5	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4
60 тыс. км	60/1	120/2	180/3	240/4	300/5	360/6	420/7	480/8	540/9	600/10
	0,9	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5
70 тыс. км	70/1	140/2	210/3	280/4	350/5	420/6	490/7	560/8	630/9	700/10
	1,2	1,6	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6

*выделены границы экономической эффективности на основании экономического расчета и анализа отказов и неисправностей

Как следует из таблиц 4.5 и 4.6 для достижения экономической эффективности гибридные автомобили категории M_1 должны иметь ежегодный пробег не менее 20 тыс. км. При пробеге 45 тыс. км в год гибридный автомобиль категории M_1 начинает приносить доход со второго года эксплуатации.

Для вычисления суммарного экономического эффекта за 5 лет эксплуатации гибридных автомобилей разница в затратах переведена из руб/км в руб/год пробега. Результаты расчетов приведены в таблице 4.7

Таблица 4.7 – Суммарный доход от эксплуатации гибридных автомобилей

Число лет эксплуатации	1	2	3	4	5
Экон. эффект, руб/км	-0,3	0,2	0,5	0,8	0,9
Экон. эффект, тыс. руб/год 1 автомобиль	-13,5	9,0	22,5	36,0	40,5
Экон. эффект, млн руб/год 100 автомобилей	-1,35	0,9	2,25	3,6	4,05

Расчеты (таблица 4.7) показывают, что при продаже 100 гибридных автомобилей по остаточной стоимости через 5 лет эксплуатации со средним годовым пробегом 45 тыс. км экономический эффект для предприятия составит 9,45 млн руб. Общий пробег каждого автомобиля за рассматриваемый период составит 225 тыс. км, что позволяет таксопарку эксплуатировать их еще несколько лет. Экономический эффект от увеличения срока эксплуатации будет расти ежегодно.

При ежегодном пробеге менее 15 тыс. км эксплуатация нового гибридного автомобиля будет невыгодной.

Мощность ДВС, электродвигателей, емкость тягового накопителя электрической энергии задается в программу расчета и также позволяет оценить предполагаемый расход топлива. Как показывают результаты расчета, заявленный производителем автомобиля усредненный расход топлива может отличаться от фактического для заданного цикла движения на 100–150 %.

Использование разработанных в работе методик показывает расход топлива и эффективность эксплуатации гибридного автомобиля с заданными свойствами и в требуемых условиях эксплуатации. Предложенная методика также позволяет сравнивать автомобили с различными типами энергоустановок: гибридных, бензиновых, дизельных, газовых и электрических.

Эффективность эксплуатации гибридных автомобилей зависит от ежегодного пробега, стоимости покупки и периода эксплуатации. Ниже приведены результаты прогнозирования экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категории M_2 и M_3 в зависимости от пробега и периода эксплуатации.

4.2.2 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категорий M_2 и M_3

Автобусы категории M_2 и M_3 выполняют значительную часть транспортной работы в крупных городах. Наиболее распространенная марка автобусов категории M_2 – ГАЗ. По данным агентства Автостат Инфо в России эксплуатируется 2,4 млн легких коммерческих автобусов (<https://avtostat-info.com/Article/375>) и 341 тыс. автобусов (<https://avtostat-info.com/News/11504>).

Для оценки топливной экономичности данных автомобилей использован Всемирно гармонизированный нестационарный цикл WHTC испытания автомобилей (Правила ЕЭК ООН №49), показанный на рисунке 4.4.

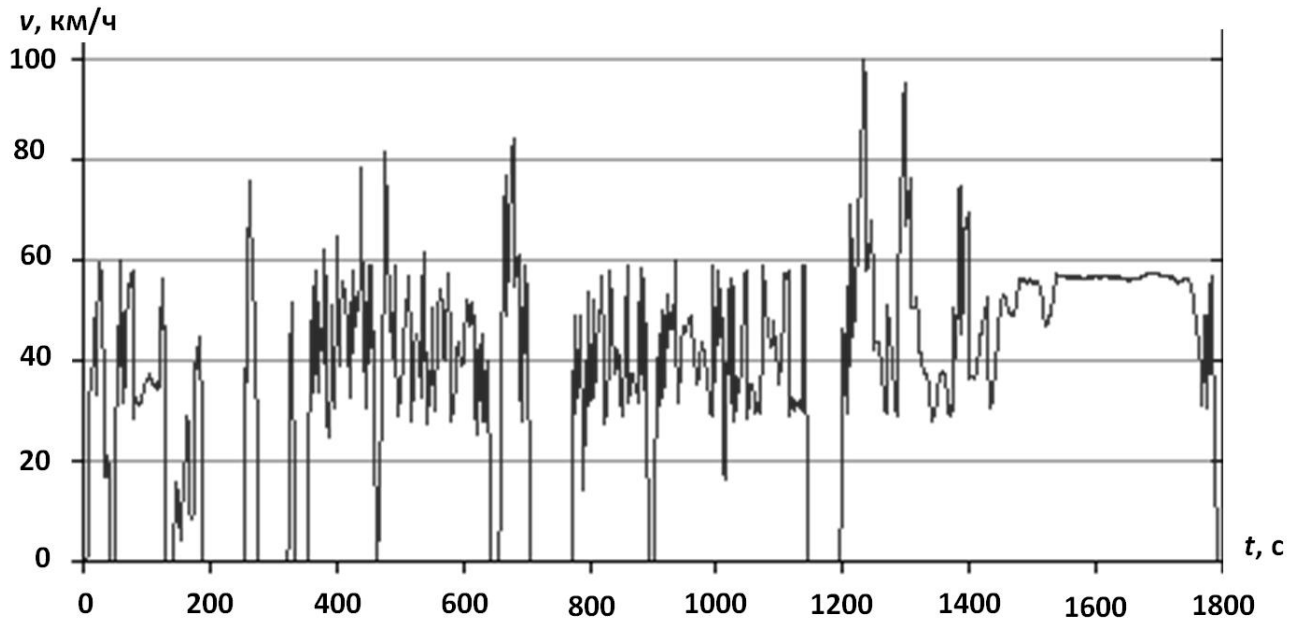


Рисунок 4.4 – Заданный цикл движения автобусов (Правила ЕЭК ООН №49)

Цикл занесен в программу оценки КЭУ-АВТО [186]. Далее заданы типы анализируемых энергоустановок и характеристики предполагаемого автобуса.

Расчет экономической эффективности гибридных автобусов категории M_2

За прототип взят автобус ГАЗ Next, полной массой 4,2 т, вместимостью 22 места. В городском цикле расход топлива 17,1 л/100 км. В месяц на топливо эксплуатирующая организация тратит до 90 тыс. руб. Для расчета задана масса при 50-процентном заполнении – 3500 кг. Для примера выбраны автобусы: с бензиновым ДВС; с последовательной, смешанной и параллельной схемами КЭУ. При этом производится расчет расхода топлива приведенного к 100 км. В таблице 4.8 указаны полученные результаты расчета.

Таблица 4.8 – Результаты расчета расхода топлива сравниваемых автомобилей категории М₂

Тип энергоустановки	Приведенный расход топлива, л/100 км
Бензиновый двигатель	17,0
Комбинированная, последовательного типа	12,2
Комбинированная, параллельного типа	12,5
Комбинированная, смешанного типа	10,5

Представленные в таблице 4.6. результаты показывают, что расход топлива автобуса с КЭУ при движении по заданному циклу составит от 12,3 до 12,6 л/100 км. Для дальнейшего расчета принята КЭУ последовательного типа, имеющая расход топлива 12,3 л/100 км. Использование такого типа КЭУ для автобусов является наиболее частым в мировой практике, т.к. упрощается компоновка основных агрегатов и снижается стоимость КЭУ. Энергия на ведущие колеса передается только электрическим путем, что означает отсутствие ступенчатой трансмиссии. Электрический привод обеспечивает плавный разгон во всем диапазоне скоростей. Расчетная емкость накопителя энергии составит 2,9 МДж. Минимальная мощность бензинового ДВС, работающего в стационарном режиме, 20 кВт.

Данные прогнозирования расхода топлива для предполагаемого цикла движения используем для обоснования экономической эффективности эксплуатации предполагаемого автомобиля по методике п/п 4.1.

Расчеты выполнены для автопарка, состоящего из 100 закупленных гибридных автобусов для работы в течение 5 лет, пробег для которых в среднем может составлять 120 тыс. км в год. Значения расхода топлива принимаются из методики оценки, приведенной в предыдущем разделе. Разница в стоимости гибридного автобуса и автобуса ГАЗ Next принята 18 %, что соответствует общемировой тенденции гибридных автомобилей. Стоимость бен-

зинового автобуса 3,9 млн руб. Предполагаемая стоимость гибридного – 4,6 млн руб.

Таблица экономической эффективности применения гибридных автобусов категории М2 с последовательной и смешанной схемами КЭУ в зависимости от ежегодного пробега и продолжительности эксплуатации представлена в таблицах 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9 – Экономическая выгода при эксплуатации гибридного автомобиля категории М₂ с последовательной схемой КЭУ*

Годовой пробег	общий пробег/годы эксплуатации									
	руб./км									
10 тыс. км	10/1	20/2	30/3	40/4	50/5	60/6	70/7	80/8	90/9	100/10
	-18,0	-13,6	-10,2	-8,2	-6,8	-5,8	-4,9	-4,1	-3,4	-2,8
20 тыс. км	20/1	40/2	60/3	80/4	100/5	120/6	140/7	160/8	180/9	200/10
	-7,7	-5,5	-3,8	-2,8	-2,1	-1,6	-1,1	-0,8	-0,4	-0,1
30 тыс. км	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
	-4,3	-2,8	-1,7	-1,0	-0,5	-0,2	0,1	0,4	0,6	0,8
40 тыс. км	40/1	80/2	120/3	160/4	200/5	240/6	280/7	320/8	360/9	400/10
	-2,6	-1,5	-0,6	-0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1,1	1,2
50 тыс. км	50/1	100/2	150/3	200/4	250/5	300/6	350/7	400/8	450/9	500/10
	-1,5	-0,6	0,0	0,4	0,7	0,9	1,1	1,3	1,4	1,5
60 тыс. км	60/1	120/2	180/3	240/4	300/5	360/6	420/7	480/8	540/9	600/10
	-0,8	-0,1	0,5	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7
70 тыс. км	70/1	140/2	210/3	280/4	350/5	420/6	490/7	560/8	630/9	700/10
	-0,4	0,3	0,8	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8

*выделены границы экономической эффективности на основании экономического расчета и анализа отказов и неисправностей.

Таблица 4.10 – Экономическая выгода при эксплуатации гибридного автомобиля категории М₂ со смешанной схемой КЭУ*

Годовой пробег	общий пробег/годы эксплуатации									
	руб./км									
10 тыс. км	10/1	20/2	30/3	40/4	50/5	60/6	70/7	80/8	90/9	100/10
	-17,1	-12,7	-9,2	-7,2	-5,9	-4,9	-4,0	-3,2	-2,5	-1,9
20 тыс. км	20/1	40/2	60/3	80/4	100/5	120/6	140/7	160/8	180/9	200/10
	-6,8	-4,6	-2,9	-1,9	-1,2	-0,7	-0,2	0,2	0,5	0,8
30 тыс. км	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
	-3,4	-1,9	-0,7	-0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7
40 тыс. км	40/1	80/2	120/3	160/4	200/5	240/6	280/7	320/8	360/9	400/10
	-1,6	-0,5	0,3	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,1
50 тыс. км	50/1	100/2	150/3	200/4	250/5	300/6	350/7	400/8	450/9	500/10
	-0,6	0,3	1,0	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,4
60 тыс. км	60/1	120/2	180/3	240/4	300/5	360/6	420/7	480/8	540/9	600/10
	0,1	0,8	1,4	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6
70 тыс. км	70/1	140/2	210/3	280/4	350/5	420/6	490/7	560/8	630/9	700/10
	0,6	1,2	1,7	2,0	2,2	2,3	2,4	2,6	2,6	2,7

*выделены границы экономической эффективности на основании экономического расчета и анализа отказов и неисправностей

Как следует из таблиц 4.9 и 4.10 для достижения экономической эффективности гибридные автомобили категории М₂ с последовательной схемой КЭУ должны иметь ежегодный пробег не менее 30 тыс. км, а со смешанной схемой КЭУ – не менее 20 тыс. км. пробега. При ежегодном пробеге более 70 тыс. км. пробега гибридный автобус категории М₂ будет выгоден во владении при любом периоде эксплуатации.

Экономические расчеты для ежегодного пробега, равного 120 тыс. км (пробег маршрутных автобусов в транспортном предприятии), приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Доход от эксплуатации гибридных автобусов категории М2

Число лет эксплуатации	1	2	3	4	5
Экон. эффект, руб/км	0,7	1,1	1,4	1,5	1,7
Экон. эффект, тыс. руб/год 1 автобус	87	131	166	186	199
Экон. эффект, млн руб/год 100 автомобилей	8,7	13,1	16,6	18,6	19,9

Расчеты (таблица 4.11) показывают, что при эксплуатации автобусов с КЭУ последовательного типа стоимость владения будет ниже уже после первого года эксплуатации. Разность в стоимость затрат на топливо составит 293 тыс. руб/год. При продаже 100 гибридных автобусов по остаточной стоимости через 5 лет эксплуатации со средним годовым пробегом 120 тыс. км экономический эффект для предприятия составит 19,9 млн руб. Минимальный пробег при котором эксплуатация гибридного автобуса будет целесообразна – 50 тыс. км в год.

Расчет экономической эффективности гибридных автобусов категории М₃

Автобусы категории М₃ осуществляют наибольшее количество автомобильных перевозок в крупных городах в России. Наибольшее количество эксплуатируемых автобусов в России имеют марки «ПАЗ», «ЛиАЗ», «КамАЗ», «НЕФАЗ».

В качестве прототипа использован автобус ЛИАЗ-4292, полной массой 14,4 т, вместимостью 72 пассажира. В городском цикле расход топлива 45,5 л/100 км. Для расчета задана масса при 50-процентном заполнении – 11 000 кг. В таблице 4.12 указаны полученные результаты расчета расхода топлива.

Таблица 4.12 – Результаты расчета расхода топлива сравниваемых автомобилей категории М₃

Тип энергоустановки	Приведенный расход топлива, л/100 км
Дизельный двигатель	45,5
Комбинированная, последовательного типа	33,9
Комбинированная, параллельного типа	32,8
Комбинированная, смешанного типа	29,5

Представленные в таблице 4.12 результаты показывают, что расход топлива автобуса с КЭУ при движении по заданному циклу составит от 29,5 до 33,9 л/100 км. Для дальнейшего расчета принята КЭУ последовательного типа, имеющая расход топлива 33,9 л/100 км. При использовании такого типа КЭУ для автобусов упрощается компоновка основных агрегатов и снижается стоимость КЭУ. Энергия на ведущие колеса передается только электрическим путем, что означает отсутствие ступенчатой трансмиссии. Электрический привод обеспечивает плавный разгон и комфорт для пассажиров во всем диапазоне скоростей. Расчетная емкость накопителя энергии составит 8,2 МДж. Минимальная мощность бензинового ДВС, работающего в стационарном режиме, 52 кВт.

Данные прогнозирования расхода топлива для предполагаемого цикла движения используем для обоснования экономической эффективности эксплуатации предполагаемого автомобиля по методике п/п 4.1.

Расчеты выполнены для автопарка, состоящего из 100 закупленных гибридных автобусов для работы в течение 5 лет. Средний годовой пробег для автобусов категории М₃ принят 120 тыс. км в год. Значения расхода топлива принимаются из методики оценки, приведенной в предыдущей главе. Разница в стоимости гибридного автобуса и автобус ЛИАЗ-429 принята 18 %, что соответствует общемировой тенденции гибридных автомобилей. Стоимость бензинового автобуса – 8,0 млн руб., гибридного – 9,4 млн руб.

Условия экономической эффективности применения гибридных автобусов категории М₃ с последовательной схемой КЭУ в зависимости от ежегодного пробега и продолжительности эксплуатации представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Экономическая выгода при эксплуатации гибридного автомобиля категории М₃ с последовательной схемой КЭУ*

Годовой пробег	общий пробег / годы эксплуатации									
	руб./км									
10 тыс. км	10/1	20/2	30/3	40/4	50/5	60/6	70/7	80/8	90/9	100/10
	-34,3	-25,5	-18,5	-14,5	-11,9	-9,8	-8,0	-6,4	-5,1	-3,9
20 тыс. км	20/1	40/2	60/3	80/4	100/5	120/6	140/7	160/8	180/9	200/10
	-13,7	-9,2	-5,8	-3,8	-2,4	-1,4	-0,5	0,3	0,9	1,5
30 тыс. км	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
	-6,8	-3,8	-1,5	-0,2	0,7	1,4	2,0	2,5	2,9	3,3
40 тыс. км	40/1	80/2	120/3	160/4	200/5	240/6	280/7	320/8	360/9	400/10
	-3,4	-1,1	0,6	1,6	2,3	2,8	3,2	3,6	3,9	4,2
50 тыс. км	50/1	100/2	150/3	200/4	250/5	300/6	350/7	400/8	450/9	500/10
	-1,3	0,5	1,9	2,7	3,2	3,6	4,0	4,3	4,5	4,8
60 тыс. км	60/1	120/2	180/3	240/4	300/5	360/6	420/7	480/8	540/9	600/10
	0,1	1,6	2,7	3,4	3,8	4,2	4,5	4,7	5,0	5,1
70 тыс. км	70/1	140/2	210/3	280/4	350/5	420/6	490/7	560/8	630/9	700/10
	1,1	2,3	3,3	3,9	4,3	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4

*выделены границы экономической эффективности на основании экономического расчета и анализа отказов и неисправностей

Как следует из таблицы 4.13, для достижения экономической эффективности гибридный автобус категории М₃ с последовательной схемой КЭУ должен иметь ежегодный пробег не менее 20 тыс. км. При ежегодном пробеге более 70 тыс. км гибридный автобус категории М₃ будет выгоден во владении при любом периоде эксплуатации.

В таблице 4.14 приведены расчеты экономической эффективности при эксплуатации автобуса категории М₃ при ежегодном пробеге 120 тыс. км в год.

Таблица 4.14 – Доход от эксплуатации гибридных автобусов категории М₃

Число лет эксплуатации	1	2	3	4	5
Экон. эффект, руб/км	2,6	3,3	3,9	4,2	4,5
Экон. эффект, тыс. руб/год 1 автобус	311	400	469	509	536
Экон. эффект, млн руб/год 100 автомобилей	31,1	40,0	46,9	50,9	53,6

Расчеты (таблица 4.14) показывают, что при эксплуатации автобусов с КЭУ последовательного типа стоимость владения будет ниже уже после первого года эксплуатации. Разность в стоимости затрат на топливо составит 720 тыс. руб/год. При продаже 100 гибридных автобусов по остаточной стоимости через 5 лет эксплуатации со средним годовым пробегом 120 тыс. км экономический эффект для предприятия составит 19,9 млн руб. Минимальный годовой пробег, при котором эксплуатация гибридного автобуса будет целесообразна, – 40 тыс. км в год.

4.2.3 Прогнозирование экономической эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категории N₁

Легкие грузовые автомобили в городах используются для доставки продовольственных товаров, строительных материалов, почтовыми службами, службами доставки и государственными учреждениями. Распространение услуг доставки товаров и продуктов приводит к еще большему развитию грузовых перевозок в городах. Наиболее распространены грузовые автомобили грузоподъемностью до 3,5 т категории N₁, т.к. они имеют высокую маневренность и хорошо вписываются в транспортную инфраструктуру городов. Для оценки топливной экономичности автомобилей категории N₁ использован цикл ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) на испытания автотранспортных

средств класса 3 (рисунок 4.5). Цикл имеет следующие характеристики: дистанция – 14 664 м; продолжительность цикла – 1477 с, включая 233 с – остановки; максимальная скорость – 85,2 км/ч; средняя скорость – 35,7 км/ч.

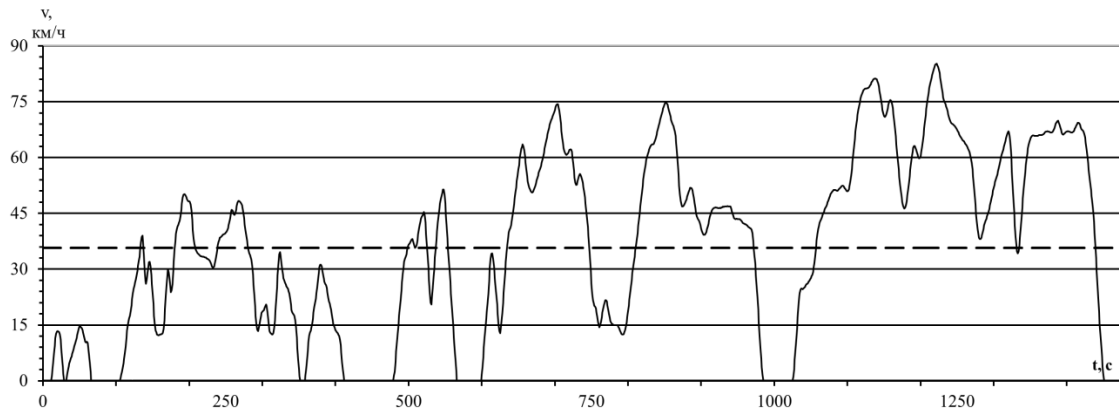


Рисунок 4.5 – Заданный цикл движения грузового автомобиля категории N1 (городская часть испытательного цикла ВЦИМГ по ГОСТ Р 59890-2021)

Цикл занесен в программу оценки КЭУ-АВТО [186]. Далее заданы типы анализируемых энергоустановок и характеристики предполагаемого грузового автомобиля.

Расчет экономической эффективности для автомобилей категории N₁

За прототип взят автобус ГАЗель Next полной массой 3,5 т, грузоподъемностью 1185 кг. В городском цикле расход топлива – 14 л/100 км. Для расчета задана масса при 50-процентном заполнении – 3000 кг. Для примера выбран грузовой автомобиль: с дизельным ДВС; с последовательной, смешанной и параллельной схемами КЭУ. При этом производится расчет расхода топлива, приведенного к 100 км. В таблице 4.15 указаны полученные результаты расчета.

Таблица 4.15 – Результаты расчета расхода топлива сравниваемых автомобилей категории N₁

Тип энергоустановки	Приведенный расход топлива, л/100 км
Дизельный двигатель (с авт-й трансмиссией)	14,4
Комбинированная, последовательного типа	11,2
Комбинированная, параллельного типа	10,8
Комбинированная, смешанного типа	8,7

Представленные в таблице 4.15 результаты показывают, что расход топлива автобуса с КЭУ при движении по заданному циклу составит от 8,7 до 11,2 л/100 км. Для дальнейшего расчета принята КЭУ параллельного типа, имеющая расход топлива 10,8 л/100 км. Использование такого типа КЭУ для грузового автомобиля объясняется простотой передачи значительного крутящего момента от ДВС. Такая схема менее комфортна для водителя, но более простая в создании, т.к. не требует изменений компоновки энергоустановки, что удешевляет внедрение. Энергия на ведущие колеса передается в значительной части механическим путем. Электрический привод обеспечивает запуск двигателя, помощь в ускорении, заряд накопителя и рекуперацию энергии. Расчетная емкость накопителя энергии составит 2,7 МДж. В качестве основного источника энергии остается дизельный ДВС мощностью 111 кВт.

Данные прогнозирования расхода топлива для предполагаемого цикла движения используем для обоснования экономической эффективности эксплуатации предполагаемого автомобиля по методике п/п 4.1.

Расчеты выполнены для автопарка, состоящего из 100 закупленных гибридных грузовых автомобилей ГАЗель Next для работы в течение 5 лет. Пробег для грузовых коммерческих автомобилей в городе может составлять 50 тыс. км в год. Значения расхода топлива принимаются из методики оценки, приведенной в предыдущем примере. Разница в стоимости ГАЗ Next с ди-

зельным и гибридным двигателями принята 18 %, что соответствует общемировой тенденции гибридных автомобилей. Стоимость ГАЗель Next с дизельным ДВС – 3,1 млн руб., гибридного – 3,65 млн руб.

Условия экономически эффективного применения гибридных грузовых автомобилей категории N_1 с параллельной схемой КЭУ в зависимости от ежегодного пробега и продолжительности эксплуатации представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Условия экономической выгоды при эксплуатации гибридного автомобиля категории N_1 с параллельной схемой КЭУ*

Годовой пробег	Общий пробег/годы эксплуатации									
	руб./км									
10 тыс. км	10/1	20/2	30/3	40/4	50/5	60/6	70/7	80/8	90/9	100/10
	-10,8	-8,1	-6,5	-5,4	-4,6	-3,9	-3,3	-2,8	-2,3	-1,9
20 тыс. км	20/1	40/2	60/3	80/4	100/5	120/6	140/7	160/8	180/9	200/10
	-4,4	-3,1	-2,3	-1,8	-1,3	-1,0	-0,7	-0,4	-0,2	0,0
30 тыс. км	30/1	60/2	90/3	120/4	150/5	180/6	210/7	240/8	270/9	300/10
	-2,3	-1,4	-0,9	-0,5	-0,2	0,0	0,2	0,4	0,5	0,7
40 тыс. км	40/1	80/2	120/3	160/4	200/5	240/6	280/7	320/8	360/9	400/10
	-1,2	-0,6	-0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0
50 тыс. км	50/1	100/2	150/3	200/4	250/5	300/6	350/7	400/8	450/9	500/10
	-0,6	-0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
60 тыс. км	60/1	120/2	180/3	240/4	300/5	360/6	420/7	480/8	540/9	600/10
	-0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
70 тыс. км	70/1	140/2	210/3	280/4	350/5	420/6	490/7	560/8	630/9	700/10
	0,1	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4

*Выделены границы экономической эффективности на основании экономического расчета и анализа отказов и неисправностей

Как следует из таблицы 4.16, для достижения экономической эффективности гибридный грузовой автомобиль категории N_1 с параллельной схемой КЭУ должен иметь ежегодный пробег не менее 30 тыс. км. При ежегод-

ном пробеге 50 тыс. км в год гибридный грузовой автомобиль становится дешевле во владении с третьего года эксплуатации.

В таблице 4.16 приведены расчеты экономической эффективности при эксплуатации грузового автомобиля категории N_1 при ежегодном пробеге 50 тыс. км в год.

Таблица 4.16 – Доход от эксплуатации гибридных автобусов категории N_1

Число лет эксплуатации	1	2	3	4	5
Экон. эффект, руб/км	-0,6	-0,1	0,3	0,5	0,6
Экон. эффект, тыс. руб/год 1 автобус	-30	-5	15	25	30
Экон. эффект, млн руб/год 100 автомобилей	-3,0	-0,5	1,5	2,5	3,0

Расчеты (таблица 4.16) показывают, что грузовой автомобиль категории N_1 с КЭУ параллельного типа будет экономически эффективнее автомобиля с ДВС при эксплуатации не менее 4-х лет. Разность в стоимости затрат на топливо составит 97 тыс. руб/год. При продаже 100 гибридных грузовых автомобилей по остаточной стоимости через 5 лет эксплуатации со средним годовым пробегом 50 тыс. км экономический эффект для предприятия составит 3 млн руб. Минимальный годовой пробег, при котором эксплуатация гибридного грузового автомобиля в течение 5 лет будет целесообразна – 40 тыс. км.

Использование разработанных в работе методик показывает расход топлива и эффективность эксплуатации гибридного автомобиля с заданными свойствами и в требуемых условиях эксплуатации. Предложенная методика также позволяет сравнивать автомобили с различными типами энергоустановок: гибридных, бензиновых, дизельных, газовых и электрических.

4.2.4 Оценка возможного влияния гибридных автомобилей на эффективность автомобильного транспорта РФ

По прогнозным индикаторным показателям Стратегии развития транспорта в РФ доля гибридных автомобилей в общем автопарке страны должна составить 26 % [131]. Во всей численности автопарка на 2023 год это 14 млн ед. С учетом текущего распределения число эксплуатируемых автомобилей должно составить $M_1 - 12,08$, $M_2 - 0,67$, $M_3 - 0,1$ и $N_1 - 1,15$ млн ед. Данное распределение и используется для оценки влияния гибридных автомобилей на эффективность всего автотранспорта в РФ.

Автомобили категории M_1

Как следует из результатов оценки расхода топлива автомобилями категории M_1 , а также проведенных экспериментальных стендовых исследований и наблюдений за условиями эксплуатации снижение расхода топлива составляет $\Delta B = 40\%$ при использовании КЭУ смешанного или последовательно типа. Из методики инвентаризации выбросов [182] известно, что при сгорании 1 кг топлива образуется $M_{CO_2}^{уд} = 3,12$ кг CO_2 . Известен средний эксплуатационный расход легковыми автомобилями по данным Минтранс РФ [180] $Q = 12,5$ л/100 км. Средний пробег легковых автомобилей в России по данным аналитического агентства Автостат составляет 14 тыс. км. Прогнозируемая численность гибридных автомобилей категории M_1 , как было определено ранее, должна составить 12,08 млн ед. ($N_{ЛА}$).

1. Один легковой автомобиль категории M_1 при эксплуатации расходует топлива:

$$Q_{ЛА} = \frac{Q \cdot \rho_B \cdot L_{СР}^{год}}{10^5} = \frac{12,5 \cdot 0,75 \cdot 14000}{100 \cdot 1000} = 1,312 \text{ т/год.}$$

2. Потребление бензина рассматриваемым автопарком составит:

$$Q_{ЛА}^{год} = Q_{ЛА} \cdot N_{ЛА} = 1,312 \cdot 12,08 = 15,85 \text{ млн т/год.}$$

3. Снижение потребления топлива при переводе всего рассматриваемого парка автомобилей категории M_1 на гибридные аналоги составит:

$$\Delta Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} = Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} \cdot \frac{\Delta B}{100} = 15,85 \cdot 0,4 = 6,34 \text{ млн т/год.}$$

4. В ценах 2023 года экономия топлива за счет эксплуатации гибридных легковых автомобилей составит:

$$\Delta S_{\text{ЛА}} = S_{\text{Б}} \cdot \Delta Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} = 73330 \cdot 6340000 = 464,9 \text{ млрд руб/год,}$$

где $S_{\text{Б}}$ – средняя стоимость 1 т бензина в РФ на 1.10.2023 (руб.).

5. Выбросы CO_2 от эксплуатации всего рассматриваемого парка автомобилей категории M_1 составляют:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} \cdot M_{\text{CO}_2}^{\text{УД}} = 15,85 \cdot 3,12 = 49,45 \text{ млн т/год.}$$

6. Снижение выбросов CO_2 за счет перевода рассматриваемой части автомобилей категории M_1 на гибридные аналоги может составить:

$$\Delta M_{\text{CO}_2 \text{ ЛА}}^{\text{ГОД}} = M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} \cdot \frac{\Delta B}{100} = 49,45 \cdot \frac{40}{100} = 19,8 \text{ млн т/год.}$$

Автомобили категории M_2

Результаты оценки автомобилей категории M_2 при движении по циклу WHTC (Правила ЕЭК ООН № 49) показывают снижение расхода топлива на $\Delta B=28\%$ при использовании КЭУ последовательно типа. Из методики инвентаризации выбросов [182] известно, что при сгорании 1 кг топлива образуется $M_{\text{CO}_2}^{\text{УД}} = 3,12$ кг CO_2 . Известен средний эксплуатационный расход легкими коммерческими автомобилями по данным Минтранс РФ [178–180] $Q=17,1$ л/100 км. Средний пробег коммерческих автомобилей категории M_2 по данным аналитического агентства Автостат составляет 120 тыс. км в год. Парк легких коммерческих автобусов в России насчитывает 2,5 млн. Прогно-

зируемая численность гибридных автомобилей категории M_2 , как было определено ранее, должна составить 0,67 млн ед. (N_A).

1. При эксплуатации один автомобиль категории M_2 расходует топлива:

$$Q_{\text{ЛА}} = \frac{Q \cdot \rho_{\text{Б}} \cdot L_{\text{СР}}^{\text{ГОД}}}{10^5} = \frac{17 \cdot 0,75 \cdot 120000}{100 \cdot 1000} = 15,3 \text{ т/год.}$$

2. Расход топлива всего рассматриваемого парка автобусов категории M_2 составит:

$$Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} = Q_{\text{ЛА}} \cdot N_A = 15,3 \cdot 0,67 = 10,25 \text{ млн т/год.}$$

3. Снижение потребления топлива за счет перевода рассматриваемой части автопарка на гибридные аналоги составит:

$$\Delta Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} = Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} \cdot \frac{\Delta \text{Б}}{100} = 10,25 \cdot 0,28 = 2,87 \text{ млн т/год.}$$

4. В ценах 2023 года экономия за счет эксплуатации гибридных автобусов категории M_2 может составить:

$$\Delta S_{\text{ЛА}} = S_{\text{Б}} \cdot \Delta Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} = 73330 \cdot 2870000 = 210,46 \text{ млрд руб/год,}$$

где $S_{\text{Б}}$ – средняя стоимость 1 т бензина в РФ на 1.10.2023 (руб.).

5. Выбросы CO_2 от эксплуатации всего рассматриваемого парка автобусов категории M_2 в настоящее время составляют:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = Q_{\text{ЛА}}^{\text{ГОД}} \cdot M_{\text{CO}_2}^{\text{УД}} = 10,25 \cdot 3,12 = 31,98 \text{ млн т/год.}$$

6. Снижение выбросов CO_2 при переводе рассматриваемого парка автобусов на гибридные аналоги может составить:

$$\Delta M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} \cdot \frac{\Delta \text{Б}}{100} = 31,98 \cdot \frac{28}{100} = 8,95 \text{ млн т/год.}$$

Автомобили категории М₃

Результаты оценки автомобилей категории М₃ при движении по заданному циклу WHTC (Правила ЕЭК ООН № 49) показывают снижение расхода топлива на $\Delta D = 25 \%$ при использовании КЭУ последовательно типа. Из методики инвентаризации выбросов [182] известно, что при сгорании 1 кг дизельного топлива образуется $M_{CO_2}^{уд} = 3,1$ кг CO₂. Принят средний эксплуатационный расход автобусами $Q = 45,5$ л/100 км (по данным Минтранс РФ [162, 178–180]). Средний пробег автобусов категории М₃ принят 120 тыс. км в год. Число автобусов в России по данным Автостат Инфо составляет 340 тыс. Прогнозируемая численность гибридных автобусов категории М₃, как было определено ранее, должна составить 0,1 млн ед. (N_A).

1. Расход топлива при эксплуатации одним автобусом категории М₃:

$$Q_A = \frac{Q \cdot \rho_B \cdot L_{CP}^{год}}{10^5} = \frac{45,5 \cdot 0,83 \cdot 120000}{100 \cdot 1000} = 45,3 \text{ т/год.}$$

2. Потребление дизельного топлива всем рассматриваемым парком автобусов категории М₃:

$$Q_A^{год} = Q_A \cdot N_A = 45,3 \cdot 0,1 = 4,53 \text{ млн т/год.}$$

3. Снижение расхода топлива при переводе всего рассматриваемого парка автобусов категории М₃ на гибридные аналоги может составить:

$$\Delta Q_A^{год} = Q_A^{год} \cdot \frac{\Delta D}{100} = 4,53 \cdot 0,25 = 1,13 \text{ млн т/год.}$$

4. В ценах 2023 года экономия за счет эксплуатации гибридных автобусов категории М₃ может составить:

$$\Delta S_A = S_{дт} \cdot \Delta Q_A^{год} = 87667 \cdot 1130000 = 99,1 \text{ млрд руб/год,}$$

где $S_{дт}$ – средняя стоимость 1 т дизельного топлива в РФ на 1.10.2023 (руб.).

5. Выбросы CO_2 всем рассматриваемым парком автобусов категории M_3 составляют:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = Q_A^{\text{ГОД}} \cdot M_{\text{CO}_2}^{\text{УД}} = 4,53 \cdot 3,1 = 14,04 \text{ млн т/год.}$$

6. Снижение выбросов CO_2 за счет перевода рассматриваемого парка автобусов категории M_3 на гибридные аналоги составит:

$$\Delta M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} = M_{\text{CO}_2}^{\text{ГОД}} \cdot \frac{\Delta B}{100} = 14,04 \cdot \frac{25}{100} = 3,51 \text{ млн т/год.}$$

Автомобили категории N_1

Результаты оценки автомобилей категории N_1 при движении по циклу ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) показывают снижение расхода топлива на $\Delta D = 22\%$ при использовании КЭУ параллельного типа. Из методики инвентаризации выбросов [182] известно, что при сгорании 1 кг дизельного топлива образуется $M_{\text{CO}_2}^{\text{УД}} = 3,1$ кг CO_2 . Принят средний эксплуатационный расход топлива $Q = 14,4$ л/100 км (по данным Минтранс РФ [162, 178–180]). Средний пробег коммерческих автомобилей категории N_1 принят 50 тыс. км в год. Прогнозируемая численность гибридных автомобилей категории N_1 , как было определено ранее, должна составить 1,15 млн ед. ($N_{\text{ГА}}$).

1. Расход дизельного топлива одним автомобилем категории N_1 составит:

$$Q_{\text{ГА}} = \frac{Q \cdot \rho_B \cdot L_{\text{СР}}^{\text{ГОД}}}{10^5} = \frac{14,4 \cdot 0,83 \cdot 50000}{100 \cdot 1000} = 5,98 \text{ т/год.}$$

2. Расход дизельного топлива всем рассматриваемым парком грузовых автомобилей категории N_1 составит:

$$Q_{\text{ГА}}^{\text{ГОД}} = Q_{\text{ГА}} \cdot N_A = 5,98 \cdot 1,15 = 6,9 \text{ млн т/год.}$$

3. Снижение расхода топлива рассматриваемым автопарком за счет перевода автобусов категории N_1 на гибридные аналоги составит:

$$\Delta Q_{\text{ГА}}^{\text{год}} = Q_{\text{ГА}}^{\text{год}} \cdot \frac{\Delta D}{100} = 6,9 \cdot 0,22 = 1,51 \text{ млн т/год.}$$

4. В ценах 2023 года экономия за счет эксплуатации гибридных автомобилей категории N_1 может составить:

$$\Delta S_{\text{ГА}} = S_{\text{ДТ}} \cdot \Delta Q_{\text{ГА}}^{\text{год}} = 87667 \cdot 1510000 = 132,4 \text{ млрд руб/год,}$$

где $S_{\text{ДТ}}$ – средняя стоимость 1 т диз. топлива в РФ на 1.10.2023 (руб.).

5. Выбросы CO_2 от эксплуатации рассматриваемого парка грузовых автомобилей категории N_1 составляют:

$$M_{\text{CO}_2}^{\text{год}} = Q_{\text{ГА}}^{\text{год}} \cdot M_{\text{CO}_2}^{\text{уд}} = 6,9 \cdot 3,1 = 21,4 \text{ млн т /год.}$$

6. Снижение выбросов CO_2 при переводе рассматриваемого парка автомобилей категории N_1 может составить:

$$\Delta M_{\text{CO}_2}^{\text{год}} = M_{\text{CO}_2}^{\text{год}} \cdot \frac{\Delta B}{100} = 21,4 \cdot \frac{22}{100} = 4,7 \text{ млн т/год.}$$

Согласно данным Автостата всего в России ежегодно производится 35 млн т. бензина и 24 млн т. автомобильного дизельного топлива. В таблице 4.17 приведены обобщенные результаты оценки возможного перевода автомобилей категорий M_1 , M_2 , M_3 , N_1 на гибридные аналоги.

Таблица 4.17 – Результаты оценки возможного влияния гибридных автомобилей на эффективность автомобильного транспорта в России

Категория гибридного ТС	M ₁	M ₂	M ₃	N ₁	Всего	Весь автопарк на 2023 год	Влияние на автопарк РФ
Автопарк, млн шт.*	12,08	0,67	0,1	1,15	14,0	55	26 %**
Снижение потребления топлива, млн т/год	6,3	2,9	1,1	1,5	11,9	59	20 %
Снижение затрат на топливо, млрд руб/год	464,9	210,5	99,1	132,4	906,8	4536	
Снижение выбросов CO ₂ , млн т/год	19,8	8,9	3,5	4,7	36,9	180	

* численность автопарка гибридных автомобилей, установленная плановыми индикаторными показателями Транспортной стратегии РФ.

** в общей численности автопарка на 2023 год.

4.3 Оценка энергоэффективности гибридных автомобилей категории M₁ и N₁ на основе существующего стандарта

В Российском и международном законодательстве предусмотрены методики оценки топливной экономичности и выбросов двуокиси углерода. На международно-признанных документах это: Правила ЕЭК ООН № 49 «Единообразные предписания, касающиеся подлежащих принятию мер по ограничению выбросов загрязняющих газообразных веществ и твердых частиц из двигателей с воспламенением от сжатия и двигателей с принудительным зажиганием, предназначенных для использования на транспортных средствах»; Правило ЕЭК ООН № 83 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении выбросов загрязняющих веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей»; Правила ЕЭК ООН № 101 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения объема выбросов двуокиси углерода и расхода топлива и/или измерения расхода электроэнергии и запаса

хода на электротяге, а также транспортных средств категорий M_1 и N_1 , приводимых в движение только при помощи электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге».

В России и Евразийском экономическом союзе применяется Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011 «О безопасности колесных транспортных средств», устанавливающий методики определения выброса CO_2 и потребления энергии на основе Правил ООН № 101. Также в России введен ГОСТ Р 59890-2021 «Автомобильные транспортные средства. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Технические требования и методы испытаний на базе всемирной согласованной процедуры испытания транспортных средств малой грузоподъемности и испытаний в реальных условиях эксплуатации» [161].

В соответствии с Приложением Б этого стандарта автомобили категории M_1 и N_1 подразделяются на 7 экологических классов в зависимости от выбросов двуоксида углерода (CO_2) (рисунок 4.6).

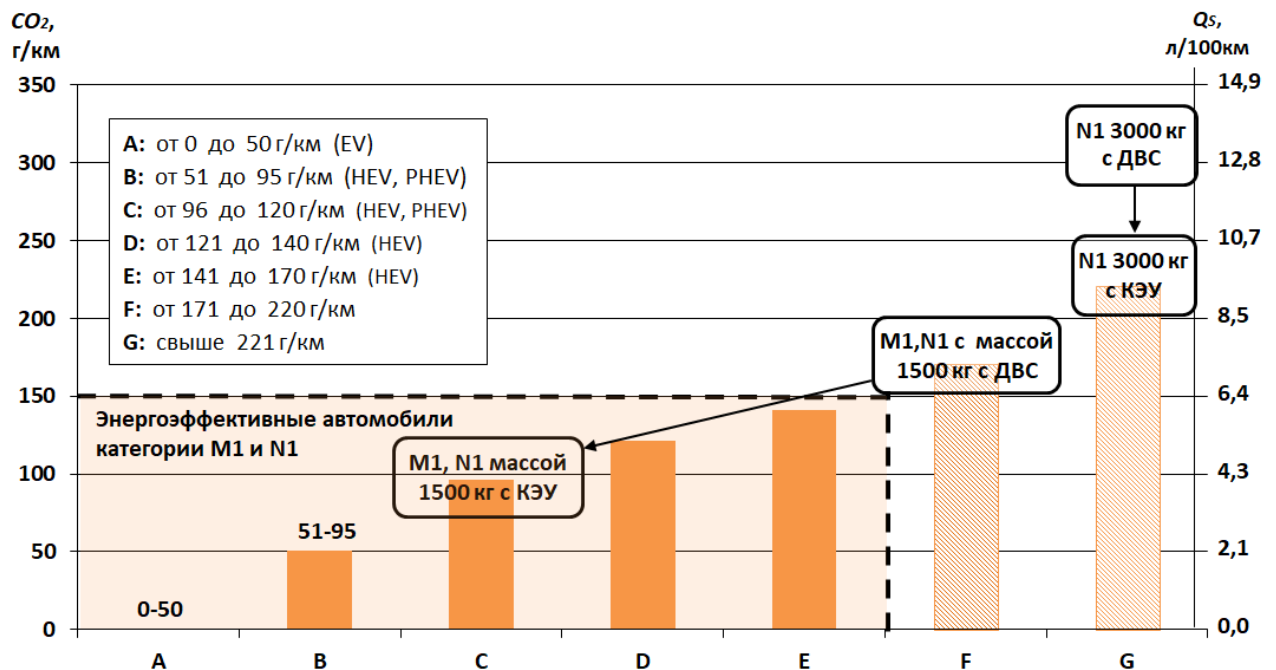


Рисунок 4.6 – Энергоэффективность гибридных автомобилей категории M_1 и N_1 в соответствии с ГОСТ Р 58554-2019

На основании имеющихся методик оценки выбросов в России разработан ГОСТ Р 58554-2019 «Автомобильные транспортные средства. Показатели энергоэффективности и экологии. Способы информирования потребителей» [158].

Легковые автомобили категории M_1 и N_1 с бензиновым ДВС имеют средний расход топлива от 6,4 и более л/100 км, что по графику на рисунке 4.4 соответствует выбросам CO_2 от 170 и более г/км (классы энергоэффективности F и G). Автомобили массой 1500 кг категории M_1 и N_1 , имеющие в качестве единственного источника энергии ДВС, не могут обеспечить выбросы CO_2 меньше 150 г/км. Таким образом, транспортные средства с ДВС, соответствующие классам энергоэффективности А–Е, можно относить к энергоэффективным по отношению к существующим, соответственно, автомобили с КЭУ категории M_1 и N_1 массой до 1500 кг можно отнести к энергоэффективным, если они соответствуют классам энергоэффективности А–Е. Более тяжелые автомобили категории M_1 также могут являться энергоэффективным, если они соответствуют классам энергоэффективности А–Е. Грузовые автомобили массой от 1500 до 3500 кг не могут соответствовать этим критериям, т.к. имеют большую полезную затрачиваемую мощность, чем пассажирские. Рекомендуется относить такие автомобили к энергоэффективным, если они имеют выбросы CO_2 менее 221 г/км классам.

4.4 Оценка эффективности гибридных автомобилей на основе удельных показателей

Оценку эффективности грузовых автомобилей и автобусов при списании горюче-смазочных материалов производят по рекомендациям Минтранса РФ, где приводятся базовые значения приведенного расхода топлива в л/100 км. Однако при оценке эффективности энергоустановки такой показатель оценки не подходит, т.к. при значительном изменении массы перевозимого груза (пассажиров) приведенный расход топлива также будет сильно менять-

ся. Более объективным в таком случае будет использование удельных и относительных критериев эффективности.

Первый критерий – удельный расход топлива (g_e). Оценка удельного расхода топлива ДВС в г/(кВт·ч) регламентируется ГОСТ Р 52517-2005 [156]. При оценке эффективности расхода топлива энергоустановки в составе грузового автомобиля с большой изменяемой массой целесообразно использовать удельный расход топлива применительно к автомобилю.

Методика оценки удельного расхода топлива предусматривает сопоставление расхода топлива и потребляемой мощности. Т.к. оценка производится для автомобиля, движущегося по заданному циклу, то необходимо сопоставлять средние значения, полученные за цикл испытания. Вычисление в таком случае производится по формуле (4.8).

$$g_e = \frac{Q_s \cdot \rho_T \cdot 1000 \cdot t_{Ц}}{N_{CP} \cdot 3600}, \text{ г/(кВт·ч)} \quad (4.8)$$

где Q_s – средний приведенный расход топлива за испытание (л/100 км); ρ_T – плотность топлива (кг/л); $t_{Ц}$ – время движения автомобиля по заданному циклу; N_{CP} – средняя мощность на ведущих колесах автомобиля за период испытания (кВт).

Мощность на ведущих колесах при движении вычисляется с помощью известных в теории автомобилей зависимостей мощностного расчета. Расход топлива комбинированной энергоустановки вычисляется программой КЭУ-Авто [186]. Изменяя тип и характеристики энергоустановки, можно производить сравнительную оценку эффективности автомобилей при движении по заданному циклу.

Второй удельный критерий – энергетический КПД (η_e). В отличие от механического КПД учитывает эффективность работы не только энергоустановки, но и всего автомобиля. Энергетический КПД описан в монографии д-ра техн. наук, профессора И.К. Александрова [19]. В общем виде энергетический КПД находится отношением полезной работы, совершаемой автомобилем $W_{ПОЛ}$, к общим затратам энергии $W_{ОБЩ}$:

$$\eta_{\text{Э}} = \frac{W_{\text{ПОЛ}}}{W_{\text{ОБЩ}}} . \quad (4.9)$$

Полезная работа, совершаемая автомобилем ($W_{\text{ПОЛ}}$), определяется в результате мощностного и энергетического расчета в программе КЭУ-Авто [186]. Общие затраты энергии ($W_{\text{ОБЩ}}$) определяются на основании теплоты сгорания топлива, израсходованного за испытательный цикл.

В таблице 4.18 приведены результаты оценки удельного расхода топлива и энергетического КПД для автомобилей категории M_2 , M_3 и N_1 с разными типами энергоустановок при движении по циклу ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021). Расход топлива автомобилей с ДВС соответствует нормам, указанным Минтрансом РФ [180].

Таблица 4.18 – Результаты оценки эффективности автомобилей по удельным показателям

Тип ЭУ	Масса автомо- биля, кг*	Q _S , л/100км	g _e , г/(кВт·ч)	ηэ, %
Категория М ₂ (Автобус ГАЗель Next)				
КЭУ посл.	3500	12,3	274	22,3
КЭУ паралл.		12,6	282	21,6
КЭУ смеш.		10,6	236	25,9
ДВС		17,1	382	16,0
Категория М ₃ (ЛИА3-4292)				
КЭУ посл.	11000	33,9	273	23,1
КЭУ паралл.		32,8	264	23,8
КЭУ смеш.		29,5	237	26,5
ДВС		45,5	366	17,2
Категория N ₁ (ГАЗель Next)				
КЭУ посл.	3000	11,2	235	30
КЭУ паралл.		10,8	226	31
КЭУ смеш.		9,2	192	35,7
ДВС		14,4	301	23,4

* при загрузке 50 % от максимальной.

Результаты расчета показывают, что автомобили с КЭУ имеют удельный расход топлива ниже 280 г/(кВт·ч). Аналогичный существующий автомобиль с ДВС имеет удельный расход топлива более 300 г/(кВт·ч). Таким

образом, исходя из полученных результатов оценки, можно характеризовать автомобили с КЭУ эффективными, если они имеют расход топлива ниже 280 г/(кВт·ч). Энергетический КПД автомобилей с ДВС категории M_2 и M_3 не превышает 17,2 %, категории N_1 – 23,4 %. Рекомендуется относить гибридные автомобили данных категорий к эффективным, если их энергетический КПД при испытании по заданному циклу превышает 22 %.

Удельные показатели эффективности позволяют оценивать автомобили с разными типами энергоустановок и разной массы при испытаниях.

Выводы по главе

На основании разработанных методик и методов, проведенных теоретических и экспериментальных и теоретических исследований разработан метод комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, который позволил провести оценку экономической выгоды от эксплуатации гибридных автомобилей категорий M_1 , M_2 , M_3 и N_1 с различными типами комбинированных энергоустановок в заданных условиях эксплуатации.

Приведенные границы целесообразного использования гибридных автомобилей в зависимости от годового пробега и продолжительности эксплуатации позволяют спрогнозировать возможную выгоду для автотранспортных предприятий.

Определено возможное влияние гибридных автомобилей на экономию ресурсов потребляемых автопарком страны. При постепенном переводе автомобильного транспорта, эксплуатируемого в городах: снижение потребления бензина и дизельного топлива всем автопарком страны составит 8,4 % (6,3 млн т в год); снижение затрат на топливо составит 465 млрд руб. в год; снижение выбросов CO_2 составит 19,9 млн т в год.

Разработанные критерии экологической эффективности гибридных автомобилей на основе ГОСТ Р 58554-2019, а также на основе удельных показателей дают понимание о том, какие гибридные автомобили являются эффективными при эксплуатации.

ГЛАВА 5 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВНЕДРЕНИЮ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

5.1 Рекуператор тепловой энергии отработавших газов для ускорения прогрева двигателей внутреннего сгорания

Некоторая часть энергии сгорающего в цилиндрах ДВС топлива превращается в полезную работу, однако значительная его часть неизбежно выбрасывается в окружающую среду с отработавшими газами и теряется безвозвратно. Из теории ДВС известно, что 40 % тепловой энергии топлива отводится с отработавшими газами, 35 % – в систему охлаждения и только 25 % используется для полезной механической работы [37]. Если тепловую энергию можно использовать для отопления кабины автомобиля, то тепловая энергия отработавших газов почти не используется. При этом горячие отработавшие газы начинают выбрасываться почти сразу после запуска ДВС, когда потребность в тепловой энергии высока.

В высокоэффективных ДВС в систему охлаждения и систему выпуска отработавших газов отводится значительно меньше тепловой энергии, что при эксплуатации в условиях холодного климата приводит к недостаточному прогреву пассажирского салона или кабины. В комбинированных энергоустановках ДВС как правило работает только в условиях достаточных нагрузок, а когда они отсутствуют, он отключается. Это может происходить уже при начальной температуре прогрева ДВС – 60 °С. В условиях городского движения ДВС может быть выключен 50 % всего времени поездки и даже более. Тепловой энергии в таком случае не хватает даже для собственного прогрева блока цилиндра и деталей двигателя. В связи с этим при эксплуата-

ции гибридного автомобиля в холодных условиях эксплуатации ДВС вынужденно включается и работает как источник тепловой энергии. Значительная часть тепла при этом не используется и выбрасывается с отработавшими газами.

Вместе с тем увеличение времени работы ДВС приводит к ухудшению топливной экономичности и экологической безопасности автомобиля.

Для расширения возможности эффективного использования гибридных автомобилей в холодных условиях эксплуатации могут использоваться ряд приспособительных мероприятий, таких как:

- автономные топливные обогреватели;
- электрические тэны для подогрева охлаждающей жидкости от внешней электросети;
- использование тепла отработавших газов;
- аккумуляторы тепловой энергии двигателя.

Большинство этих мероприятий уже используется в гибридных автомобилях в разных странах, однако имеют свои недостатки.

В рамках выполняемой работы предложены пути улучшения топливной экономичности и экологической безопасности автомобилей за счет использования тепла отработавших газов. [88, 102, 126, 127, 197, 201, 202, 204–206, 210–212, 217, 235, 238, 255–257, 260]. Для этого выполнена НИОКР «Разработка рекуператора тепловой энергии отработавших газов»

Рекуперация отработавших газов позволяет использовать часть их тепловой энергии. Наиболее эффективно забирать тепло горячих отработавших газов позволяют газожидкостные теплообменники. Нагретый теплоноситель можно объединить с системой охлаждения, что позволит получать дополнительное тепло всегда уже сразу после запуска ДВС. Однако после прогрева двигателя до рабочей температуры теплообмен должен быть остановлен для предотвращения перегрева двигателя. В этой связи рекуператор должен быть регулируемый.

На рисунке 5.1 представлена конструктивная схема рекуператора тепловой энергии, разработанного в рамках работы по улучшению эксплуатационных свойств гибридных автомобилей.

В данной конструкции расход отработавших газов в трубопроводе изменяется путем открытия или закрытия клапана-заслонки, встроенного в центральную выпускную трубу, с использованием регулятора расхода газов. Температура открытия клапана термостата регулятора: от 71 до 77 °С.

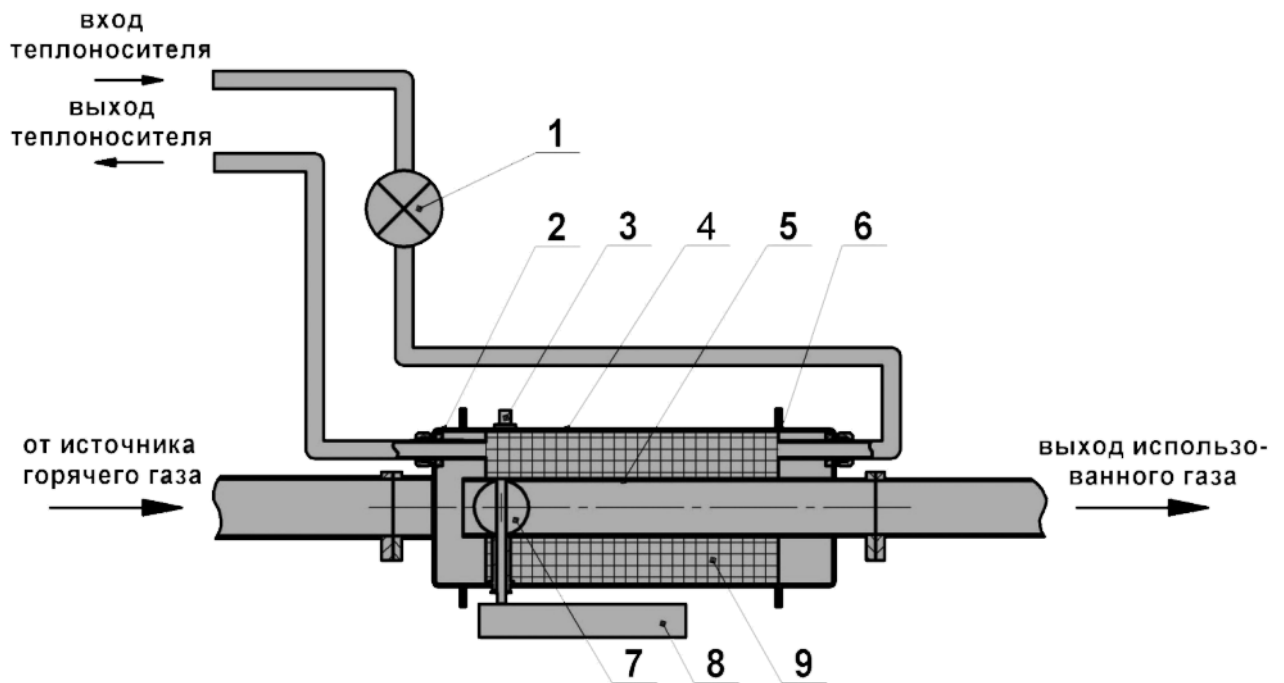


Рисунок 5.1 – Конструкция рекуператора тепловой энергии отработавших газов: 1 – насос; 2,6 – накопительные камеры; 3 – датчик перегрева; 4 – корпус теплообменника; 5 – прямоточная труба; 7 – перепускная заслонка; 8 – привод; 9 – теплообменная секция

Также возможно управление с помощью сервопривода с электродвигателем по сигналу датчика температуры или логического блока управления [167].

Изготовлено два экспериментальных образца. В первом образце (рисунок 5.2) теплообменник изготовлен из тонкостенной медной трубки, изогнутой в виде спирали вокруг центральной секции. Во втором образце теплооб-

менная секция изготовлена в виде котла с увеличенной площадью теплообменной поверхности [88–91].

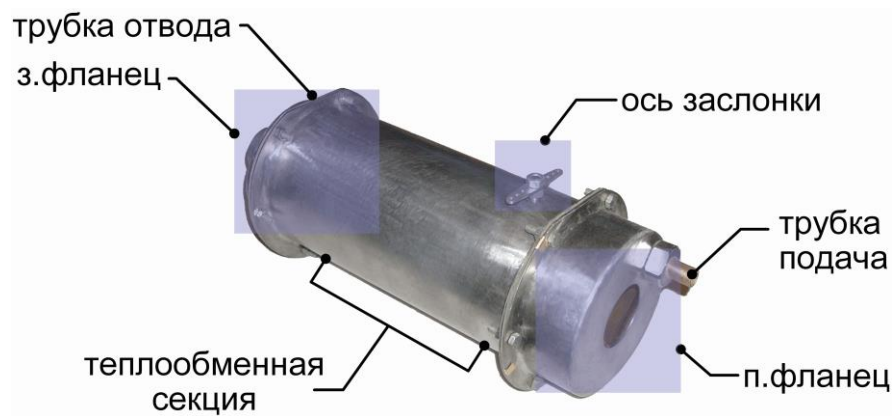


Рисунок 5.2 – Рекуператор с теплообменником в виде трубки

Задача разработки наиболее эффективной конструкции теплообменника отработавших газов решается за счет математического моделирования.

Двигатель с жидкостной системой охлаждения, отопителем и рекуператором отработавших газов можно представить как теплообменную систему, состояние которой меняется с течением времени.

Теплотехнические и математические расчеты, основанные на известных принципах теплообмена, позволяют создать модель прогрева двигателя. Она должна быть применима к разным двигателям внутреннего сгорания и допускать возможность извлечения тепловой энергии отопителем кабины и поступления дополнительного тепла от рекуператора отработавших газов. Сложность создания такой модели состоит в том, что характеристики системы охлаждения меняются по мере прогрева двигателя, т.к. конструкция двигателя имеет большое количество элементов с разной теплоемкостью. Расход топлива и тепловая энергия, поступающая от его сгорания, также меняется по мере прогрева.

Для моделирования системы охлаждения двигателя с рекуператором отработавших газов использована модель, состоящая из 3 блоков: блок рубашки охлаждения двигателя, рекуператор отработавших газов и климатическая установка – отопитель. Тепловые расчеты рекуператора-теплообменника базируется на известных принципах теплотехники [59, 69].

В рубашке охлаждения двигателя при его запуске начинается поступление тепловой энергии от сгорания рабочей смеси в цилиндрах – $Q_{\text{с}}^{\text{ДВС}}$, а также от рекуператора отработавших газов – $Q_{\text{Вых.}}^{\text{УПД}}$ (рисунок 5.3).

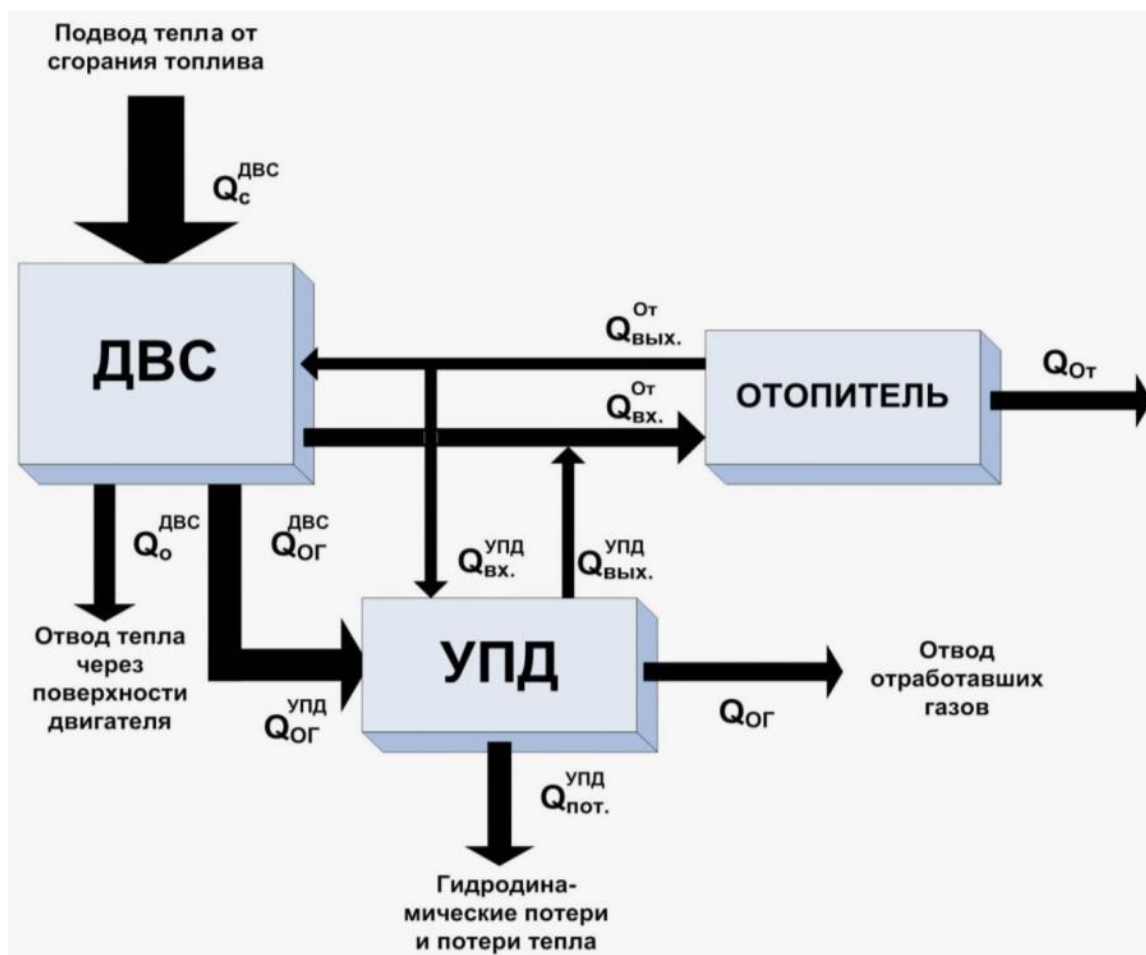


Рисунок 5.3 – Функциональная схема системы охлаждения с рекуператором отработавших газов

Поступление тепловой энергии приводит к нагреву элементов системы. Скорость нагрева теплоносителя и элементов системы охлаждения зависит от

начальной температуры двигателя, температуры окружающей среды, конструктивных особенностей двигателя, теплоемкости деталей и количества поступающей тепловой энергии. Поглощение тепловой энергии сгорающего топлива в начальный период времени происходит очень интенсивно, но и топлива в процессе прогрева также сгорает больше, по мере роста температуры скорость поглощения тепла уменьшается, снижается также и количество сгораемого топлива.

Часть тепловой энергии двигателя в процессе его работы отводится в окружающую среду через нагретые поверхности в результате лучистого и конвективного теплообмена ($Q_O^{ДВС}$), в систему выпуска отработавших газов ($Q_{OG}^{ДВС}$) и через отопитель климатической установки (Q_{OT}).

При работе двигателя часть жидкого теплоносителя циркулирует через теплообменник рекуператора. На входе в рекуператор поступает теплоноситель с энергией ($Q_{Вх}^{УПД}$), а на выходе от рекуператора с энергией ($Q_{OG}^{УПД}$). Выходящая из рекуператора тепловая энергия ($Q_{Вых}^{УПД}$) больше, чем входящая ($Q_{Вх}^{УПД}$) на величину поступающей из отработавших газов тепла (Q_{EG}). Некоторая часть тепловой энергии отработавших газов не извлекается, а выбрасывается в атмосферу (Q_{OG}). При выключенном рекуператоре отработавшие газы не поступают в его теплообменную секцию и вся их тепловая энергия ($Q_{OG}^{УПД}$) выбрасывается в атмосферу. Отопитель климатической установки также забирает часть тепловой энергии из системы охлаждения. Количество тепловой энергии на входе в отопитель равно $Q_{Вх}^{OT}$, на выходе — $Q_{Вых}^{УПД}$. Разница тепловой энергии показывает, какая часть отводится для отопления салона автомобиля. Интенсивность забора тепловой энергии теплоносителем зависит от: температуры окружающей среды; разности температуры теплоносителя и окружающей среды; интенсивности теплоотвода установленного водителем.

Рассматриваемые элементы объединены в единую систему и взаимодействуют друг с другом.

Выходным параметром математической модели является время достижения заданной температуры теплоносителя в двигателе. Совокупность свойств рекуператора-теплообменника определяет снижение времени прогрева двигателя до рабочей температуры, которое должно быть минимальным:

$$t(f_1 \dots f_n) \rightarrow \min.$$

Исходя из принципов термодинамики зависимость уравнения теплового баланса будет выглядеть следующим образом:

$$M'_1 c_{p1} (T_{1,вых.} - T_{1,вх.}) - M'_2 c_{p2} (T_{2,вых.} - T_{1,вх.}) = 0, \quad (5.1)$$

где M'_1, M'_2 – масса теплоносителей снаружи и внутри (кг/с); c_{p1}, c_{p2} – удельные теплоемкости теплоносителей при заданной температуре (Дж/(кг·К)); $T_{1,вх.}, T_{2,вх.}$ – температура теплоносителей на входе; $T_{1,вых.}, T_{2,вых.}$ – температура теплоносителей на выходе.

$$C_1 \Delta T_1 - C_2 \Delta T_2 = 0 \text{ или } Q'_1 - Q'_2 = 0, \quad (5.2)$$

где $Q'_1 - Q'_2$ – тепловая мощность (Вт); C_1, C_2 – тепловая мощность, выраженная через массовый расход и удельную теплоемкость.

Часть отводимой тепловой энергии теряется через наружные стенки теплообменника, что также необходимо учитывать в расчетах [187]:

$$Q_1 - Q_2 - Q_{\Pi} = 0,$$

где Q_{Π} – потери тепла через наружные стенки.

При интегрировании тепловых потоков получим:

$$\int_{i=1}^t (Q_1(t) - Q_2(t) - Q_{\Pi}(t))dt = \int_{i=1}^t (Q_{\text{УПД}}^{\text{ВХ.}}(t) - Q_{\text{УПД}}^{\text{ВЫХ.}}(t) - Q_{\Pi}(t))dt = 0 ,$$

В процессе прогрева ДВС тепловая энергия, отводимая от отработавших газов в общую систему охлаждения будет отдаваться множеству элементов системы, теплоемкость которых разная. При моделировании прогрева двигателя с дополнительным поступлением тепла целесообразно рассматривать весь процесс в системе, в которой происходит поступление и отвод тепла, (рисунок 5.3).

Тепловая энергия в систему поступает от тепла сгорания топливовоздушной смеси ($Q_C^{\text{ДВС}}$).

В начальный момент запуска холодного двигателя топлива расходуется больше, затем по мере прогрева расход уменьшается и стабилизируется. Средний расход топлива при запуске ДВС принят 2,0 л/ч. Количество тепловой энергии (Q_i) отводимой за единичный интервал времени, равный 1 с будет рассчитываться по формуле:

$$\begin{aligned} \int_{t_{i-1}}^{t_i} Q_{ci}(t)dt &= q_{\text{ч}} \times \rho \times H_U \times K_{\text{ОЖ}} / 3600 = \\ &= 2,0 \times 0,76 \times 43500 \times 0,3 / 3600 = 19,8 \text{ кДж} , \end{aligned}$$

где $q_{\text{ч}}$ – часовой расход топлива двигателя, л/ч; ρ – плотность топлива, H_U – удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг; $K_{\text{ОЖ}}$ – коэффициент, показывающий долю тепловой энергии, отводимой в систему охлаждения (принят равным 0,3);

Повышение температуры ДВС при прогреве зависит от его теплоемкости и параметров окружающей среды. Т.к. ДВС состоит из множества неоднородных деталей точно рассчитать его нагрев затруднительно [21].

Теплоемкость можно определить экспериментальным путем, зная закономерность повышения температуры от времени и количество поступающей

тепловой энергии. Из наблюдений установлено, что температура ДВС при прогреве растет по логарифмическому или полиномиальному закону:

$$t = A \ln(T) - B, R^2 = 0,99,$$

$$t = AT^3 - BT^2 + CT - D, R^2 = 1,0$$

где A, B, C, D – коэффициенты, учитывающие особенности нагрева двигателя и параметры окружающей среды.

Поступившая в систему охлаждения ДВС тепловая энергия будет равна:

$$Q_{ДВС} = \int_{t_{i-1}}^{t_i} (Q_{ni-1}(t) + Q_{ci}(t) - Q_{oi}(t) - Q_{omi}(t)) dt, \quad (5.3)$$

где Q_{ni-1} – начальная тепловая энергия системы; Q_{ci} – тепловая энергия, поступившая в систему от сгорания топлива; Q_{oi} – тепловая энергия, отводимая в окружающую среду в виде лучистого и конвективного теплообмена; Q_{omi} – тепловая энергия, забираемая отопителем салона.

Характеристика изменения температуры охлаждающей жидкости в зависимости от времени

Интенсивность прогрева двигателя после запуска зависит от: теплоемкости и теплопроводности соприкасающихся и расположенных рядом деталей их массы, формы и размеров. Расход топлива во время прогрева, особенности организации фаз газораспределения влияют на количество поступающей тепловой энергии. Как следствие, у разных производителей прогрев происходит за разное время. Из-за большого количества переменных построение адекватной модели прогрева двигателя становится невероятно сложной задачей. Математические модели существуют, однако они чрезвычайно

сложны и не всегда учитывают множество важных факторов. Задача упрощается, если математическую модель дополнить экспериментальными данными.

На рисунке 5.4 приведена характеристика изменения температуры охлаждающей жидкости после запуска холодного двигателя. Как видно она хорошо коррелирует с полиномиальной, логарифмической или экспоненциальной закономерностью. Прогрев начинается с температуры окружающей среды – 27 °С с выключенным отопителем. В начале прогрева температура растет быстро, затем ее рост замедляется. Открывание клапана термостата начинается на 22 минуте.

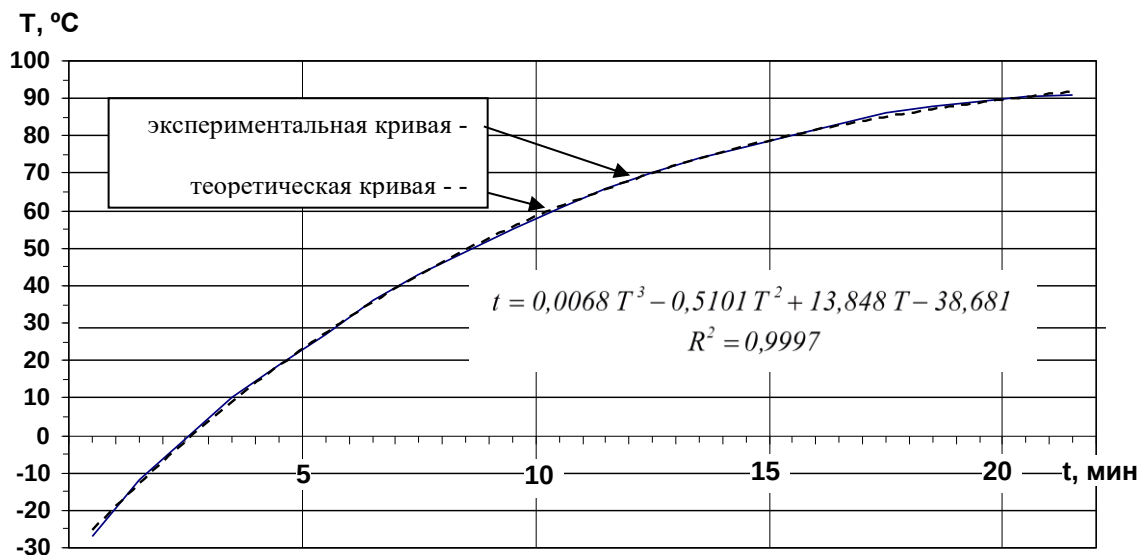


Рисунок 5.4 – Характеристика изменения температуры охлаждающей жидкости после запуска холодного двигателя

Поступление тепловой энергии в систему охлаждения

Согласно существующей теории ДВС в систему выпуска отработавших газов отводится 30 % тепловой энергии сгорающего топлива [30]. Количество расходуемого топлива определяется экспериментально по снятию данных текущих процессов работы двигателя встроенной системой диагностирования.

Мощность теплового потока, поступающего в двигатель при прогреве

Наиболее удобной величиной для оценки потоков тепла в двигателе является единица тепловой энергии, необходимой для разогрева двигателя на 1 градус Цельсия. Эта величина определяется экспериментальным путем. На рисунке 5.5 приведен график изменения энергии, необходимой для нагрева ДВС на 1 °С в зависимости от температуры. Как следует из графика, по мере прогрева двигателя удельное количество тепловой энергии, необходимое для разогрева двигателя, растет.

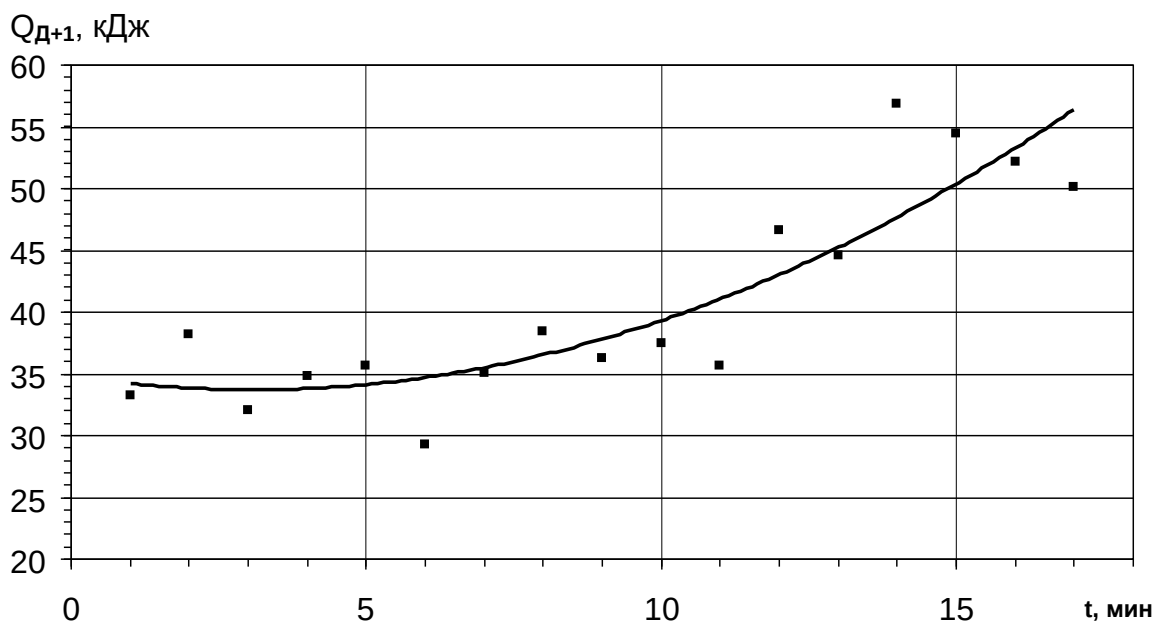


Рисунок 5.5 – Энергия, необходимая для повышения температуры охлаждающей жидкости ДВС на 1 °С

Мощность отопителя и ее влияние на процесс прогрева двигателя

Отопитель пассажирского салона автомобиля или автобуса является газо-жидкостным теплообменником, отводимая мощность которого зависит от температуры сред и скорости их движения. Согласно данным заводоизготовителей автомобилей максимальная тепловая мощность отопителя составляет 5 кВт, апри работе без нагрузки или на холостом ходу 2,5 кВт. На автобусах может устанавливаться несколько отопителей, работающих от общей системы охлаждения.

Режим работы отопителя влияет на интенсивность прогрева двигателя непосредственно. На рисунке 5.6. показано, как меняется интенсивность прогрева двигателя на холостом ходу при работе отопителя на различных режимах мощности от 0 до 100 %. Температура окружающей среды -20°C . Данные получены методом моделирования. При выключенном отопителе температура охлаждающей жидкости достигает рабочей на 21 минуте после запуска. При включении отопителя в любом режиме работы температура охлаждающей жидкости не достигает рабочей. Т.е. при работе на холостом ходу тепла не хватает для отопления пассажирского салона.

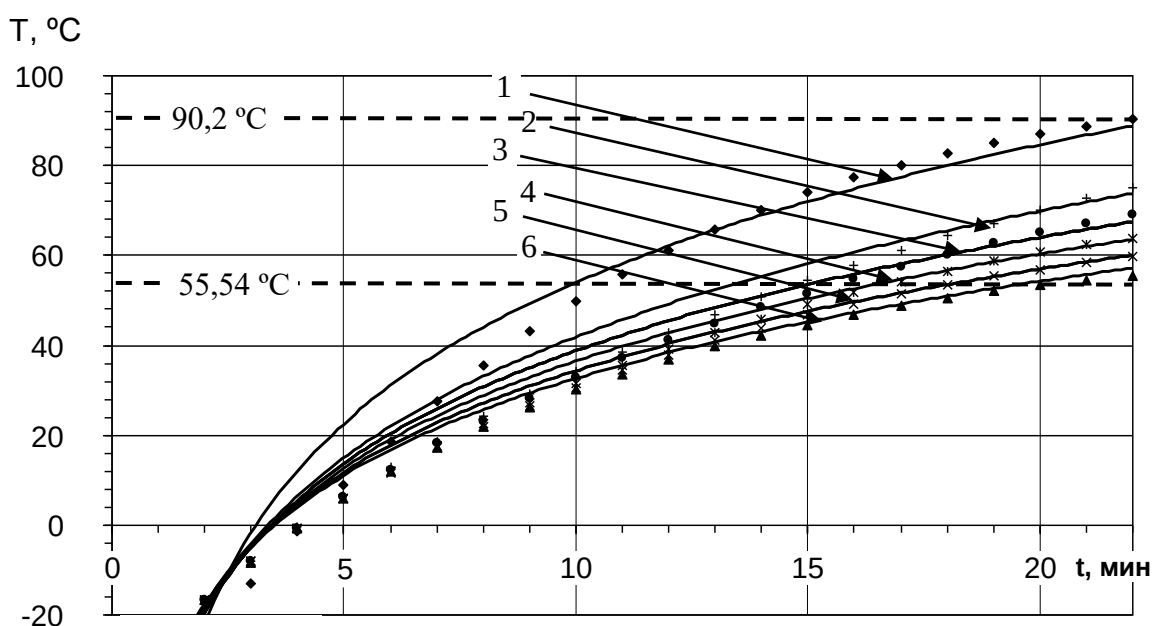


Рисунок 5.6 – Изменении температуры двигателя при разных режимах работы отопителя: 1 – 0 % кВт; 2 – 20 %; 3 – 40 %; 4 – 60 % кВт; 5 – 80 %; 6 – 100 %

Влияние рекуператора тепловой энергии отработавших газов на прогрев двигателя

Предыдущие исследования показывают, что в начальный период времени тепловая энергия отработавших газов расходуется на разогрев камеры сгорания и деталей выпускной системы [88]. Уже через 70 секунд температура отработавших газов начинает резко расти. Через

расчет теплоемкости отработавших газов и теплопроводности стенок теплообменника установлено, что уже через 2 минуты возможно получать 1 кВт дополнительной тепловой энергии [96]. С помощью экспериментальных данных об интенсивности прогрева двигателя и рассчитанном значении энергии, необходимой для повышения температуры двигателя на 1 °С, определено влияние рекуператора тепловой энергии на интенсивность прогрева (рисунок 5.7).

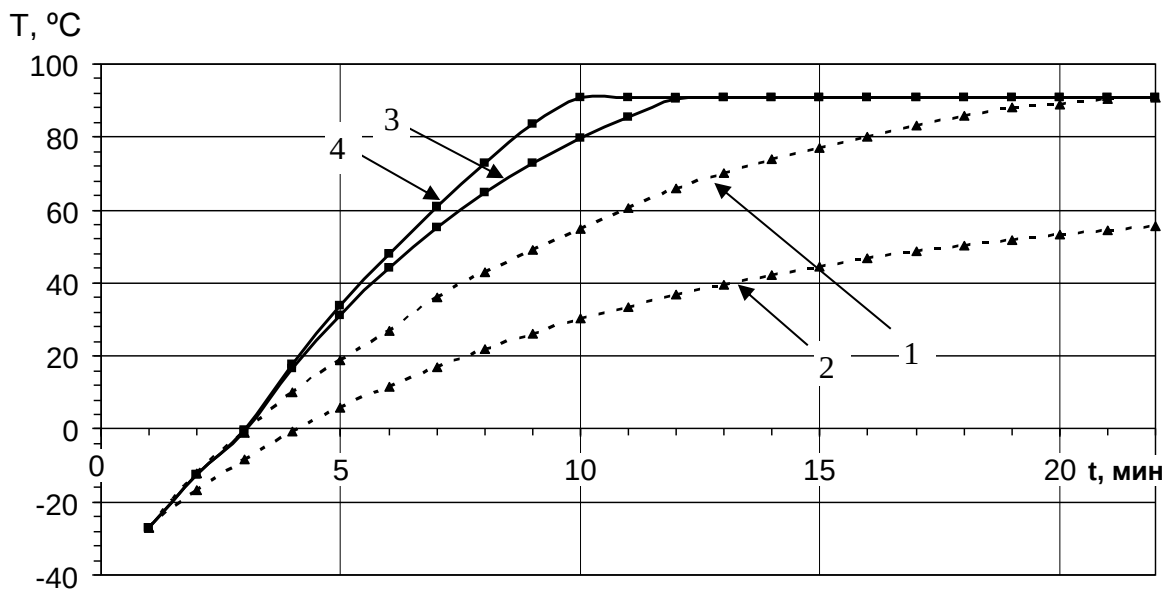


Рисунок 5.7 – Результаты расчета изменение температуры двигателя : 1 – без рекуператора с выключенным отопителем; 2 – с включенным отопителем; 3 – с работающим рекуператором и включенным отопителем; 4 – с работающим рекуператором и выключенным отопителем

Результаты проведенных исследований показывают эффективность применения рекуператора тепловой энергии отработавших газов. После запуска холодного двигателя он позволяет уменьшить время его прогрева с 20 до 10 минут, т.е. более чем в 2 раза. При работе отопителя рекуператор позволяет получать 2,5 кВт дополнительной тепловой энергии для отопления пассажирского салона.

Рекуператор тепла отработавших газов позволяет утилизировать часть тепловой энергии газа или пара, отдавая ее жидкому теплоносителю, предна-

значен для работы в системах с побочным выделением тепла. Особенности являются высокий КПД, малые габаритные размеры и низкое сопротивление потоку отработавших газов.

Разработанный рекуператор может быть полезен в автомобилестроении и эксплуатации автомобильного транспорта для получения дополнительного тепла от отработавших газов для ускорения прогрева двигателя, а также для прогрева салона, автоцистерны и т.д. В сельскохозяйственной технике рекуператор может применяться для отопления кабины сельхозмашины.

Рекуператор построен по принципу труба в трубе, что по сравнению с аналогичными устройствами не требует большого пространства при размещении, позволяет управлять процессом теплообмена, полностью включать и отключать теплообменный контур, ограничивая процесс теплообмена, когда это необходимо. При этом в выключенном состоянии направление газового потока не меняется, проходное сечение в трубе не уменьшается, что особенно важно для систем с высокой скоростью потока отработавших газов (рисунок 5.8).

Устройство может быть включено кратковременно, для быстрого выхода системы на рабочий режим или работать в постоянном режиме, например для отопления салона автобуса в холодный период года.



Образец 1

Образец 2

Рисунок 5.8 – Опытные образцы рекуператоров
для гибридного автомобиля

В результате испытаний первого образца получена максимальная тепловая мощность устройства, которая составляет 1,0 кВт. При этом мощность потерь тепла в окружающую среду установки составляет 0,5 кВт.

Основные технические характеристики образцов рекуператоров энергии представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Основные технические характеристики разработанных рекуператоров тепловой энергии для КЭУ автомобиля

Показатель	Образец 1	Образец 2
Максимальная отдаваемая тепловая мощность, кВт	1,0	1,5
Потребляемая электрическая мощность, Вт	30	30
Масса без теплоносителя, кг	5	1,1
Максимальная высота, мм	135	107
Максимальная длина, мм	360	320
Длина без консолей, мм	315	255
Тип/материал теплообменной поверхности	трубка/медь	лист/медь
Объем теплоносителя, л	0,25	0,35
Площадь теплообменной поверхности, м ²	0,047	0,4
Диаметр проходного сечения газа, мм	50	50
КПД по тепловой энергии, %	48	93

После получения результатов испытаний разработана конструкция второго опытного образца рекуператора, которая учитывает недостатки первого: она легче его в 5 раз, меньше по диаметру на 20 мм и по длине на 40 мм, при этом коэффициент использования тепловой энергии в опытном образце увеличен с 48 до 93 %. Максимальная пропускная способность теплообменного контура возросла с 0,1 до 0,4 л/с при одинаковой мощности насоса. Тепловые потери через наружные стенки теплообменника практически полностью исключены за счет применения котловой схемы расположения циркуляционного контура и двойной наружной стенки (как в термосе) [123, 166, 167].

Рекуператор обладает высокой эффективностью. Температура газа на входе может достигать 800 °С, при этом на выходе она практически равна температуре жидкого теплоносителя, т.е. используется почти вся возможная энергия газа. При этом наружный корпус остается холодным (рисунок 5.9).

В результате испытаний второго образца установлено, что при интенсивности газового потока $1,889 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ (что в 7 раз меньше, чем у ДВС легкового автомобиля) и температуре газа 350 °С с влажностью 60 % тепловая мощность, передаваемая в циркуляционный контур, составляет 1,15 кВт и практически не изменяется с увеличением температуры теплоносителя. При интенсивности теплового потока $15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ (четырёхтактный ДВС раб. объемом 1,5 л при 1200 об/мин) тепловая мощность составит 3–7,4 кВт в зависимости от температуры отработавших газов, что выше предполагаемой (1,5 кВт). Запас по тепловой мощности также значителен благодаря высокой пропускной способности жидкостного контура. Рекомендуемая тепловая мощность ограничена ввиду незаконченных ресурсных испытаний.

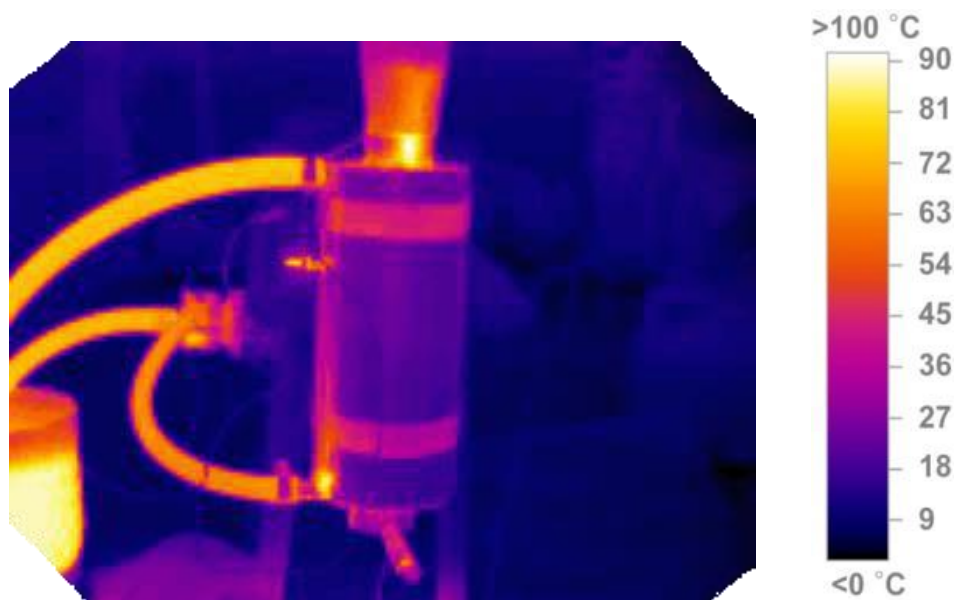


Рисунок 5.9 – Термограмма рекуператора на испытаниях

Электрическая энергия мощностью 30 Вт необходима для питания циркуляционного насоса и системы управления, которая позволяет обеспечивать автоматический режим работы в процессе прогрева двигателя.

Использование рекуператора тепловой энергии в гибридном автомобиле позволяет ускорить процесс прогрева ДВС работающего в кратковременном режиме, тем самым уменьшить расход топлива, снизить вероятность образования низкотемпературных нагаров и связанных с ним неисправностей, ускорить процесс прогрева пассажирского салона при низких температурах окружающей среды.

В отличие от автономных отопителей, рекуператор тепла отработавших газов рекуператор тепловой энергии не потребляет дополнительное топливо.

Испытания рекуператора тепловой энергии на серийном гибридном автомобиле в течение 4 лет эксплуатации в условиях, не обеспечивающих полный прогрев двигателя (дистанции одной поездки менее 5 км) показали повышение топливной экономичности автомобиля. Так в период эксплуатации без рекуператора тепловой энергии среднегодовой расход топлива эксплуатируемого гибридного автомобиля составил 7,6 л/100 км после установки рекуператора снизился до 6,5 л/100 км (на 14,5%). К пробегу 235 тыс. км у большинства эксплуатируемых гибридных автомобилей данной модели расход масла ДВС составлял 0,1-0,2 л на 1000 км. На автомобиле с рекуператором тепловой энергии при этом же пробеге расход масла не превышал 0,1 л на 1000 км.

Таким образом, использование разработанного рекуператора отработавших газов позволяет повысить эффективность и надежность гибридных автомобилей при эксплуатации [244].

5.2 Предложения по повышению надежности гибридных автомобилей в эксплуатации

На основании проведенного анализа надежности гибридных автомобилей в главе 2 выявлены причины отказов по системам энергоустановки.

Причинами возникновения преждевременных неисправностей ДВС являлись:

- несвоевременная проверка состояния и устранение неисправностей свечей и изоляторов катушек системы зажигания;
- закоксовывание дроссельной заслонки низкотемпературными отложениями масла, что характерно для работы двигателя при низкой температуре или непрогретого двигателя;
- низкое качество применяемого моторного масла или несоблюдение установленной с учетом условий эксплуатации периодичности его замены;
- засорение радиаторов системы охлаждения в процессе эксплуатации, отсутствие надлежащего обслуживания системы охлаждения.

Неисправности электрооборудования КЭУ гибридных автомобилей возникают после пробега 200 тыс. км. Часть из них связана с разрядом и потерей емкости низковольтной АКБ, повреждением при ремонте, заводскими дефектами. Инверторы управления тяговыми электродвигателями и сами электродвигатели отказывают чаще всего в теплый период года из-за неисправности системы охлаждения электрической частью энергоустановки.

Высоковольтная батарея КЭУ гибридных автомобилей имеет ресурс, сопоставимый со сроком службы автомобиля, что составляет более 10 лет эксплуатации или 250 тыс. км пробега. На отдельных моделях автомобилей наблюдаются преждевременные отказы на пробеге 120–150 тыс. км, которые были вызваны заводскими дефектами и устранялись производителем по гарантии. После истечения гарантийного периода возникающие неисправности ВВБ устраняются ремонтом или заменой. Наибольшая сложность при этом

вызвана недостаточным распространением мастерских по обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей в регионах и городах страны.

На основании наблюдений даны следующие рекомендации:

1. Предложено использовать рекуператор тепловой энергии в системе выпуска отработавших газов, позволяющий устранить пропуски воспламенения и повышенного расхода масла ДВС вызванных образованием низкотемпературных отложений. Конструкция рекуператора описана в разделе 5.1 настоящей работы. Патенты на полезную модель В.А. Ракова № 120923 и 127690 [166, 167].

2. Рекомендуются производить периодическую проверку и при необходимости прочистку радиаторов системы охлаждения для предотвращения отказов тяговых инверторов и электродвигателей. Периодичность операций по ТО рекомендовано скорректировать согласно рекомендациям, приведенным в работе «Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей» В.А. Ракова, 2012 год [98].

3. Формирование знаний, умений и навыков у технических специалистов существующей инфраструктуры обслуживания и ремонта автомобилей для оперативного устранения неисправностей и отказов высоковольтной части электрооборудования гибридных автомобилей. В целях обучения технических специалистов обслуживанию и ремонту гибридных автомобилей разработано учебное пособие «Гибридные автомобили», 2016 г., авторы А.А. Капустин, В.А. Раков, допущенное УМО вузов по автомобильным специальностям [47].

4. Разработка и внедрение алгоритмов и методик оценки неисправностей комбинированной энергоустановки гибридных автомобилей. Методика оценки разработана ранее и изложена в работе «Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей» В.А. Ракова, 2012 год [98].

Результаты исследований используются в образовательном процессе при подготовке специалистов для автотранспортного комплекса в образова-

тельных организациях и учебных центрах разного уровня. (АКТы внедрения, Приложение Г3,Г6-Г15).

Исходя из полученного опыта, предложены средства диагностирования технического состояния КЭУ гибридных автомобилей [125]. Для упрощения поиска неисправностей и оценки технического состояния гибридных автомобилей при эксплуатации разработаны алгоритмы оценки по параметрам стандарта OBD, которые используются в мобильном приложении MotorData OBD (Акт внедрения от 15.06.2021, АО «Легион-Автодата», г. Москва Приложение Д). Число пользователей приложения на август 2023 года – более 5 млн чел.

5.3. Предложения по внедрению комбинированных энергоустановок

Как отмечалось ранее, существующий уровень технологического развития уже давно позволяет значительно улучшить эксплуатационные свойства автомобилей за счет использования КЭУ. Большинство отечественных автопроизводителей имеют для этого необходимый задел. Основная проблема связана с тем, что российские автомобильные компании, в отличие от таких, как Toyota, Chevrolet, Kia и других, имеют ограниченную возможность инвестиций в высокзатратные проекты. А автомобильная промышленность в России является не государственной и в большей части зависит от зарубежных компаний. До 2022 года считалось, что Стратегия развития автомобильной промышленности Российской Федерации должна быть направлена на привлечение иностранных автомобильных компаний с их инвестициями и технологиями [189]. Однако, как и предполагалось, замена собственной автомобильной отрасли зависимыми от других стран компаниями рискованна. Таким образом, устойчивое развитие автомобильной отрасли такой страны, как Россия, должно контролироваться на государственном уровне.

Внедрение комбинированных энергоустановок с точки зрения рыночных условий конкуренции возможно при минимизации рисков. Это возмож-

но благодаря постепенному переходу энергоустановки на типовую схему КЭУ. Наиболее простой с точки зрения конструкции является КЭУ параллельной схемы передачи энергии, в которой между ДВС и трансмиссией устанавливается бесколлекторный электродвигатель переменного тока, а за спинками задних сидений располагается аккумуляторная батарея с запасом энергии не менее 1,5 МДж. Такая схема не требует больших инвестиций в развитие и может быть реализована на базе существующих агрегатов, это означает, что не нужно тратить значительные средства на разработку абсолютно новых. Электропривод энергоустановки может выполнять роль стартера ДВС и обеспечивать энергией бортовые потребители, что упрощает конструкцию двигателя. Использование КЭУ параллельной схемы в городском режиме движения позволяет снизить расход топлива на 20–25 %, во столько же раз и выбросы загрязняющих веществ.

Негативными факторами использования КЭУ будет увеличение массы автомобиля на 80–100 кг и стоимости на 15–20 %. НИОКР по разработке похожей схемы была проведена в 2014 году на Волжском автомобильном заводе при создании модели и ВАЗ-21904. Технология внедрения КЭУ в настоящее время уже отработана при создании узлов и агрегатов для серии автомобилей «August» в научном центре «НАМИ». Все основные компоненты КЭУ для этих автомобилей делают в России. Электрическая машина производится на предприятии АО «Сарапульский электрогенераторный завод». Электронные блоки, включая тяговый инвертор, спроектированы и изготовлены также в России.

Преимуществом КЭУ параллельного типа является возможность быстрого дальнейшего развития технологии. Без серьезных изменений можно менять емкость накопителя энергии и характеристики электрической машины, улучшая эксплуатационные свойства КЭУ. КЭУ параллельного типа позволяет создавать автомобили с электроприводом на вторую ведущую ось (рисунк 5.10)[113]. Рассматривается использование комбинированных энергоустановок в автомобилях повышенной проходимости с активным прицепом [94, 228].

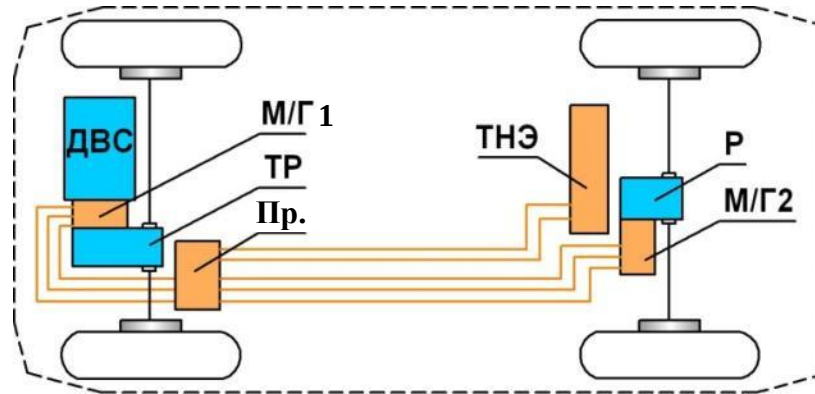


Рисунок 5.10 – Смешанная схема КЭУ для автомобилей с электроприводом задней оси: М/Г1, М/Г2 – электродвигатель-генератор; ТР – трансмиссия; Пр. – преобразователь; ТНЭ – тяговый накопитель энергии; Р- редуктор

Смешанная схема с полным приводом использовалась на автомобилях Peugeot 3008 HYbrid4. Помимо возможности создания полного привода такая схема позволяет создавать множество типовых схем КЭУ для улучшения ряда эксплуатационных свойств, включая возможность заряда от электрической сети [47]. Такая конструкция потребует увеличения массы на 250–300 кг, но обеспечить запас хода до 150 км без включения ДВС. Это позволит уменьшить затраты на эксплуатацию на 30–50 %. Начальная стоимость автомобиля увеличиться на 30–40 % по сравнению с традиционной схемой и ДВС.

Происходящий период стагнации развития энергетических установок на основе ДВС с механическими трансмиссиями подталкивает к развитию новых технологий, которыми становятся гибридные автомобили [41]. Стимулом дальнейшего их развития в настоящее время становятся: усиливающаяся конкуренция среди автопроизводителей; запрос на высокие эргономические требования и более высокую топливную экономичность. Предлагаемые технические решения показывают направления совершенствования эксплуатационных свойств автомобилей, что возможно осуществить в будущем.

5.4 Предложения по стимулированию производства и эксплуатации гибридных автомобилей

Опираясь на результаты исследования, критерии оценки эффективности, предложенные в работе, могут быть использованы для государственного стимулирования производства и эксплуатации более эффективных гибридных автомобилей. Разработанные методики и критерии оценки позволяют создать инструменты налогового стимулирования производства гибридных автомобилей.

В рамках существующей Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года гибридные автомобили, также как и другие экологически безопасные и энергоэффективные автомобили, являются направлением снижения негативного воздействия транспорта на окружающую среду. Разработка, покупка и эксплуатация гибридных автомобилей категории M_1 , M_2 , M_3 и N_1 , соответствующих критериям эффективности, описанным в главе 4, могут быть обеспечены дополнительными государственными мерами поддержки.

В настоящее время ставки акцизов при производстве и ставки транспортного налога привязаны к максимальной мощности ДВС. Этот критерий не учитывает эффективность энергоустановки, т.е. не способствует стимулированию развития более эффективных энергоустановок, что предусмотрено Транспортной стратегией Российской Федерации.

1. Система налогового стимулирования может быть основана на классификации автомобилей по ГОСТ Р 58554-2019. Автомобили категорий M_1 и N_1 , относящиеся к классам А–Е энергоэффективности, должны иметь понижающиеся коэффициенты. Класс Е – 80 % от налоговой ставки, класс D – 60 % от налоговой ставки, класс C – 40 % от налоговой ставки, класс B – 20 % от налоговой ставки, класс А – 0 % от налоговой ставки транспортного налога за год. В ключе этой же логики автомобили категории M_1 и N_1 класса энергоэффективности G должны иметь повышающую ставку транспортного налога с коэффициентом 1,2.

2. Для гибридных автомобилей, не имеющих возможности подзарядки от внешней электросети (HEV), при расчете ставки транспортной и таможенной пошлин должна учитываться мощность первоисточника энергии, а не суммарная мощность всех двигателей энергоустановки. Письмо Минфина России от 02.02.2023 № 03-05-04-04/8694 вводит в заблуждение таможенные и налоговые органы при расчете 30-минутной мощности автомобиля и препятствует распространению более энергоэффективных энергоустановок. При расчете налоговой ставки для автомобилей без подзарядки от внешней электросети должны использоваться рекомендации, изложенные в Письме Минфина России от 31.10.2012 № 03-05-07-04/18.

3. Для гибридных автомобилей, подзаряжаемых от внешней электросети (PHEV), при расчете ставки транспортной и таможенной пошлин согласно письму Минфина России от 02.02.2023 № 03-05-04-04/8694 за основу берется 30-минутная суммарная мощность ДВС и электродвигателей энергоустановки. Однако мощность электрического привода привязана к емкости накопителя энергии, который также является частью электропривода. Таким образом, при определении 30-минутной мощности электродвигателя необходимо учитывать и максимальную емкость аккумуляторной батареи.

4. Субсидирование покупки гибридных автомобилей, соответствующих критериям эффективности. Цена гибридных автомобилей на 15–20 % выше, чем бензиновых аналогов. Субсидии могут минимизировать разницу в цене и еще больше повысить эффективность эксплуатации, а также расширить границы эффективного использования гибридных автомобилей.

Выводы по главе

Предложенный рекуператор тепловой энергии отработавших газов позволяет снизить потери энергии на нагрев самого двигателя внутреннего сгорания, работающего в составе КЭУ в холодных условиях эксплуатации; благодаря уменьшению времени работы непрогретого ДВС снижается образова-

ние низкотемпературных отложений, что повышает надежность энергоустановки.

На основе проведенных наблюдений за отказами и неисправностями гибридных автомобилей, приведенных в 3-й главе, разработаны мероприятия по повышению их надежности при эксплуатации.

Рациональный принцип постепенного перехода от традиционного ДВС с механической трансмиссией к КЭУ позволит минимизировать риски автопроизводителей по коммерческому внедрению новых технологий и улучшить эксплуатационные свойства автомобилей, одновременно сделав его соответствующим современным экологическим требованиям.

На основе критериев эффективности предложенных в работе даны предложения по стимулированию разработки, производства и эксплуатации гибридных автомобилей, позволяющие решить задачи снижения негативного воздействия транспорта на окружающую среду и повышения эффективности автомобильного транспорта, сформулированные в Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложен комплекс методов оценки, научно-технических решений, критериев оценки, рекомендаций, внедрение которых вносит значительный вклад в повышение эффективности автомобильного транспорта страны за счет использования гибридных автомобилей при одновременном сокращении экономических издержек, а именно:

1. Установлены взаимосвязи между рекуперативным торможением и эффективностью гибридных автомобилей, произведено теоретическое обоснование влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на эффективность рекуперативного торможения. Для гибридного автомобиля категорий M_1 и N_1 достаточная мощность системы электропривода при рекуперации торможения составляет 15 кВт. При использовании рекуперативного торможения расход топлива одним автомобилем снижается на 16%, что уменьшает выбросы CO_2 одним автомобилем в год на 0,4 т. В масштабах всего автопарка России использование рекуперации в автомобилях категории M_1 и N_1 может снизить выбросы CO_2 на 9 млн. т. в год. Потребление топлива автопарком снизится на 3,8 млн т, стоимость которого в ценах 2025 года составит 230 млрд руб.

На основании лабораторных исследований и дорожных испытаний уточнено понятие «коэффициент возврата энергии при рекуперации (K_p)», характеризующий эффективность рекуперативного торможения в отношении влияния его на расход топлива автомобиля и дополняющий понятие «эффективность рекуперации торможения», применяемое в настоящее время для стендовых испытаний электрических машин, локомотивов и железнодорожного транспорта.

2. Определено влияние условий эксплуатации на топливную экономичность и экологические свойства гибридных автомобилей. Эксплуатация ги-

бридных автомобилей неэффективна при средних дистанциях поездки менее 5 км (продолжительности поездок с момента запуска ДВС менее 15 минут) и температуре ниже -15°C . Выбросы мелкодисперсных частиц пыли от износа накладок тормозных колодок в городском цикле движения за счет использования рекуперации снижаются в 3 раза. Установлены основные причины отказов элементов КЭУ при эксплуатации и вероятность их проявления.

3. Разработан метод, позволяющий произвести теоретическое прогнозирование топливной экономичности гибридного автомобиля в зависимости от типа КЭУ (последовательная, параллельная или последовательно-параллельная), характеристик тягового электропривода, емкости тягового накопителя энергии, а также заданного цикла движения.

Получены результаты оценки топливной экономичности гибридных автомобилей категорий M_1, M_2, M_3, N_1 . Автомобиль с КЭУ последовательной, параллельной и смешанной типовых схем имеет расход топлива ниже на 42, 25 и 41% соответственно, чем аналог с бензиновым ДВС. Результаты оценки для автомобилей категории M_2 и M_3 при использовании КЭУ последовательного типа при движении по циклу WHTC испытания автомобилей (Правила ЕЭК ООН № 49) показали снижение расхода топлива на 28 и 25 %. Для автомобилей категории N_1 при движении по испытательному циклу ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021) – на 22 %. На низко- и среднескоростной части испытательного цикла ВЦИМГ разница в топливной экономичности с ДВС возрастает до 50 %.

При имитации движения с минимальным изменением скорости (загородный цикл) разница в топливной экономичности с ДВС составляет 15 % только у гибридного автомобиля с КЭУ последовательно-параллельной типовой схемы. У других типов КЭУ в таком режиме улучшение топливной экономичности отсутствует.

За 7-летний период наблюдений в условиях эксплуатации серийных гибридных автомобилей снижение расхода топлива составило 38 % по сравне-

нию с аналогичными автомобилями с бензиновым ДВС в одинаковых условиях эксплуатации. Это соответствует результатам теоретических расчетов, результатам лабораторных испытаний и подтверждает адекватность разработанного метода прогнозирования расхода топлива. Вероятность отказов КЭУ у гибридных автомобилей, затраты на обслуживание и ремонт в указанный период были ниже на 50%.

4. Разработан метод комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающий критерии энергоэффективности и экологической безопасности, обоснование границ экономической целесообразности и методику определения снижения экономических издержек при эксплуатации.

С помощью разработанного метода комплексной оценки установлены границы эффективности эксплуатации гибридных автомобилей категории M_1 , M_2 , M_3 и N_1 с различными типами КЭУ в заданных условиях эксплуатации. Гибридные автомобили при коммерческой эксплуатации в городских условиях становятся более эффективными, чем традиционные с ДВС через 1–4 года, в зависимости от категории и среднегодового пробега. Минимальный среднегодовой пробег, при котором эксплуатация целесообразна, составляет 15 тыс. км.

5. Предложены технические решения и рекомендации, направленные на обеспечение эффективности эксплуатации гибридных автомобилей и повышения их надежности. В частности, разработанный управляемый рекуператор тепловой энергии отработавших газов оригинальной конструкции, позволяет улучшить топливную экономичность и надежность КЭУ гибридных автомобилей при частых запусках ДВС в холодных климатических условиях.

Разработанные алгоритмы сбора, систематизации и анализа эксплуатационных свойств гибридных автомобилей внедрены в диагностические программные алгоритмы компании АО «Легион-Автодата» при совершенствовании мобильного приложения Motor Data OBD.

Результаты работы использованы в учебной литературе, образовательных курсах и реализуются при подготовке специалистов автотранспортного комплекса.

Изложенные новые научно обоснованные технические решения нашли применение при реализации государственной программы «Комплексный план мероприятий поддержки производства и использования экологически чистого транспорта» в РФ (Письмо Минэнерго от 6.02.2014).

При расширении доли гибридных автомобилей в общем автопарке страны до 26 % (14 млн. ед.) (как запланировано в Транспортной Стратегии РФ) снижение потребления топлива составит 11,9 млн т. в год (20 %), затраты на топливо уменьшатся на 907 млрд руб. в год, а выбросы CO₂ на 36,9 млн т.

Таким образом, предложенный комплекс методов, методик и критериев, реализованный в виде единой методологии разработанный на основе установленных закономерностей влияния условий эксплуатации на топливную экономичность, экологические свойства, изменения технического состояния комбинированной энергоустановки, установления критериев энергоэффективности и обоснования границ экономической целесообразности подтверждает принятую гипотезу об обеспечении эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, что предусмотрено п. 2 и 7 Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

КЭУ	Комбинированная энергоустановка (по ГОСТ Р 59483-2021 энергоустановка, имеющая в своем составе несколько источников или преобразователей энергии)
ЗВ	Загрязняющие вещества
ПГ	Парниковый газ
ABC	Система «автомобиль – водитель – среда»
КПГ	Компримированный природный газ
CHГ	Сжатый нефтяной газ
EV (electric vehicle)	Транспортное средство с электрической силовой установкой (электродвигателем)
NEDC	Европейский стандартный ездовой цикл испытания легковых автомобилей на токсичность (Правило ЕЭК ООН № 83)
WLTC	Всемирный гармонизированный тестовый цикл для легковых автомобилей. Российский ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021)
WHTC	Всемирно гармонизированный нестационарный цикл (Правила ЕЭК ООН № 49)
OBD	Открытая система диагностирования электронных систем автомобилей
N_T	Мощность ведущих колес
N_{CP}	Средняя за испытание мощность на ведущих колесах
$N_{T,пол}$	Средняя положительная мощность
$N_{T,CP}$	Средняя мощность торможений
$N_{HЭ,CP}$	Средняя мощность пиковых нагрузок

$N_{эл.ср}$	Средняя мощность электродвигателя
М/Г (М)	Электродвигатель-генератор
ТНЭ (БНЭ)	Тяговый или бортовой накопитель энергии. Является источником электрической энергии комбинированной энергоустановки.
УСМ	Устройство смешения мощности или планетарный редуктор, объединяющий ДВС, генератор и ведущие колеса
Г	Генератор
Ин.	Инвертор – устройство управления электродвигателем переменного тока
ТР	Трансмиссия
К	Коэффициент использования двигателя по мощности
η_p	Коэффициент полезного действия привода
$\eta_{э}$	Коэффициент полезного действия электродвигателя
$\eta_{тр}$	Коэффициент полезного действия трансмиссии
$\eta_{ин}$	Коэффициент полезного действия инвертора
Q_p	Приведенный расход топлива, л/100 км
LOAD	Расчетная нагрузка двигателя внутреннего сгорания
RPM	Частота вращения коленчатого вала
$n_{ср}$	Средняя частота вращения коленчатого вала
rvk_1	Поправочный коэффициент, учитывающий выбросы вредных веществ автомобилем в зависимости от средней скорости движения ГОСТ Р 56162-2014. В работе дополнен значениями ниже 5 км/ч
УН	Узел нагрузки экспериментальной лабораторной установки

УРМ	Устройство распределения мощности экспериментальной лабораторной установки
Кр1	Коэффициент эффективности рекуперации, характеризующий отношение энергии, возвращенной в накопитель при рекуперации, по отношению к энергии, затраченной на разгон автомобиля до начальной скорости. Оценивает степень влияния рекуперации на топливную экономичность автомобиля
Кр2	Коэффициент эффективности рекуперации, характеризующий отношение энергии, возвращенной в накопитель, по отношению к кинетической энергии движущегося автомобиля. Показывает свойства преобразования и накопления энергии в накопитель
Full hybrid (Смешанная комбинированная схема)	Гибридный автомобиль, использующий комбинированную энергоустановку со смешанной компоновочной схемой комбинированной энергоустановки, для передвижения может использовать ДВС, электродвигатель или их комбинацию. Например: Например система DHT автомобильной марки Chery, Toyota, Lexus.
Mild hybrid (неполный гибрид)	Тип гибридного автомобиля с маломощным электрическим приводом, не позволяющим передвигаться только за счет электродвигателя. Например: Geely ATLAS PRO
Plug in (префикс "P")	Приставка к названию гибридного автомобиля, указывающая на то, что аккумуляторная батарея может подзарядаться от внешней электросети. Например: PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicle)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аджиманбетов, С. Б. Оценка эффективности системы рекуперации гибридного автомобиля с вариатором / С. Б. Аджиманбетов, М. С. Льянов // В сборнике: Достижения науки – сельскому хозяйству. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (заочной) . – 2017. – С. 278–280.
2. Азаров, В. К. Автомобиль и его влияние на систему «дорога – окружающая среда – человек» / В. К. Азаров, В. Ф. Кутенев, А. М. Сайкин // Труды НАМИ. – 2013. – № 254. – С. 47–57.
3. Азаров, В. К. К вопросу об экологически чистом городском транспорте / В. К. Азаров, С. В. Гайсин, В. Ф. Кутенев // Журнал автомобильных инженеров, 2016. – № 2 (97). – С. 36–41.
4. Азаров, В. К. Проблемы создания экологически чистого автомобиля / В. К. Азаров, В. Ф. Кутенев, А. М. Сайкин // Автомобильная промышленность. – 2013. – № 10. – С. 5–7.
5. Азаров, В. К. О показателе экологической опасности автотранспортных средств / В. К. Азаров, В. Ф. Кутенев // Труды НАМИ. – 2014. – № 257. – С. 31–40.
6. Азаров, В. К. О реальном выбросе твердых частиц автомобильным транспортом / В. К. Азаров, В. Ф. Кутенев, В. В. Степанов // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 4 (81). – С. 45–47.
7. Азаров, В. К. Разработка комплексной методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Азаров Вадим Константинович ; НАМИ. – Москва, 2014. – 138 с.
8. Азаров, В. К. Эколого-экономические проблемы различных проектов «экологически чистого» зеленого автомобиля / В. К. Азаров, С. В. Гайсин,

В. Ф. Кутенев, А. В. Васильев // Известия МГТУ МАМИ. – 2015. – Т. 1. – № 2 (24). – С. 16–23.

9. Александров, И. К. Адаптивные трансмиссии – путь к созданию экономичных машинных агрегатов и транспортных средств / И. К. Александров, Е. В. Несговоров, **В. А. Раков** // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 1. – С. 25–30.

10. Александров, И. К. Энергетический КПД машины с частичной рекуперацией / И. К. Александров // Вестник машиностроения. – 2007. – № 9. – С. 17–18.

11. Александров, И. К. Анализ перспектив развития электрифицированного автомобильного транспорта / И. К. Александров, **В. А. Раков** // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 2 (39). – С. 50–52.

12. Александров, И. К. Система автоматического регулирования, обеспечивающая рекуперацию энергии в накопитель гибридной силовой установки / И. К. Александров, Е. В. Несговоров // Транспорт на альтернативном топливе, 2013. – № 4 (34). – С. 73–75.

13. Александров, И. К. Оценка энергетической эффективности ДВС в условиях неустановившегося режима работы / И. К. Александров, О. Л. Белков, **В. А. Раков** // Вестник машиностроения. – 2008. – № 6. – С. 17–20.

14. Александров, И. К. Перспективы развития транспортных средств с электроприводом / И. К. Александров, **В. А. Раков**, А. А. Щербакова // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4. – С. 65–68.

15. Александров, И. К. Перспективы развития транспортных средств с электроприводом / И. К. Александров, **В. А. Раков**, А. А. Щербакова // Транспорт на альтернативном топливе. – 2011. – № 4. – С. 65–68.

16. Александров, И. К. Ситуационный анализ освоения электрифицированного автомобильного транспорта / И. К. Александров, **В. А. Раков** // Экономический анализ: теория и практика. – 2011. – № 37. – С. 2–6.

17. Александров, И. К. Тяговый расчет транспортных средств с адаптивным приводным двигателем / И. К. Александров, Е. В. Несговоров, **В. А. Раков** // Вестник машиностроения. – 2010. – № 2. – С. 16–18.
18. Александров, И. К. Тяговый расчет транспортных средств с адаптивным приводным двигателем / И. К. Александров, **В. А. Раков**, Е. В. Несговоров // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 1. – С. 25–27.
19. Александров, И. К. Энергетический анализ механизмов и машин : монография / И. К. Александров. – 3-е изд., испр. и доп. – Вологда : ВоГУ, 2017. – 299 с.
20. Асоян, А. Р. Повышение технико-экономических и экологических показателей двигателя внутреннего сгорания путем добавки водорода в топливовоздушную смесь / А. Р. Асоян, В. А. Зенченко, Б. С. Борисов [и др.] // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2022. – № 3(70). – С. 34-39.
21. Бояршинов, М. Г. Температурный режим системы выпуска автомобиля при пониженных температурах / М. Г. Бояршинов, Н. И. Кузнецов // Мир транспорта, 2019. – № 4 (83). – С. 48–67.
22. Васильев, А. В. Разработка методики оценки выбросов твердых частиц при движении автомобилей от износа протектора шин, тормозных механизмов и дорожного покрытия для конкретных условий эксплуатации / А. В. Васильев // Труды НАМИ, 2016. – № 264. – С. 48–64.
23. Гулия, Н. В. Механическая гибридная силовая установка / Н. В. Гулия, В. В. Давыдов, В. А. Бабин, А. И. Лаврентьев // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 8. – С. 10–11.
24. Гаевский, В. В. Электромобиль против гибридного автомобиля / В. В. Гаевский, И. В. Одиноква // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 9. – С. 10–17.
25. Гусаков, С. В. Исследование резервов повышения эффективности работы ДВС в составе гибридной силовой установки / С. В. Гусаков, А.

Мохсен // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2014. – № 18 (145). – С. 41–44.

26. Гусаков, С. В. Улучшение эксплуатационных показателей транспортных средств при использовании гибридных силовых установок / С. В. Гусаков, В. А. Марков, И. В. Афанасьева // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 2. – С. 32–41.

27. Гусаков, С. В. Энергетический баланс гибридной силовой установки автомобиля при его движении в соответствии с новым европейским испытательным циклом NEDC / С. В. Гусаков, И. В. Афанасьева, В. А. Марков // Грузовик. – 2010. – № 7. – С. 22–34.

28. Двадненко, В. Я. Исследование эффективности рекуперативного торможения гибридного автомобиля / В. Я. Двадненко // Автомобиле- и тракторостроение : Материалы Международной научно-практической конференции. – Т.2. – 2018. – С. 12–15.

29. Девянин, С. Н. Проблемы электрификации автомобильного транспорта России / С. Н. Девянин, В. А. Марков, А. А. Савастенко, Э. А. Савастенко // Двигателестроение. – 2022. – № 1(287). – С. 21-31.

30. Девянин, С. Н. Проблемы развития электропривода АТС / С. Н. Девянин, А. В. Шабанов, А. А. Савастенко // Автомобильная промышленность. – 2021. – № 12. – С. 4-7.

31. Дьяченко, В. Г. Теория двигателей внутреннего сгорания : учебник : перевод с украинского языка / В. Г. Дьяченко. – Харьков : ХНАДУ. – 2009. – 500 с.

32. Дидманидзе, О. Н. Основы проектирования комбинированных энергоустановок : монография / О. Н. Дидманидзе, Д. Г. Асадов, С. А. Иванов. – Москва : РГАУ-МСХА, 2020. – 130 с.

33. Добрецов, Р. Ю. Гибридная трансмиссия многоосной колесной машины / Р. Ю. Добрецов, С. А. Войнаш, И. П. Трояновская [и др.] // Грузовик. – 2023. – № 12. – С. 11-14.

34. Добрецов, Р. Ю. Семейство электромеханических трансмиссий на основе управляемых механизмов распределения мощности / Р. Ю. Добрецов, С. А. Войнаш, В. А. Соколова, С. Е. Арико // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-2(82). – С. 32-36.

35. Добрецов, Р. Ю. Принципы оценки значений основных параметров гибридной силовой установки и трансмиссии двухсекционной гусеничной машины / Р. Ю. Добрецов, С. А. Войнаш, В. А. Соколова [и др.] // Строительные и дорожные машины. – 2022. – № 11. – С. 16-22.

36. Дугельный, В. Н. Основные тенденции развития фрикционных материалов тормозных накладок / В. Н. Дугельный, А. Ю. Логунов, Е. К. Ровный // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта, 2013. – № 2 – С. 30–31.

37. Ерохов, В. И. Экологические показатели современных наземных транспортных средств / В. И. Ерохов // Грузовик. – 2020. – № 9. – С. 16-27.

38. Ерохов, В. И. Проектирование, расчет и эффективность электрического привода наземных транспортных средств / В. И. Ерохов // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2021. – Т. 20, № 2. – С. 63-81.

39. Ефремов, И. С. Теория и расчет тягового привода электромобилей : учебное пособие для вузов / А. П. Пролыгин, Ю. М. Андреев, А. Б. Миндлин. – Москва : Высшая школа, 1984. – 383 с.

40. Желтышев, А. В. Измерение расхода топлива автомобилей с электронным управлением системы питания / А. В. Желтышев, Н. Н. Желтышева, А. К. Назиров // Механики XXI века : Братск, БГУ. – 2015. – № 14. – С. 213–216.

41. Загарин, Д. А. Гибридные автомобили. Пути повышения их энергетической эффективности / Д.А. Загарин [и др.] // Автомобильная промышленность. – 2016. – № 1. – С. 4–7.

42. Златин, П. А. Электромобили и гибридные автомобили / П. А. Златин. – Москва : Агроконсалт, 2004. – 416 с.

43. Иларионов В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля / В. А. Иларионов. – Москва : Машиностроение, 1966. – 280 с.

44. Иваненко, М. А. Оценка экономической эффективности применения автотранспортных средств с комбинированной силовой установкой: специальность 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иваненко Михаил Андреевич ; Государственный университет управления. – Москва, – 2006. – 20 с.

45. Ипатов, А. А. Электромобили и автомобили с КЭУ / А. А. Ипатов, А. А. Эйдинов. – Москва : НАМИ, 2004. – 328 с.

46. Капустин, А. А. Альтернативная эффективность гибридных автомобилей / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 68–72.

47. Капустин, А. А. Гибридные автомобили : учебное пособие / **В. А. Раков**, А. А. Капустин. – Вологда : ВоГУ, 2016. – 96 с.

48. Капустин, А. А. Метод оценки выбросов парникового газа CO₂ электромобилями / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // Организации и безопасность дорожного движения в крупных городах : сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2018. – С. 194–200.

49. Капустин, А. А. Методика оценки влияния типа двигателя гибридных автомобилей на их экономичность и экологическую безопасность / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // Организация безопасности движения в крупных городах : сборник трудов участников двенадцатой международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2016. – С. 639–645.

50. Капустин, А. А. Оценка выбросов вредных веществ при рециклинге автомобилей / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и

надежность машин, приборов и оборудования : материалы международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2017. – С. 104–108.

51. Капустин, А. А. Оценка выбросов при производстве транспортных средств / А. А. Капустин, **В.А. Раков** // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2017. – С. 96–99.

52. Капустин, А. А. Оценка безопасности автомобиля при работе на природном газе, бензине или электричестве / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // Организации и безопасность дорожного движения в крупных городах : сборник трудов международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : СПбГАСУ, 2018. – С. 400–404.

53. Капустин, А. А. Перспективы использования различных типов конструкций комбинированных энергетических установок в автомобилях / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // 8-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса : сборник трудов Международной научно-технической конференции. – Москва : МАДИ, 2019. – С. 538–550.

54. Капустин, А. А. Сравнение выбросов загрязняющих веществ от автомобилей и различных энергетических установок / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6 (60). – С. 53–60.

55. Капустин, А. А. Сравнение выбросов загрязняющих веществ различными типами автомобилей при эксплуатации / **В. А. Раков**, А. А. Капустин // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда : ВоГУ, 2017. – С. 99–103.

56. Капустин, А. А. Экологическая безопасность электромобилей с точки зрения выбросов CO₂ / А. А. Капустин, **В. А. Раков** // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2018. – № 4. – С. 178.

57. Козлов, А. В. Анализ экологических требований «Евро-6» к автомобильным двигателям / А. В., Козлов А. С. Теренченко, А. В. Васильев // Журнал автомобильных инженеров. – 2017. – № 3 (104). – С. 40–46.

58. Карпухин, К. Е. Принципы и алгоритм управления автомобилем с гибридной силовой установкой : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Карпухин Кирилл Евгеньевич ; Московский государственный технический университет (МАМИ). – Москва, 2008. – 203 с.

59. Круглов, Г. А. Теплотехника : учебное пособие / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 208 с.

60. Кравченко, В. А. Эксплуатационные свойства автомобилей : учебное пособие / В. А. Кравченко. – зерноград : АЧГАА, 2005. – 218 с.

61. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов [и др.] ; под редакцией Е. С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Наука, 2001. – 535 с.

62. Лайкер, Д. К. Дао Toyota:14 принципов менеджмента ведущей компании мира : перевод с английского / Д. К. Лайкер. – Москва, 2005. – 402 с.

63. Лежнев, Л. Ю. Улучшение топливно-экономических и экологических показателей двигателей внутреннего сгорания в составе комбинированных энергетических установок автотранспортных средств : специальность 05.04.02 «Тепловые двигатели» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лежнев Лев Юрьевич ; НАМИ. – Москва, 2005. – 134 с.

64. Литвинов, А. С. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств : учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / А. С. Литвинов, Я. Е. Фаробин. – Москва : Машиностроение, 1989. – 240 с.

65. Ломакин, В. В. К определению расхода топлива и потребления энергии гибридных подзаряжаемых автомобилей / В. В. Ломакин, А. А. Шабанов, А. В. Шабанов // Актуальные вопросы машиноведения. – 2016. – Т. 5. – С. 12–14.

66. Ломакин, В. В. Моделирование движения гибридного автомобиля категории М1 в европейском городском цикле / В. В. Ломакин [и др.] // Журнал автомобильных инженеров. – 2015. – № 2 (91). – С. 40–44.

67. Марков, В. А. Теплоэнергетические установки и их системы автоматического управления и регулирования / В. А. Марков // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. – 2020. – № 6. – С. 106–130.

68. Малкин, М. А. Улучшение тягово-динамических свойств и топливной экономичности дорожных грузовых автомобилей за счет вспомогательной системы привода передних колес / М. А. Малкин, И. А. Куликов // Журнал автомобильных инженеров. – 2013. – № 5 (82). – С. 23–29.

69. Мигай, В. К. Моделирование теплообменного энергетического оборудования / В. К. Мигай. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1987. – 264 с.

70. Минкин, И. М. Повышение экономичности и экологических характеристик внутригородского автотранспорта за счет применения комбинированных энергетических установок на базе ДВС: специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Минкин Илья Михайлович : ФГУП НАМИ. – Москва, 2009. – 191 с.

71. Мохсен, А. Снижение эксплуатационного расхода топлива автомобильного дизеля за счет оптимизации режимов его работы при использовании агрегатов комбинированной силовой установки : специальность 05.04.02 «Тепловые двигатели» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Мохсен Ахмадния ; Российский университет дружбы народов. – Москва. – 2015. – 20 с.

72. Нагайцев, М. В. О деятельности Технологической платформы «Экологически чистый транспорт "Зеленый автомобиль"» / М. В. Нагайцев // Труды НАМИ / ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – Москва, 2014. – 182 с.

73. Ноздрин, А. В. Улучшение некоторых технико-эксплуатационных свойств автомобиля с помощью комбинированной энергоустановки : специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ноздрин Алексей Васильевич ; Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – Москва. – 2006. – 20 с.

74. Невмержицкий, Н. В. Расчетная методика и компьютерная программа для оценки и прогнозирования загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами РМ 10 И РМ 2,5 / Н. В. Невмержицкий, О. В. Ложкина, В. Н. Ложкин // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – № 2 (55). – С. 206–209.

75. Отарский, А. А. Улучшение топливно-экономических и токсических характеристик автомобилей за счет рекуперации энергии: автореферат дисс. ...кандидат техн. наук: 05.20.01. / А. А. Отарский. – Москва : МГАУ им. В.П. Горячкина, 2010. – С. 18.

76. Оганян, Э. А. Методика проектирования экскурсионных электробусов, адаптированных для перевозки пассажиров с ОВЗ / Э. А. Оганян, Г. П. Рыбаков, Р. Н. Хмелев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 3-5(82). – С. 67-73.

77. **Раков, В. А.** Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2020. – 240 с.

78. **Раков, В. А.** Анализ приспособленности трансмиссии автомобиля к характеристике топливной экономичности двигателя / В. А. Раков, Н. Н. Трушин // Мир транспорта и технологических машин. – 2022. – 1 (76). – С. 95–102.

79. **Раков, В. А.** Автоматизация процесса оценки технического состояния автомобилей / В. А. Раков, А. А. Капустин // Автоматизация и энергосбе-

режение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы XIII Международной научно-технической конференции (Вологда, 27 марта 2018 г.) / Министерство образования и науки Российской Федерации ; Вологодский государственный университет. – Вологда : ВоГУ, 2018. – С. 216–220.

80. **Раков, В. А.** Влияние рекуперации энергии торможения на выбросы твердых частиц от автотранспорта / В. А. Раков // Мир транспорта и технологических машин. – 2020. – 4 (71). – С. 61–69.

81. **Раков, В. А.** Выбор методов диагностирования энергетических установок различных типов автомобилей / В. А. Раков, И. К. Александров // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы XIII Международной научно-технической конференции (Вологда, 27 марта 2018 г.) / Министерство образования и науки Российской Федерации ; Вологодский государственный университет. – Вологда : ВоГУ, 2018. – С. 221–224.

82. **Раков, В. А.** Гибридный автомобиль. Концепция экономичного городского автомобиля. Исследование эффективности. Проектирование. Расчеты / В. А. Раков. – Германия : Саарбрюккен, 2012. – 104 с.

83. **Раков, В. А.** Диагностика автомобилей с гибридной силовой установкой – проблемы и пути их решения / В. А. Раков, И. К. Александров // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы шестой Международной научно-технической конференции (Вологда, 24–25 ноября 2010 г.) : [в 2 томах] / [ответственный редактор Ю. Р. Осипов]. – Вологда : ВоГТУ, 2010. – Т. 2. – С. 64–68.

84. **Раков, В. А.** Закономерности и перспективы совершенствования энергоустановок автомобилей / В. А. Раков, Н. Н. Трушин, А. А. Капустин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2022. – № 2 (86). – С. 64–70.

85. **Раков, В. А.** Стагнация развития конструкции двигателей внутреннего сгорания и ее влияние на экологичность автотранспортных средств / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2021. – С. 290–294.

86. **Раков, В. А.** Исследование эксплуатационных свойств автомобилей с гибридной энергоустановкой на основе анализа параметров текущих данных движения / В. А. Раков, В. А. Чупков // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XV Международной научно-технической конференции. – Вологда, 2021. – С. 294–296.

87. **Раков, В. А.** Исследование и испытание гибридных двигателей транспортных средств / В. А. Раков, А. В. Смирнов, Д. А. Колесниченко // Молодежь. Наука. Инновации : Труды I международной научно-практической интернет-конференции. – Пенза : Пензенский филиал РГУ-ИТП, 2010. – С. 246–257.

88. **Раков, В. А.** Исследование возможности ускорения прогрева двигателя автомобилей путем частичного использования тепла выхлопных газов / В. А. Раков, А.Ю. Сальников // Материалы IV ежегодных смотров-сессий аспирантов и молодых ученых по отраслям наук : Технические науки. Экономические науки. – Вологда : ВоГТУ, 2010. – С. 108–114.

89. **Раков, В. А.** Исследование теплопроводных процессов в пластинчатых газожидкостных теплообменниках / В. А. Раков // Энергоэффективные технологии в современном учреждении : материалы Международного энергетического форума. – Вологда : ВоГТУ, 2013. – С. 100–103.

90. **Раков, В. А.** Использование тепла отработавших газов для ускоренного прогрева двигателя и отопления салона транспортных средств / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 11. – С. 49–52.

91. **Раков, В. А.** Исследование теплопроводных процессов в пластинчатых газожидкостных теплообменниках / В. А. Раков // Энергоэффективные

технологии в современном учреждении : материалы Международного энергетического форума. – Вологда : ВоГТУ, 2013. – 120 с.

92. **Раков, В. А.** Исследование эксплуатационной надежности гибридных силовых установок автомобилей / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2013. – № 4. – С. 44–49.

93. **Раков, В. А.** Исследование эффективности рекуперации гибридной силовой установки / В. А. Раков // Энергетика: Эффективность, надежность, безопасность материалы трудов XIX Всероссийской научно-технической конференции. – Томск : ООО «Скан», 2013. – С. 138–141.

94. **Раков, В. А.** Комбинированная система привода с активным прицепом для автомобилей повышенной проходимости / В. А. Раков // Грузовик. – 2022. – № 9. – С. 6–10.

95. **Раков, В. А.** Исследование факторов, влияющих на периодичность обслуживания гибридных автомобилей / В. А. Раков // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования : материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 307–312.

96. **Раков, В. А.** Математическое моделирование рекуператоров тепловой энергии системы охлаждения ДВС / В. А. Раков // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 11. – С. 7–9.

97. **Раков, В. А.** Математическая модель для вычисления основных параметров гибридной силовой установки по заданным условиям эксплуатации / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы восьмой Международной научно-технической конференции (Вологда, 18–20 марта 2013 г.) / [ответственный редактор Ю. Р. Осипов]. – Вологда : ВоГТУ, 2013. – С. 175–179.

98. **Раков, В. А.** Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей : специальность 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Раков Вячеслав Александрович ; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург, 2012. – 169 с.

99. **Раков, В. А.** Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей / В. А. Раков // Технология колесных и гусеничных машин. – 2015. – № 2 (18). – С. 25–31.

100. **Раков, В. А.** Методика оценки влияния емкости накопителя энергии комбинированной энергоустановки автомобиля на его топливную экономичность / В. А. Раков // Грузовик. – 2022. – № 11. – С. 8–13.

101. **Раков, В. А.** Мероприятия по охране труда при работе с высоковольтным оборудованием автомобиля / В. А. Раков // Безопасность жизнедеятельности предприятий в промышленно развитых регионах : материалы Международной научно-практической конференции. – Кемерово : КузГТУ, 2015. – С. 66.

102. **Раков, В. А.** Моделирование процессов теплообмена в системах охлаждения ДВС с устройством подогрева / В. А. Раков // Сборник научных трудов SWorld. – Одесса : КУПРИЕНКО, 2013. – Т. 4, Вып. 2. – 96 с.

103. **Раков, В. А.** Определение оптимальных параметров накопителя энергии гибридных силовых установок автомобилей / В. А. Раков // Молодые исследователи – регионам : Материалы всероссийской научной конференции студентов и аспирантов (Вологда, 16–18 апреля 2009 г.) : в 2 томах / [ответственный редактор А. А. Плеханов]. – Вологда : ВоГТУ, 2009. – Т. 1. – С. 199–200.

104. **Раков, В. А.** Определение необходимой мощности ДВС гибридных силовых установок транспортных средств / В. А. Раков, А. В. Смирнов // Вестник машиностроения. – 2010. – № 4. – С. 29–31.

105. **Раков, В. А.** Определение мощности, потребляемой транспортным средством при неустановившихся режимах работы / В. А. Раков, И. К. Александров // Автомобильная промышленность. – 2013. – № 5. – С. 9–11.

106. **Раков, В. А.** Определение среднего значения мощности, необходимой транспортному средству для движения в городских условиях / В. А. Раков, А. В. Гуляев // Безопасность и проектирование конструкций в машиностроении и строительстве : материалы Международной научно-практической конференции. – Курск : ЮЗГУ, 2013. – С. 390–394.

107. **Раков, В. А.** Оценка возможности снижения выбросов CO₂ в атмосферу за счет электромобилей / В. А. Раков, А. А. Капустин // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации материалы 106-й Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 459–466.

108. **Раков, В. А.** Особенности налогообложения автомобилей с гибридными силовыми установками / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 2. – С. 54–56.

109. **Раков, В. А.** Оценка развития мирового автопарка гибридных автомобилей / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 8. – С. 49–52.

110. **Раков, В. А.** Оценка расхода топлива автомобиля при диагностировании по косвенным признакам / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2016. – № 4. – С. 51–53.

111. **Раков, В. А.** Оценка технического состояния гибридных силовых установок автомобилей / В. А. Раков // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 1. – С. 49–52.

112. **Раков, В. А.** Оценка экономической эффективности гибридных автомобилей / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы X международной научно-

технической конференции (Вологда, 24–25 марта 2015 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2015. – С. 161–166.

113. **Раков, В. А.** Пути дальнейшего развития комбинированных энергетических установок автомобилей / В. А. Раков, А. А. Капустин // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации : материалы 106-й Международной научно-технической конференции. – 2019. – С. 466–473.

114. **Раков, В. А.** Повышение энергетической эффективности гибридных двигателей последовательной схемы / В. А. Раков // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования : материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 112–117.

115. **Раков, В. А.** Повышение энергетической эффективности гибридных двигателей с параллельной схемой расположения элементов / В. А. Раков // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования : материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 118–123.

116. **Раков, В. А.** Развитие парка гибридных автомобилей / В. А. Раков // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 1 (45). – С. 52–59.

117. **Раков, В. А.** Расчет мощности ДВС гибридной силовой установки параллельного типа / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции (Вологда, 22–23 марта 2016 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2016. – С. 129–134.

118. **Раков, В. А.** Расчет параметров тягового привода электромобиля / В. А. Раков // Материалы II ежегодных смотров-сессий аспирантов и моло-

дых ученых по отраслям наук : в 2-х т. – Вологда : ВоГТУ, 2008. – Т. 1: Технические науки. – С. 225–229.

119. **Раков, В. А.** Расчет мощности ДВС гибридной силовой установки последовательного типа / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы одиннадцатой международной научно-технической конференции (Вологда, 22–23 марта 2016 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2016. – С. 134–138.

120. **Раков, В. А.** Результаты испытаний гибридных силовых установок различных схем по циклу движения Р-1.0 / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы девятой международной научно-технической конференции (Вологда, 18–19 марта 2014 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2014. – С. 181–186.

121. **Раков, В. А.** Результаты исследования рекуперации гибридной силовой установки / В.А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы девятой международной научно-технической конференции (Вологда, 18–19 марта 2014 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2014. – С. 186–190.

122. **Раков, В. А.** Результаты автоматизированного расчета параметров гибридного привода / В. А. Раков // Вузовская наука – региону : материалы восьмой всерос. науч.-техн. конф., 26 февр. 2010 г. – Вологда : ВоГТУ, 2010. – Т. 1. – С. 263–265.

123. **Раков, В. А.** Совершенствование энергосберегающего устройства ускоренного прогрева двигателя транспортных средств / В. А. Раков // Молодые исследователи – регионам : материалы всероссийской научной конферен-

ции студентов и аспирантов (Вологда, апрель 2012 г.) : [в 2 томах]. – Вологда : ВоГТУ, 2012. – Т. 1. – 453 с.

124. **Раков, В. А.** Способ измерения мощности двигателя транспортного средства, работающего в условиях неустановившегося режима работы / В. А. Раков, И. К. Александров // Альтернативные источники энергии на автомобильном транспорте: проблемы и перспективы рационального использования : материалы Международной научно-практической конференции. – Воронеж : ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 170–174.

125. **Раков, В. А.** Средства диагностирования технического состояния гибридных силовых установок / В. А. Раков // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы девятой Международной научно-технической конференции (Вологда, 18–19 марта 2014 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2014. – С. 177–181.

126. **Раков, В. А.** Система автоматического управления экономайзером отработавших газов двигателей / В.А. Раков, А.А. Синицын // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы X Международной научно-технической конференции (Вологда, 24–25 марта 2015 г.) / [ответственный редактор В. А. Раков]. – Вологда : ВоГУ, 2015. – С. 171–174.

127. **Раков, В. А.** Уменьшение времени прогрева двигателей и отопления салона транспортного средства за счет использования теплоты отработавших газов / В. А. Раков, А. Ю. Сальников // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 5 (41). – С. 36–43.

128. **Раков, В. А.** Исследование характеристик рекуперативного торможения автотранспортных средств / В. А. Раков // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2020. – Т. 19. – № 5. – С. 220–224.

129. **Раков, В. А.** Определение 30-минутной мощности комбинированной энергоустановки гибридных автомобилей / В. А. Раков // Транспорт на альтернативном топливе. – 2024. – № 1(97). – С. 69-76.

130. **Раков, В. А.** Результаты оценки эффективности эксплуатации гибридных автомобилей / В. А. Раков // Актуальные вопросы технической эксплуатации и автосервиса подвижного состава автомобильного транспорта : Сборник научных трудов по материалам 82-ой научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ, Москва, 30 января – 01 2024 года. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2024. – С. 70-76.

131. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.07.2023)

132. Рябов, И. М. Проблемы создания системы рекуперации энергии торможения транспортных средств и пути их решения // И. М. Рябов, С. А. Ширяев, Ю.Г. Юсупов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – С. 127–132.

133. Сайкин, А. М. Методологические аспекты улучшения экологической безопасности автотранспортных средств / А. М. Сайкин // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 3. – С. 78–82.

134. Сайкин, А. М., Экологические проблемы современных транспортных средств, в том числе электромобилей / А. М. Сайкин, Г. Г. Тер-Мкртчян, К. Е. Карпухин [и др.] // Вестник машиностроения. – 2017. – № 2. – С. 84–87.

135. Саламатов, Ю. П. Система законов развития техники / Ю. П. Саламатов // Шанс на приключение : сборник научных трудов / составитель А. Б. Селюцкий. – Петрозаводск : Карелия, 1991. – 304 с.

136. Сидоров, К. М. Энергетическая и топливная эффективность автомобилей с гибридной силовой установкой : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сидоров Кирилл Михайлович ; МАДИ. – Москва, 2010. – 24 с.

137. Солнцев, А. А. Совершенствование технологии термостатирования аккумуляторных батарей электробусов / А. А. Солнцев, А. Р. Асоян, Н. В. Лобов [и др.] // Грузовик. – 2022. – № 10. – С. 32-34.

138. Сурин, Е. И. Энергетическая эффективность электромобилей и гибридных автомобилей / Е. И. Сурин // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2006. – № 6. – С. 3–5.

139. Тимков, А. Н. Разработка гибридного автомобиля на базе автомобиля ЗАЗ-1102 / А. Н. Тимков, А. С. Иванов, А. П. Луцик // Труды НАМИ. – 2012. – № 251. – С. 48–52.

140. Токарев, А. А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля / А. А. Токарев. – Москва : Машиностроение, 1982. – 224 с.

141. Трофименко, Ю. В. Оценка загрязнения воздуха аэрозольными частицами менее 10 мкм от транспортных потоков на городских автомагистралях / Ю. В. Трофименко, В. С. Чижова // Экология и промышленность России, 2012. – № 9. – С. 41–45.

142. Трофименко, Ю. В. Экологичность и антитеррористическая защищенность городских транспортных систем. – Текст : электронный // Техносферная безопасность в МАДИ. – URL: <http://xn----btb5aihqd.xn--p1ai/files/divnomorsk-2017-trofimenko.pdf> (дата обращения 05.11.2019).

143. Умняшкин, В. А. Основы методики расчета и обоснования базовых параметров гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля» / В. А. Умняшкин // Интеллектуальные системы в производстве. – 2008. – № 1 (11). – С. 164–174.

144. Филькин, Н. М. Разработка новых технологических решений по созданию гибридной энергоустановки для легковых и малотоннажных грузовых автомобилей / Н. М. Филькин, А. С. Кондрашкин // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 7. – С. 49–50.

145. Хабардин, С. В. Математическое моделирование процесса определения расхода топлива при трогании машины с места под нагрузкой / С. В. Хабардин, Н. А. Михайлов, Д. И. Хлыстов // Вестник ИрГСХА. – 2015. – № 70. – С. 98–106.

146. Хамидуллин, Р. П. Совершенствование конструкции гибридной энергосиловой установки параллельной компоновочной схемы за счет устранения жесткой кинематической связи между тепловым и электрическим двигателями : специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Хамидуллин Радик Планетович ; ИжГТУ. – Ижевск, 2007. – 24 с.

147. Чижова, В. С. Загрязнение атмосферного воздуха аэрозольными частицами менее десяти микрон от автотранспорта в крупном городе / В. С. Чижова // Автотранспортное предприятие, 2011. – № 10. – С. 30–31.

148. Чижова, В. С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее десяти микрон : специальность 05.22.10 «Тепловые двигатели» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чижова Вера Сергеевна ; Московский автодорожный университет. – Москва, – 2015. – 20 с.

149. Чудаков, Е. А. Избранные труды. Том 1. Теория автомобиля / Е. А. Чудаков. – Москва : АН СССР, 1961. – 463 с.

150. Шелмаков, С. В. Улучшение энерго-экологических характеристик автомобилей : учебное пособие / С. В. Шелмаков. – Москва : МАДИ, 2018. – 282 с.

151. Эйдинов, А. А. Решение проблемы обеспечения комплексной безопасности автомобилей средствами современных систем электрооборудования : специальность 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Эйдинов Анатолий Алексеевич ; Московский государственный автомобильно-дорожный институт (технический университет). – Москва, 2006. – 47 с.

152. Яковлев, Н. А. Теория и расчет автомобиля / Н. А. Яковлев. – Москва : Машгиз, – 1950. – 369 с.

153. Януш, Д. Н. Предложения по экологическому мониторингу концентраций дисперсных частиц в придорожной территории автомобильных дорог города Оренбурга / Д. Н. Януш, А. С. Вольнов // Научное обозрение. Педагогические науки, 2019. – № 3-4. – С. 125–130.

154. Автомобильный справочник : перевод с английского / Фирма BOSCH. – Москва : За рулем, 2012. – 1280 с.

155. Возрастная структура парка легковых автомобилей в России. – Текст : электронный // Аналитическое агентство Автостат. 2019 : сайт. – URL: <https://avtostat-info.com/News/8168> (дата обращения 17.03.2019).

156. ГОСТ Р 52517-2005. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Характеристики. Часть 1. Стандартные исходные условия, объявление мощности, расхода топлива и смазочного масла. Методы испытаний. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 27.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

157. ГОСТ Р ИСО 23274-2013. Транспорт дорожный гибридно-электрический. Измерение выхлопных газов и потребления топлива. Транспортные средства, не использующие внешнюю подзарядку. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 05.11.2019). – Режим доступа : для авториз. пользователей.

158. ГОСТ Р 58554–2019. Автомобильные транспортные средства. Показатели энергоэффективности и экологии. Способы информирования потребителей. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 05.11.2020). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

159. ГОСТ Р 59102-2020. Электромобили и автомобили с комбинированными энергоустановками. Термины и определения. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 27.06.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

160. ГОСТ Р 59483-2021. Колесные транспортные средства. Термины и определения. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 27.08.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

161. ГОСТ Р 59890-2021. Автомобильные транспортные средства. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами. Технические требования и методы испытаний на базе всемирной согласованной процедуры испытания транспортных средств малой грузоподъемности и испытаний в реальных условиях эксплуатации. – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 27.07.2023). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

162. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте : введены в действие Распоряжением Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

163. Распоряжение от 20.09.18 № ИА-159-р О внесении изменения в Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», Введенные в действие Распоряжением Министерства Транспорта Российской Федерации от 14 марта 2008 г. № АМ-

23-р. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

164. Распоряжение Минприроды России от 16.04.2015 « 15-р «Об утверждении методических рекомендаций по проведению добровольной инвентаризации объема выбросов парниковых газов в субъектах Российской Федерации» – Текст : электронный // Техэксперт : информационно-справочная система / Консорциум «Кодекс» (дата обращения 27.08.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

165. Комплексный план мероприятий поддержки производства и использования экологически чистого транспорта, утвержденного заместителем Председателя Правительства РФ 22 октября 2014 года № 7116п-П9 в рамках реализации транспортной стратегии РФ на период до 2030 года. – URL: <http://static.government.ru/media/files/MFAYz2tLFv39cnUEYz0AyQI4IRcpcSLd.pdf> (дата обращения: 05.11.2019). – Текст : электронный.

166. Патент № 120923 Российская Федерация, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания : № 2012117682/11(026664) : заявл. 24.04.2012 / **В. А. Раков**; заявитель и патентообладатель В. А. Раков.

167. Патент № 127690 Российская Федерация, МПК В60Н1/18. Система автоматического управления экономайзером отработавших газов : № 2012152765/11 : заявл. 06.12.2012 / **В. А. Раков**, А. А. Сеницын, В. В. Верховуров ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ВоГТУ.

168. Патент № US8340925B2 США, Автомобильный калькулятор расхода топлива : дата приоритета : 2010.06.10 / Паул Хиггинс, Грахам Виллиамс.

169. Патент EP3147487A1. Метод определения расхода топлива двигателя автомобиля : дата приоритета 2015.09.25 / Бусо Такигава, Дильшат Аблам Амаджан Зунун.

170. Патент US 7774130 B2. Методы и система оценки расхода и топливной эффективности транспортных средств : дата приоритета : 2007.07.07 / Гари Томас Пеппер.

171. Патент US6594579B1. Интернет-метод определения топливной экономичности автомобиля : дата приоритета : 2003.07.15 / Ларкин Хилл Лоури, Брюс Лайтнер [и др.].

172. Патент US9939301B2. Автоматизированная система контроля расхода топлива : дата приоритета 2016.02.16 / Джеймс Дэвид Ситон, Александр Шубс.

173. Патент US20160133065A1. Система измерения и стимулирования водителя для повышения эффективности использования топлива : дата приоритета : 2013.07.29 / Джеффри К. Баер, LinkeDrive, Inc.

174. Об исчислении транспортного налога : Письмо Минфина России от 31.10.2012 № 03-05-07-04/18. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 07.12.2020).

175. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: приложение к приказу Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации : Приказ Минтруда и социальной защиты 24.07.2013 № 328Н // Российская газета. – 2014. – 35 с.

176. Правила по охране труда на автомобильном транспорте : Приказ Минтруда России от 06.02.2018 № 59н. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

177. Постановление Правительства РФ от 12.07.2017 № 832 «О внесении изменений в Постановление Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 23 октября 1993 г. № 1090» – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

178. О внесении изменений в Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», введенные в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р. : Распоряжение Минтранса России от 14.07.2015 № НА-80-р. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

179. О введении в действие методических рекомендаций «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте» : Распоряжение Минтранса РФ от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

180. О внесении изменений в методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте», введенные в действие распоряжением Министерства транспорта Российской Федерации от 14 марта 2008 г. № АМ-23-р. : Распоряжение Минтранса России от 14.05.2014 № НА-50-р. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

181. Расчетная нагрузка двигателя : сайт компании ТехСтоп. – URL: <https://techstop-ekb.ru/ismi/430-load.htm> (дата обращения: 5.11.2019). – Текст : электронный.

182. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух : утвержден ОАО «НИИАТ» 17.11.2006 / Минтранс РФ. – Москва, 2006. – 55 с.

183. Регистрационная карта: инв. № 50201001370. Автоматизированный расчет оптимальных параметров гибридных силовых установок транспортных средств с последовательной и параллельной схемой расположения

элементов: программа ГСУ-АВТО. – ИКАП / **В. А. Раков.** – № И100616190121; дата регистрации 10.08.10. – Москва : ВНИИЦ, 2010. – 2 с.

184. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2013. Общие руководящие указания по подготовке национальных инвентаризаций выбросов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (дата обращения: 03.02.2020). – Текст : электронный.

185. Сайт компании ТехСтоп. Расчетная нагрузка двигателя – URL: <https://techstop-ekb.ru/ismi/430-load.htm> (дата обращения: 05.11.2019). – Текст : электронный.

186. **Раков, В. А.** КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.

187. Справочник по теплообменникам : перевод с английского: [в 2 томах]. Том 1 / под редакцией Б. С. Петухова, В. К. Шикова. – Москва : Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.

188. Сводная таблица производительности электронных топливных форсунок. – URL: <http://users.erols.com/srweiss/tableifc.htm> (дата обращения 05.11.2019). – Текст : электронный.

189. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4261-р Об утверждении Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации до 2035 г. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963861/> (дата обращения 05.11.2022). – Текст : электронный.

190. О требованиях к выбросам автомобильной техникой, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации, вредных (загрязняющих) веществ : Постановление Правительства Российской Федерации от 12 октября 2005 г. № 609 с поправками от 30.07.2014 г. – Текст : электронный // Кон-

сультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

191. О безопасности колесных транспортных средств / ТР ТС 018/2011. Решение Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 877 : Технический регламент Таможенного союза. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

192. Управление бензиновым двигателем. Теория и компоненты : перевод с английского : учебное пособие. – Москва : ЗАО «Легион-Автодата», 2012. – 88 с.

193. О направлении информации : Письмо от 22 сентября 2011 г. № АЗ-101-26/8058. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.11.2019).

194. Письмо Минфина России от 14.12.2021 № 03-13-06/102119. Разъяснение по вопросу налогообложения акцизами автомобилей, оснащенных одновременно двигателем внутреннего сгорания и электрическим двигателем. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : справочно-правовая система / Компания «КонсультантПлюс» (дата обращения 05.03.2022).

195. Численность автопарка автомобилей России. – Текст : электронный // Аналитическое агентство «Автостат». – URL: <https://quto.ru/journal/news/avtostat-poschital-ves-avtotransport-rossii-23-07-2024.htm> (дата обращения: 15.01.2025).

196. Aleksandrov, I. K. Tractional Calculations for Vehicles with Adaptive Motors / I. K. Aleksandrov, E.V. Nesgovorov, **V. A. Rakov** // Russian Engineering Research. – 2010. – Vol. 30, Issue 2. – P. 122–124.

197. Armstead, J. R. Review of Waste Heat Recovery Mechanisms for Internal Combustion Engines. / J. R. Armstead, , S. A. Miers, // (ASME. J. Thermal Sci. Eng., 2013. – 6(1). – P. 014001.

198. Anatychuk, L.I., Kuz, R.V., and Rozver, Yu.Yu. Efficiency of Thermo-electric Recuperators of the Exhaust Gas Energy of Internal Combustion Engines. AIP Conference Proceedings 1449, 2012. – P. 516.
199. Benajes, J. Potential of RCCI Series Hybrid Vehicle Architecture to Meet the Future CO₂ Targets with Low Engine-out Emissions // Jesús Benajes, et al. / Applied Sciences, 2018. – P. 1472.
200. Baskov, V. Assessing the Influence of Operating Factors on the Properties of Engine Oil and the Environmental Safety of Internal Combustion Engine. / V. Baskov, A. Ignatov, V. Polotnyanshikov // Transportation Research Procedia, 2020. – P. 37–43.
201. Bajerlein, M. Evaluation of the Effectiveness of Heating Systems applied in City Buses / M. Bajerlein, J. Merkisz, P. Daszkiewicz // In Applied Mechanics and Materials, 2013. – Vol. 391. – P. 185–190.
202. Bielaczyc, P. The Effect of a Low Ambient Temperature on the Cold-start Emissions and Fuel Consumption of Passenger Cars / P. Bielaczyc, A. Szczotka, J. Woodburn // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2011. – 225(9). – P. 1253–1264.
203. Bohnes, F. A. Environmental Impacts of Future Urban Deployment of Electric Vehicles: Assessment Framework and Case Study of Copenhagen for 2016-2030 / F. A. Bohnes, J. S. Gregg, A. Laurent // Environmental Science and Technology. – 2017. – № 51 (23). – P. 13995–14005.
204. Dardiotis C. Low-temperature Cold-start Gaseous Emissions of Late Technology Passenger Cars / C. Dardiotis, G. Martini, A. Marotta, U. Manfredi // Applied Energy, 2013. – Vol. 111. – P. 468–478.
205. Danca, P. An Overview of Current Methods for Thermal Comfort Assessment in Vehicle Cabin / P. Danca, A. Vartires, A. Dogeanu // Energy Procedia, 2016. – Vol. 85. – P. 162–169.

206. Dubouil, R. Modelling of the Warm-up of a Spark Ignition Engine: Application to Hybrid Vehicles / R. Dubouil, J. Hetet, A. Maiboom // SAE Technical Paper, 2011. – P. 1747.
207. Dunne, J. F. Optimal Gear Ratio Planning for Flywheel-based Kinetic Energy Recovery Systems in Motor Vehicles / J. F. Dunne, L. A. Ponce Cuspinera // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, – 137(7). – 2015. – 071012.
208. Ferguson, C. R. Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences / C. R. Ferguson, A. T. Kirkpatrick // John Wiley & Sons, 2015. – P. 480.
209. Gaidar, S., Karelina, M., Laguzin, A., & Quang, H.D. (2020). Impact of Operational Factors on Environmental Safety of Internal Combustion Engines / S. Gaidar, M. Karelina, A. Laguzin, H.D. Quang // Transportation Research Procedia. 2020. – P. 136–144.
210. Gis, M. Efficiency of Electric Vehicle Interior Heating Systems at Low Ambient Temperatures / M. Gis, P. Wiśniowski, M. Bednarski // Open Engineering, 2021. – Vol. 11. – No. 1. – P. 499–507.
211. Higuchi, Y. Efficient Heat Pump System for PHEV/BEV / Y. Higuchi, H. Kobayashi, Z. Shan, M. Kuwahara, et al. // SAE Technical Paper 2017. – P. 0188.
212. Ibarra-Bahena, J. Evaluation of the Thermodynamic Effectiveness of a Plate Heat Exchanger Integrated into an Experimental Single Stage Heat Transformer Operating with Water / J. Ibarra-Bahena, R.J. Romero, L. Velazquez-Avelar, et. al. // Carrol mixture, Experimental Thermal and Fluid Science, 2013. – Vol. 51. – P. 257–263.
213. Ilimbetov, R. Yu. Comparative Analysis of “NGTU–Electro” Electric Car Movement Processes Modeling in MATLAB Simulink and AVL Cruise Software / R. Yu Ilimbetov, V.V. Popov, A. G. Vozmilov // Procedia engineering, 2015. – Vol. 129. – P. 879–885.
214. In'kov, Y.M. Control of Recuperative Braking of a Locomotive under Limitation of the Energy Recovery to a Contact System / Y.M. In'kov, V.P. Feok-

tistov, O.V. Tretinnikov // Russian Electrical Engineering. 2015. Vol. 86, No 9. – pp. 509–513.

215. Jouhara, H. Waste Heat Recovery Technologies and Applications / H. Jouhara, N. Khordehgah, S. Almahmoud, et al // Thermal Science and Engineering Progress, 2018. – Vol. 6. – P. 268–289.

216. Kapsky, D.V. Determination of Environmental Losses in the City from Vehicle Traffic / D.V. Kapsky, P.A. Pegin, S.A. Evtyukov // Water and ecology, 2017. – 3. – P. 146–157.

217. Kneba, Z. Research on the Phenomena of Warming Up and Free Cooling Down the car Engine / Z. Kneba // In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. – Vol. 421. – No. 4. – P. 042037.

218. Liu, B. Hybrid Electric Vehicle Downshifting Strategy Based on Stochastic Dynamic Programming During Regenerative Braking Process / B. Liu, L. Li, X. Wang, Sh. Cheng // IEEE T Veh Technol 2018; 67(6): 4716–4727.

219. Li, K. High Efficiency Regenerative Braking Control Strategy for Electric Vehicle / Li, K. Zhang C.-H, Naxin Cui // – 2008. – 12. – P. 324–330.

220. Luján, J. Potential of Exhaust Heat Recovery for Intake Charge Heating in a Diesel Engine Transient Operation at Cold Conditions / J. Luján, H. Climent, V. Dolz, A. Moratal, et al. // Applied Thermal Engineering, 2016. – Vol. 105. – P. 501–508.

221. Lee, J. Development of Effective Exhaust Gas Heat Recovery System for a Hybrid Electric Vehicle / J. Lee, H. Ohn, J. Choi, S. Kim, et al. // SAE Technical Paper, 2011, – P. 1171.

222. Kapustin, A. Methodology to Evaluate the Impact of Hybrid Cars Engine Type on their Economic Efficiency and Environmental Safety / A. Kapustin, **V. Rakov** // Transportation Research Procedia : 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities", SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia. – 2017. – P. 247–253.

223. Kapustin, A. Assessing Safety of Gas, Petrol and Electric Vehicles / A. Kapustin, **V. A. Rakov** // Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (SPbOTSIC 2018). – 2018. – Vol. 36. – P. 260–265.

224. Kapustin, A. Methodology to Evaluate the Impact of Hybrid Cars Engine Type on their Economic Efficiency and Environmental Safety / A. Kapustin, **V. A. Rakov** // International Conference on Road Organization and Safety in Big Cities. – 2017. – V. 20. – Issue . – P. 247–253.

225. Kapustin, A. Results of assessing CO₂ Emissions from E-vehicles in Case of their Possible Switching to Electricity / A. Kapustin, **V. A. Rakov** // Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (SPbOTSIC 2018). – 2018. – Vol. 36. – P. 266–273.

226. Kapustin, A. Results of assessing CO₂ emissions from e-vehicles in case of their possible switching to electricity / A. Kapustin, **V. A. Rakov** // Transportation Research Procedia, 36, 2018. – pp. 266–273.

227. Karelina M. Y., Didmanidze O. N. and **Rakov V. A.**, "Methodological Approaches to Estimation of the Braking Energy Recovery Properties," 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021. – pp. 1–4

228. Karelina, M., **Rakov, V.**, Ershov, V., Klimenko, V. A hybrid drive system for off-roaders with a powered trailer to be used in the Arctic Region / M. Karelina, V. Rakov, V. Ershov, V. Klimenko // Transportation Research Procedia. – 2021. – pp. 285–290.

229. Khodaparastan, M. Recuperation of Regenerative Braking Energy in Electric Rail Transit Systems / M. Khodaparastan, , A.A. Mohamed, W. Brandauer // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – Vol. 20. – No 8. – 2019. – P. 2831–2847.

230. Kiyakli, A. O. Modeling of an Electric Vehicle with MATLAB/Simulink / A. O. Kiyakli, S. Hamit // International journal of automotive science and technology 2.4, 2018. – P. 9–15.
231. Kliauzovich, S. Analysis of Control Systems for Vehicle Hybrid Powertrains / S. Kliauzovich // Transport. – 2007. – Vol 22. – No 2. – P. 105-110.
232. Kulikov, I. A. Modeling and Simulation of Parallel Type Hybrid Electric Vehicle / I. A. Kulikov, V. V. Selifonov // Труды НАМИ. 2009. – № 242. – P. 67–84.
233. Kulekina A.V. Combined Braking System for Hybrid Vehicle / A. V. Kulekina, P. A. Bakholdin, N. I. Shchurov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. – Vol. – 87, Issue 3. – P. 032020.
234. Mavrin, V. Reduction of Environmental Impact from Road Transport Using Analysis and Simulation Methods / V. Mavrin, K. Magdin, V. Shepelev, I. Danilov // Transportation Research Procedia, 2020. – 50. – P. 451–457.
235. Mahmoudzadeh, A. A. Hybrid Electric Vehicle Performance with Organic Rankine Cycle Waste Heat Recovery System / A. Mahmoudzadeh, A. Pesiridis, A. Karvountzis-Kontakiotis, V. Esfahanian. – Applied Sciences. – 2017, – 7(5), 437.
236. Mesbahi, T. Advanced Model of Hybrid Energy Storage System Integrating Lithium-ion Battery and Supercapacitor For Electric Vehicle Applications / T. Mesbahi, et al. // IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2020.
237. Oleksowicz, S.A. Regenerative Braking Strategies, Vehicle Safety and Stability Control Systems: Critical Use-case Proposals Vehicle System Dynamics / Oleksowicz S.A., Burnham K.J., Southgate A., McCoy C., et al. // 2013. – Vol 51. – No 5. – P. 684–699.
238. Orr, B., Akbarzadeh. An Exhaust Heat Recovery System Utilising Thermoelectric Generators and Heat Pipes. / B. Orr, A. Akbarzadeh, P. Lappas // Applied Thermal Engineering. Elsevier, 2017, – Vol. 126. –N.5. – P. 1185–1190.

239. Ortenzi, F. A new Method to Calculate Instantaneous Vehicle Emissions Using OBD data / F. Ortenzi and M.A. Costagliola // Tech. Rep., SAE International, Warrendale, USA, 2010. – SAE Technical paper. – P. 0148–7191.

240. Pistoia, G. Electric and hybrid vehicles. Power sources, models, sustainability, infrastructure and the market / Pistoia, G. – Oxford : The Netherlands Linacre House. Great Britain. – 2010. – 645 p.

241. Pipitone, E. A Regenerative Braking System for Internal Combustion Engine Vehicles Using Supercapacitors as Energy Storage Elements - Part 2: Simulation Results / E. Pipitone, G. A. Vitale // Journal of Power Sources, 2019. – 448. – P. 1–13.

242. Pipitone, E., Vitale, G. A. Regenerative Braking System for Internal Combustion Engine Vehicles Based on Supercapacitors - Part 1: System Analysis and Modeling Submitted for Publication to Journal of Power Sources, available at: http://emilianopipitone.altervista.org/publication_list.htm (дата обращения: 03.02.2020). – Текст : электронный.

243. Peñate, B. Operation of the RO Kinetic Energy Recovery System: Description and Real Experiences / Peñate B., Fuente J.A., Barreto M. // Desalination. – 2010. – Vol 252. – No 1-3. – P. 179–185.

244. **Rakov, V.** Assessment of Feasibility of Using the Existing Electric Power Infrastructure for Charging Electric and Hybrid Vehicles / V. Rakov, O. Pikalev, T. Akhmetov, T. Bulavina, P. Smirnov // E3S Web Conf., 2020. – Vol. 178. – P. 01056.

245. **Rakov, V.** Determination of the Required Power for Bus Hybrid Engine / V. Rakov, T. Akhmetov, A. Capustin, A. Vostrov // Paper presented at the E3S Web of Conferences, 2020. – Vol. 178. – P. 01076.

246. **Rakov, V.** Study of Braking Energy Recovery Impact on Cost-efficiency and Environmental Safety of Vehicle / V. Rakov, A. Kapustin, I. Danilov // Transportation Research Procedia, 2020. – 50. – P. 559–565.

247. **Rakov, V. A.** Assessment of Technical Condition Hybrid Propulsion Systems Cars / V. A. Rakov // Modern Scientific Research and Their Practical Application. – Odessa: KFU, 2013. – Vol. 21311. – P. 14–21.

248. **Rakov, V. A.** Development of Diagnostic Matrices Identify Faults and Fault Elements of Hybrid Engine / V. A. Rakov // Modern Scientific Research and Their Practical Application. – Odessa, 2014. – P. 222–225.

249. **Rakov, V. A.** Evaluating the Effectiveness of Recuperation of Hybrid Engine / V. A. Rakov // Modern Scientific Research and Their Practical Application. – Odessa, 2014. – P. 12–15.

250. **Rakov, V.A.** Decreasing Emissions of PM by Vehicles through Brake Energy Recovery / V.A. Rakov // 2021 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1079 062054.

251. **Rakov, V.A.** Determination of Optimal Characteristics of Braking Energy Recovery System in Vehicles Operating in Urban Conditions / V. A. Rakov // Transportation Research Procedia. – 2020. – V. 50. – Issue . – P. 566–573.

252. Rakov, V.A., Karelina, M.Yu., Kostyuk, I.V., Cherepnina, T.Yu., Rogov, V.R. (2021) Mathematical Modeling of Motion Parameters of a Vehicle with a Buffer Energy Storage // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 – Conference Proceedings, 2021. – P. 9488340

253. **Rakov, V.** Method for Determining the Basic Energy Characteristics of Elements of a Hybrid Car Engine / V. Rakov, V. N. Ivanov, Y. G. Karpov, V. F. Melehin, R. A. Izmailov, V. K. Yun, D. A. Zaripova // Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019. – Vol 337(1). – P. 012066.

254. **Rakov V. A.**, Subbotin B. S., Ivanov A. M. and Podgornyy A. V., "Stagnation in the Development of Internal Combustion Engines as a Factor of Transition to More Perfect Power Units," 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021. – pp. 1–5.

255. **Rakov, V. A.** Using Exhaust Heat to Speed Up the Engine Warm Vehicle / V. A. Rakov // Scientific enquiry in the contemporary world: Theoretical basics and innovative approach. L&L Publishing Titusville, FL, USA. – 2012. – P. 86–87.

256. Romero, C. Energy Balance During the Warm-Up of a Diesel Engine / C. Romero, A. Torregrosa, P. Olmeda, and J. Martin // SAE Technical Paper, 2014. – P. 0676.

257. Saidur, R. Technologies to Recover Exhaust Heat from Internal Combustion Engines / R. Saidur, M. Rezaei, W.K. Muzammil, M.H. Hassan, S. Paria et. al. // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2012. – Vol .16, – P. 5649–5659.

258. Smirnov P. I. The Application of Transport Telematics for the Organization of an Innovative System for the Organization of the Technical Maintenance of Vehicles / P. I. Smirnov, O. N. Picalev // International Science and Technology Conference "EastConf", Vladivostok, Russia, – 2019. – P.1–8.

259. Schroten, A. Marginal Abatement Cost Curves for Heavy Duty Vehicles: Background Report / A. Schroten, A. Warringa, M. Bles // CE Delft, Delft, Netherlands, 2012.

260. Thakar, R. Design of Heat Exchanger for Waste Heat Recovery from Exhaust Gas of Diesel Engine / R. Thakar, S. Bhosle, S. Lahane // Procedia Manufacturing, 2018. – Vol. 20, – P. 372–376.

261. Wang, J. Modeling Fuel Consumption of Hybrid Electric Buses: Model Development and Comparison with Conventional Buses / J Wang, H. A. Rakha. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board (2539), 2016. – P. 94–102.

262. Walsh, M. P. Vehicle Emissions Control. International review. – Международный обзор. – URL: <http://rosacademtrans.ru/wp-content/uploads/2017/05/03-Kontrol-vyibrosoy-Uolsh.pdf>. (дата обращения: 05.11.2019). – Текст : электронный.

263. Yan, S. Energy Efficiency Optimization Of the Waste Heat Recovery System with Embedded Phase Change Materials in Greenhouses: A Thermo-

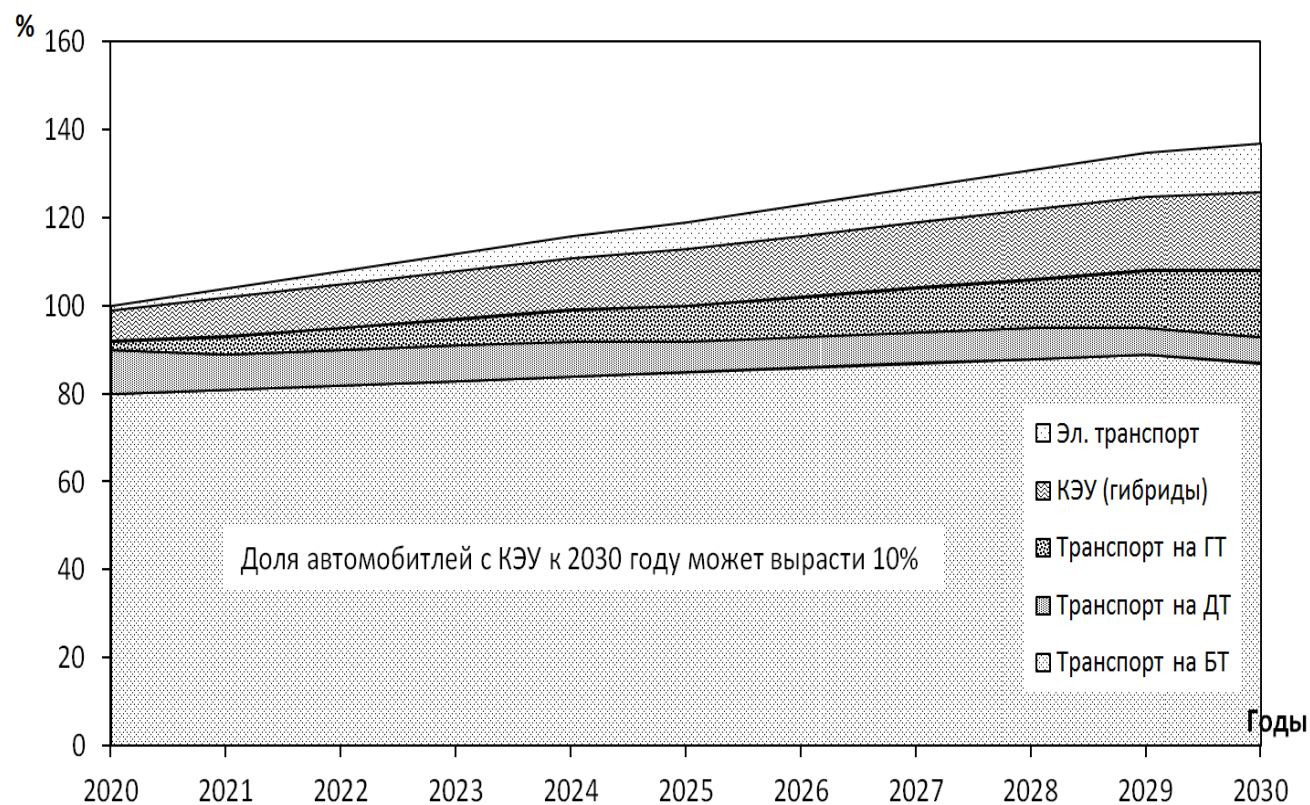
economic-environmental Study / S. Yan, M. Fazilati, N. Samani, et al. (2020) // Journal of Energy Storage, 2020. – Vol. 30, – P. 01445.

264. Zhang, Z. Regenerative Braking for electric vehicle based on Fuzzy Logic Control Strategy / Z. Zhang, G.Xu, W. Li, L. Zheng //2nd International Conference on Mechanical and Electronics Engineering 1 (2010): P. 319–323.

265. Preparatory Study on Ecodesign and Energy Labelling of Batteries under FWC ENER/C3/2015-619-Lot. TASK 5 Environment & economics – For Ecodesign and Energy Labelling 1 – URL: https://ecodesignbatteries.eu/sites/ecodesignbatteries.eu/files/attachments/ED%20Battery%20study%20Task5_v3_20190823.pdf (дата обращения 25.11.2020).

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(К ГЛАВЕ 1)

Данные об автопарке гибридных автомобилей в Москве с прогнозом изменения до 2030 года



Прогноз динамики относительной численности легковых автомобилей Москвы по типу энергоустановок (ЭТ – электро-мобили, ГТ – автомобили на газовом топливе; ДТ – автомобили на дизельном топливе; Б – автомобили на бензине) [130]

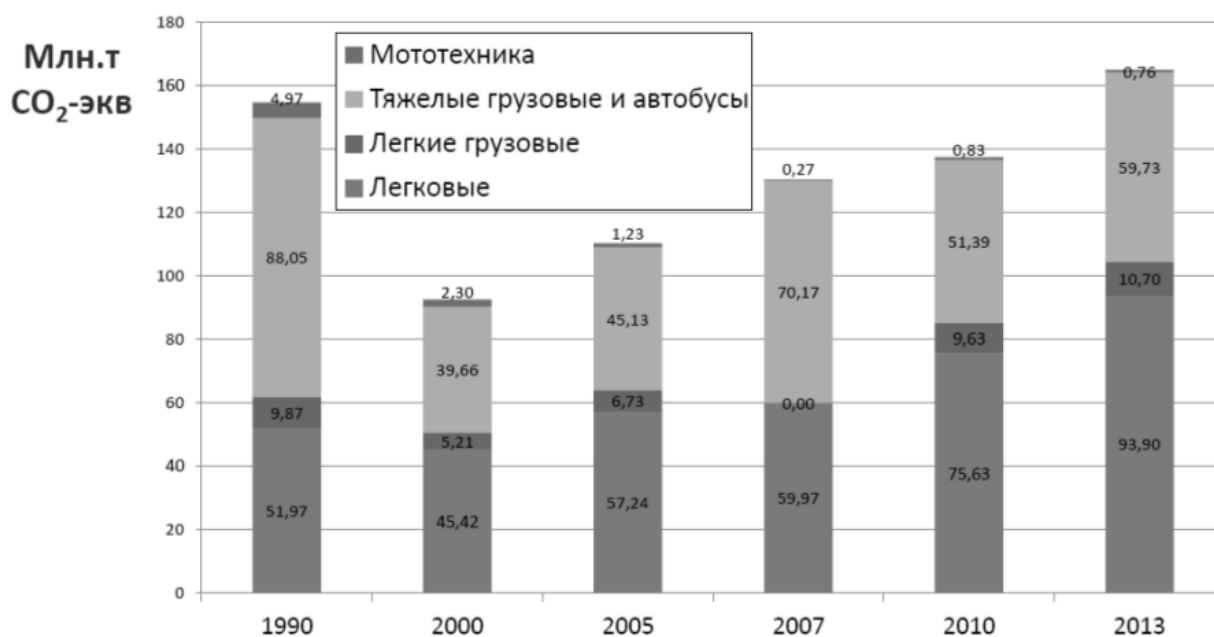
Прогноз изменения структуры парка автомобилей в России до 2031 года

Прогноз изменения структуры автопарка России
по типу энергоустановок, в долях (данные МАДИ)

Тип ЭУ	2021		2026		2031	
	Инерц.	Иннов.	Инерц.	Иннов.	Инерц.	Иннов.
Легковые АТС						
дизель	0,066	0,14	0,066	0,17	0,066	0,203
бензин	0,934	0,66	0,934	0,52	0,934	0,378
газ	0	0,065	0	0,1	0	0,135
гибрид	0	0,07	0	0,11	0	0,149
H2+ТЭ+Э	0	0,065	0	0,1	0	0,135
ВСЕГО	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Грузовые АТС						
дизель	0,417	0,48	0,417	0,5	0,417	0,53
бензин	0,583	0,44	0,583	0,38	0,583	0,31
газ	0	0,04	0	0,06	0	0,08
гибрид	0	0,02	0	0,03	0	0,04
H2+ТЭ+Э	0	0,02	0	0,03	0	0,04
ВСЕГО	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Автобусы						
Дизель	0,806	0,811	0,806	0,816	0,806	0,82
Бензин	0,194	0,109	0,194	0,064	0,194	0,02
Газ	0	0,04	0	0,06	0	0,08
Гибрид	0	0,02	0	0,03	0	0,04
H2+ТЭ+Э	0	0,02	0	0,03	0	0,04
ВСЕГО	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

«H2 + ТЭ + Э» – автомобили, работающие на водороде, с топливными элементами и электромобили

Валовые выбросы парниковых газов дорожным транспортом в РФ
(Методика ЕМЕР/ЕЕА, Copert-4)



Средняя величина социальных потерь при выбросе 1 т CO₂-экв.

США	Канада	Великобритания	ЕС	РФ
36 долларов	28,44 доллара	10–38 фунтов	3,8–139 евро	отсутствуют

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(К ГЛАВЕ 2)

Таблица Б.1 – Характеристики электрических накопителей энергии различных типов автомобилей

*	BEV (большое)	BEV (малое)	PHEV	BEV (грузовое)	PHEV (грузовое)	Resid. ESS	Comm. ESS
Экономически обоснов-й срок службы (лет)	13	14	13	14	12	20	20
Потребление эл. энергии [кВт·ч/км]	0,2	0,16	0,18	1,2	1,4	н.д	н.д
Макс. срок службы, лет	20	20	20	20	20	25	25
Ном. емкость, кВтч	80	40	12	30	20	10	10
Средняя эффект-ть, %	92	92	92	92	92	92	92
Эффект-ть заряда, %	85	85	85	92	92	98	98
Эфф-ть рекуперации энергии торможения, %	20	20	20	12	6	н.д	н.д
Доля переработки при рециклинге, %	50.2	50.2	50.5	50.2	50.5	51.4	51.4

*

BEV (Battery Electric Vehicle) – транспортное средство на аккумуляторных источниках питания;

PHEV (Plug in Hybrid Electric Vehicle) – подзаряжаемые гибридные транспортные средства;

Resid. ESS – транспортные средства, оснащенные системой рекуперативного торможения;

Comm. ESS – транспортные средства, оснащенные системой накопления рекуперированной энергии.

№ п/п	Разгон				Торможение				Кр
	$U_H, В$	$U_K, В$	$\Delta U, В$	$W_{P100}, Дж$	$U_H, В$	$U_K, В$	$\Delta U, В$	$W_{T100}, Дж$	
1	324	308	16	4230	309	313	4	1120	0,26
2	322	306	16	4250	307	311	4	1115	0,26
3	312	296	16	4210	295	299	4	1070	0,25
4	308	292	16	4090	291	295	4	960	0,23
5	294	280	14	3520	279	283	4	900	0,26
6	283	268	15	3490	268	272	4	840	0,24
7	270	256	14	3240	255	259	4	820	0,25
8	257	241	16	3390	241	245	4	740	0,22
9	244	230	14	2925	229	233	4	740	0,25
10	233	217	16	3070	218	222	4	740	0,24
11	230	215	15	2920	214	219	5	655	0,22
12	224	209	15	2710	209	213	4	625	0,23
13	205	190	15	2520	190	194	4	645	0,26
Среднее значение				3428	Среднее значение			843	0,25
Разброс, %									4,7

Таблица Б.3 – Потери энергии в приводе при разгоне до 100 Гц за 7,1 с

Частота, Гц	I, А	U, В	P=IU, Вт	Время, с	W, Дж
10	1,21	45,9	56	0,5	27
20	1,16	85,0	99	1	49
30	1,13	123,5	140	1,5	69
40	1,13	162,5	184	2,1	109
50	1,11	201,1	223	2,7	135
60	0,93	201,0	187	3,4	132
70	0,83	201,0	167	4,2	132
80	0,75	200,0	150	5,1	133
10	1,21	45,9	56	0,5	27
20	1,16	85,0	99	1	49
Общее значение					1062

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

U _н	U _к	Прирост, В	Энергия, Дж
278	287	9	2034
242	251	9	1774,8
210	216	6	1022,4
181	187	6	883,2
Среднее значение			1428,6

Таблица Б.5 – Результаты замеров энергетического КПД КЭУ

№ п/п	Уровень топлива		Т, с	Нагрузка			Расход топли- ва, мл	Энергия топлива, Дж	Энерге- тический КПД, %
	начало, мл	ко- нец, мл		I, А	U, В	W, Дж			
1	15	5	114	0,93	209	22158	10	334950	6,62
2	18	8	123	0,93	209	23908	10	334950	7,14
3	20	10	115	0,93	209	22353	10	334950	6,67
4	15	5	117	0,93	209	22741	10	334950	6,79
5	15	5	121	0,93	209	23519	10	334950	7,02
Среднее значение									6,85

Таблица Б.6 – Результаты замеров энергетического КПД механической передачи

№ п/п	Уровень топлива		Т, с	Нагрузка			Расход топли- ва, мл	Энергия топлива, Дж	Энерге- тиче- ский КПД, %
	начало, мл	ко- нец, мл		I, А	U, В	W, Дж			
1	15	5	155	0,93	209	30127	10	334950	8,99
2	15	5	160	0,93	209	31099	10	334950	9,28
3	15	5	181	0,93	209	35181	10	334950	10,50
4	15	5	171	0,93	209	33237	10	334950	9,92
5	15	5	170	0,93	209	33043	10	334950	9,87
Среднее значение									9,71

Таблица Б.7 – Характеристики комбинированной ЭУ

Тип энергоустановки	комбинированная электро-механическая последовательной схемы
Двигатель внутреннего сгорания	
Тип двигателя	дизельный, одноцилиндровый четырехтактный
Рабочий объем двигателя, см ³	406
Число цилиндров	1
Расход топлива, л/ч	1,5
Макс. мощность при 3600 об/мин, л/с	10
Генераторная установка	
Максимальная активная мощность, кВт	5,2
Максимальная реактивная мощность, кВт·А	5,0
Номинальное выходное напряжение	постоянное 312 В
Тяговый электродвигатель	
Тип	асинхронный, трехфазный с короткозамкнутым ротором
Пиковый крутящий момент, Н·м	160
Максимальный потребляемый ток, А	240
Максимальный момент, доступный продолжительное время, Н·м	42
Мощность, доступная продолжительное время, кВт	21
Максимальный КПД, %	93
Пиковая электрическая мощность, при 312 В, кВт	75
Номинальная частота вращения, об/мин	4000
Максимальная частота вращения, об/мин	10000
Вес	60
Частотный преобразователь	
Модель	УМОС 440
Максимальное входное напряжение, В	364
Максимальный потребляемый ток, А	240

Продолжение таблицы Б.7	
Максимальная электрическая мощность (при напряжении 364 В и потребляемом токе 180 А), кВт	70
Номинальная электрическая мощность (при напряжении 312 В), кВт	30
Вес, кг	20
Накопитель энергии	
Условный индекс конденсатора	200ПП-28/0,26
Количество последовательно соединенных суперконденсаторов в одной цепочке, шт.	2
Количество параллельных цепочек из последовательно соединенных суперконденсаторов, шт.	3
Общее количество суперконденсаторов, шт.	6
Номинальное напряжение заряда, В	400
Максимальное напряжение заряда, В	420
Конечное напряжение разряда, В	150
Запасаемая энергия при разряде от 400 до 150 В, не менее, кДж	130
Продолжительность разряда от 400 до 150 В, не менее, с	5,4
Внутреннее сопротивление, Ом	0,170
Масса всего блока, кг	114
Масса всей энергоустановки, кг	300

Протокол № 1
Результаты испытаний экспериментального автомобиля ВАЗ-1118 с КЭУ

Испытание № 1

Пройденный путь (L): 2,73 км.
Дорожное покрытие: 25 % – грунт, 75 % – асфальт.
Скорость: ≈ 10 км/ч.
Температура: 24 °С.
Время поездки: 4 мин 20 с.
Показания расходомера до поездки (q1): 6,77 л.
Показания расходомера после окончания поездки (q2): 6,90 л.
Расчет расхода топлива: $Q = q_2 - q_1 / L = 6,90 - 6,77 / 2,73 = 0,13$ л/2,73 км.
Приведенный расход топлива: $Q_{100} = 0,13 * 100 / 2,73 = 4,76$ л/100 км.

Испытание № 2

Пробег: 4,44 км.
Дорожное покрытие: 25 % – грунт, 75 % – асфальт.
Средняя скорость движения: 24,4 км/ч.
Максимальная скорость движения: 42 км/ч.
Время поездки: 10 мин 48 с.
Показания расходомера в начале поездки: 4,93 л.
Показания расходомера в конце поездки: 5,19 л.
Всего израсходовано топлива: 0,26 л.
Средний расход топлива за поездку: 5,85 л/100 км.

Испытание № 3

Статистические данные по движению

Пробег: 2,53 км.
Средняя скорость движения: 10,25 км/ч.
Максимальная скорость движения: 42 км/ч.
Время поездки: 6 мин 09 с.
Показания расходомера в начале поездки: 5,20 л.
Показания расходомера в конце поездки: 5,35 л.
Всего израсходовано топлива: 0,15 л.
Средний расход топлива за поездку: 5,93 л/100 км.

Протокол № 2
Измерение массы тормозных колодок при торможении с рекуперацией
от 22.07.2019 года

Температура атмосферного воздуха: 16 °С.

Испытуемый автомобиль: Toyota Prius ZVW30.

Электродинамическое торможение включено.

Дорожное покрытие: сухой, чистый асфальт.

Место испытания: участок автомобильной дороги: ул. Пугачева – ул. Баранковская, длина участка 4 км.

Тип тормозных механизмов: дисковые.

Ось	Масса колодок							
	Передняя, г				Задняя, г			
Интервал	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Начальная масса	313,80	313,70	313,10	312,90	167,0	162,60	166,60	163,0
Масса после испытания с рекуперацией, 50 циклов	313,70	313,60	312,90	312,70	167,0	162,60	166,50	162,90
Масса после испытания с рекуперацией, 100 циклов	313,60	313,50	312,80	312,60	166,90	162,50	166,50	162,90

Таблица Б.8 – Результаты обработки измерений массы тормозных колодок при торможении с рекуперацией (электродинамическое торможение)

Ось	Износ, г										
	Передняя					Задняя					Все колодки
№ колодки	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Всего	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Всего	
Износ 0–50 циклов	0,10	0,10	0,20	0,20	0,60	0	0	0,10	0,10	0,20	0,80
Износ 50–100 циклов	0,10	0,10	0,10	0,10	0,40	0,10	0,10	0	0	0,20	0,60
Износ 0–100 циклов	0,20	0,20	0,30	0,30	1,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,40	1,40

Протокол № 3

Потеря массы тормозных колодок при торможении без рекуперации (механическое торможение) от 23.07.2019 года

Температура атмосферного воздуха: 17 °С.

Испытуемый автомобиль: Toyota Prius ZVW30.

Электродинамическое торможение выключено.

Дорожное покрытие: сухой, чистый асфальт.

Место испытания: участок автомобильной дороги: ул. Пугачева – ул. Баранковская, длина участка 4 км. Т

ип тормозных механизмов: дисковые.

Ось	Масса колодок, г							
	Передняя				Задняя			
Интервал	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Начальная масса	313,60	313,50	312,80	312,60	166,90	162,50	166,50	162,90
Масса после испытания с рекуперацией, 50 циклов	313,30	312,80	312,40	312,20	166,60	162,30	166,30	162,60
Масса после испытания с рекуперацией, 100 циклов	313,00	312,00	312,10	311,80	166,40	162,10	166,00	162,30

Таблица Б.9 – Результаты обработки измерений массы тормозных колодок без рекуперации (механическое торможение)

	Износ, г										
Ось	Передняя					Задняя					Все ко- лодки
№ колодки	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Всего	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Всего	
Износ 0–50 циклов	0,30	0,30	0,20	0,40	1,20	0,30	0,20	0,20	0,20	0,90	2,10
Износ 50–100 циклов	0,30	0,20	0,30	0,40	1,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,90	2,10
Износ 0–100 циклов	0,60	0,50	0,50	0,60	2,40	0,50	0,40	0,40	0,50	1,80	4,20

Протокол № 4
Измерение температуры тормозных механизмов при торможении
от 22.07.2019 года

Температура атмосферного воздуха: 16 °С.

Испытуемый автомобиль: Toyota Prius ZVW30.

Электродинамическое торможение включено.

Дорожное покрытие: сухой, чистый асфальт.

Место испытания: участок автомобильной дороги: ул. Пугачева – ул. Баранковская, длина участка 4 км.

Тип тормозных механизмов: дисковые.

Таблица Б.10 – Измерения температура тормозных механизмов при торможении с включенной рекуперацией

Вид торможения/ число циклов		Нагрев в зависимости от числа циклов торможения, °С							
		0 цик- лов	10 цик- лов	20 цик- лов	30 цик- лов	40 цик- лов	50 цик- лов	60 цик- лов	70 цик- лов
С рекупе- рацией	пер.	17	24	32	45	58	73	88	103
	задн.	17	22	31	40	48	58	69	83

Измерения при торможении с рекуперацией осуществлялись до достижения температуры механизма 100 °С. Измерения остановлены на завершении 70 циклов торможения.

Протокол № 5
Измерение температуры тормозных механизмов при торможении
От 23.07.2019 года

Температура атмосферного воздуха: 17 °С.

Испытуемый автомобиль: Toyota Prius ZVW30.

Электродинамическое торможение выключено.

Дорожное покрытие: сухой, чистый асфальт.

Место испытания: участок автомобильной дороги: ул. Пугачева – ул. Баранковская, длина участка 4 км.

Тип тормозных механизмов: дисковые.

Таблица Б.11 – Измерения температура тормозных механизмов при торможении с выключенной рекуперацией

Вид торможения/ число циклов		Нагрев в зависимости от числа циклов торможения, °С							
		0 цик- лов	10 цик- лов	20 цик- лов	30 цик- лов	40 цик- лов	50 цик- лов	60 цик- лов	70 цик- лов
Без рекупе- рации	пер.	17	58	114	-	-	-	-	-
	задн.	17	51	90	-	-	-	-	-

Таблица Б.12 – Сводная таблица результатов измерения температура тормозных механизмов при торможении

Вид тормо- жения/ число цик- лов	Ось	Нагрев в зависимости от числа циклов торможения, °С					
		0 циклов	10 циклов	20 циклов	30 циклов	40 циклов	50 циклов
С рекупе- рацией	пер.	16	24	32	45	58	73
	задн.	16	22	31	40	48	58
Без рекупе- рации	пер.	16	58	114	-	-	-
	задн.	16	51	90	-	-	-

Таблица Б.13 – Данные наблюдения за расходами на топлива гибридного автомобиля Toyota Prius ZVW30 (смешанная схема КЭУ) с 11.01.2017 по 22.02.2023

Дата	Залито топл., л	Сумма, руб.	Одометр, км	Лампа «Оста- ток»	Qs, л/100 км	Эксплуатация
11.01.2017	33,55	1332,61	161100	не горит	8,7	город
27.01.2017	37,33	406,41	161470	мигает	11,5	город
23.02.2017	11,19	450	161781	мигает	8,3	город
02.03.2017	27,35	1100	161911	мигает	9,1	город
19.03.2017	25	1005,5	162200	мигает	10,7	город
09.04.2017	17,41	700	162425	мигает	8,3	город
28.04.2017	39,53	1589,9	162627	мигает	7,0	город
01.05.2017	26,25	1055	163167	не горит	5,3	трасса
26.05.2017	35,03	1408,91	163647	горит	4,7	трасса
17.06.2017	39,74	1578,47	164363	горит	5,3	трасса
28.06.2017	12,44	500	165090	горит	7,5	город
09.07.2017	39,72	1000	165250	не горит	8,1	город
25.07.2017	38,08	1531,58	165719	горит	5,1	трасса
11.08.2017	38,5	1548,47	166440	горит	3,9	трасса
20.08.2017	12,44	500	167383	горит	4,7	трасса
21.09.2017	30	1212,6	167458	горит	5,7	трасса
07.10.2017	35	1414,7	167638	горит	10,3	город
07.11.2017	17,32	700	167966	горит	9,9	город
23.11.2017	30	1215,6	168134	горит	10,0	город
19.12.2017	41,9	1722,93	168422	горит	12,4	город
20.01.2018	37,12	1531,94	168746	горит	10,2	50/50
11.02.2018	30	1238,1	169096	горит	6,1	трасса
17.02.2018	12,27	500	169400	не горит	6,9	50/50
22.02.2018	36,09	1489,43	169571	горит	10,6	город
19.03.2018	40,01	1651,21	169899	горит	9,0	город
18.04.2018	30	1256	170325	горит	9,6	город
08.05.2018	33,81	1435,91	170625	не горит	4,9	город
13.05.2018	23,39	1000	171283	горит	5,4	трасса
26.05.2018	22,54	1000	171698	горит	6,3	трасса
19.06.2018	35	1570,45	172044	горит	3,6	трасса
06.07.2018	35,97	1595,99	172976	не горит	3,6	трасса
13.07.2018	31,21	1400	173671	не горит	3,6	трасса
20.07.2018	27	1000	174000	не горит	3,6	трасса
27.07.2018	26	1000	174663	горит	3,6	трасса
02.08.2018	35	0	175259	горит	5,2	трасса
07.08.2018	28	0	175907	горит	6,8	смеш
17.08.2018	34	1000	176301	не горит	4,5	трасса
23.08.2018	15	0	177029	горит	7,2	город
29.08.2018	29	0	177230	не горит	7,6	город

Продолжение таблицы Б. 13

15.10.2018	40	1000	177596	не горит	8,2	город
03.12.2018	42	1000	178608	горит	4,8	город
28.12.2018	30	1000	179455	горит	6,8	50/50
12.01.2019	40	1000	179880	горит	8,7	город
06.02.2019	38	1000	180324	горит	13,0	город
04.03.2019	38	1000	180605	горит	10,1	город
06.04.2019	39	1000	180965	не горит	11,5	город
02.05.2019	28	1000	181290	не горит	3,4	загород
07.05.2019	28	1000	182074	горит	3,0	80/20
06.06.2019	30	1000	182980	горит	5,0	город
14.06.2019	15	1000	183160	не горит	6,2	20/80
14.06.2019	30	1000	183681	горит	6,0	город
05.07.2019	28,66	1330,4	183681	не горит	5,5	город
20.07.2019	30	1000	184681	горит	5,4	80/20
31.07.2019	30	1000	185250	не горит	5,4	город
10.08.2019	30	1000	185780	не горит	4,7	город
24.08.2019	30	1000	186394	горит	4,8	город
10.09.2019	30	1000	187000	горит	6,5	город
18.09.2019	30	1400,4	187443	горит	4,9	трасса
12.10.2019	30	1400,4	188029	горит	5,4	город
12.11.2019	30	1400,4	188560	горит	9,9	город
09.12.2019	30	1400,4	188850	горит	9,6	город
21.12.2019	30	1400,4	189150	горит	9,0	город
06.01.2020	30	1400,4	189470	горит	10,7	город
30.01.2020	30	1400,4	189740	горит	9,8	город
17.02.2020	30	1400,4	190035	горит	7,7	70/30
08.03.2020	30	1400,4	190411	горит	7,4	город
30.03.2020	30	1400,4	190802	горит	6,4	70/30
24.04.2020	30	1400,4	191250	горит	8,1	город
09.05.2020	31,32	1462	191608	не горит	4,2	загород
18.05.2020	30	1400,4	192317	горит	5,2	загород
24.05.2020	39,09	1805	192873	горит	5,1	загород
01.06.2020	30	1400,4	193614	горит	5,3	загород
14.06.2020	39,55	1846,19	194163	горит	6,0	20/ 80
27.06.2020	34,47	1601,82	194800	2 дел	4,9	20/80
10.07.2020	35,34	1670,88	195482	горит	4,2	30/80
22.07.2020	40,5	1914,84	196290	горит	5,1	загород
02.08.2020	30	1418,4	197056	горит	6,4	загород
15.08.2020	30	1418,4	197510	горит	7,4	загород
27.08.2020	37,88	1384,94	197900	горит	4,2	50/50
20.09.2020	30	1427,4	198772	горит	6,2	город
14.10.2020	30	1436,4	199236	горит	7,5	город

Продолжение таблицы Б. 13

03.11.2020	30	1436,4	199620	горит	8,1	город
23.11.2020	30	1436,4	199975	горит	8,7	город
12.12.2020	30	1436,4	200305	горит	9,3	город
29.12.2020	30	1445,4	200615	горит	13,0	город
18.01.2020	30	1460,4	200837	горит	9,6	город
05.02.2021	30	1464,9	201136	горит	13,5	город
24.02.2021	30	1469,4	201350	горит	10,1	город
19.03.2021	30	1469,4	201637	горит	9,2	город
18.04.2021	30	1485,9	201950	горит	8,5	город
20.05.2021	30	1455,9	202288	горит	3,9	трасса
30.05.2021	30	1431,6	203021	горит	7,1	город
02.07.2021	38,13	1487,4	203430	не горит	5,6	трасса
10.07.2021	30	1443	204079	горит	4,5	город
24.07.2021	30	1886,67	204720	горит	4,7	город
28.07.2021	37,35	1832,76	205334	горит	5,2	город
16.08.2021	30	1502,4	206019	горит	4,8	трасса
23.08.2021	30	1511,4	206614	горит	5,4	город
03.09.2021	21,92	1103,3	207150	не горит	5,7	город
11.09.2021	30	1501,5	207522	горит	7,1	город
04.10.2021	30	1500	207927	горит	7,9	город
30.10.2021	30	1172,65	208292	горит	7,5	город
18.11.2021	30	1522,5	208679	горит	9,8	город
07.12.2021	30	1551,6	208973	горит	11,8	город
24.12.2021	30	1567,8	209218	горит	10,0	город
12.01.2022	30	1574,8	209507	горит	11,1	город
31.01.2022	30	1573,8	209767	горит	9,5	город
08.04.2022	30	1573,8	210071	горит	5,2	город
29.04.2022	30	1543,8	210630	горит	8,0	город
21.05.2022	33,12	1705,28	210989	горит	6,5	город
06.06.2022	38,97	1812,49	211476	горит	6,4	город
12.06.2022	23,32	1200	212063	горит	5,8	трасса
23.06.2022	30	1543,8	212450	горит	8,1	трасса
01.07.2022	34,09	1735,52	212807	горит	3,9	трасса
11.07.2022	30	1543,8	213652	горит	6,4	трасса
06.08.2022	36,72	1896,88	214100	горит	2,8	трасса
22.08.2022	30	1558,8	215381	горит	4,8	трасса
04.09.2022	37,96	1934,08	215985	горит	6,2	трасса
21.09.2022	38,45	1959,1	216570	горит	4,4	трасса
08.10.2022	45	1558,8	217411	горит	11,5	город
02.11.2022	30	1558	217787	горит	9,9	город
27.11.2022	30	1130	218079	горит	10,6	город
20.12.2022	30	1567,8	218350	горит	10,2	город
12.01.2023	28,71	1500	218632	горит	9,0	город
30.01.2023	30	1441	218939	горит	8,9	город
22.02.2023	30	1567,8	219263	горит	10,2	город
12.03.2023	30	1567	219545	горит	8,2	город
13.04.2023	29,24	1500	219897	горит	7,0	город
06.05.2023	37,1	1904,8	220301	горит	5,4	трасса
14.05.2023	30	1540,8	220960	горит	5,3	трасса

Продолжение таблицы Б. 13

26.05.2023	31,2	1601,6	221500	3 дел	5,5	трасса
09.06.2023	38,72	1995,56	222050	горит	5,7	трасса
30.06.2023	35,65	1873,35	222700	горит	4,9	трасса
14.07.2023	30	1540,8	223400	горит	4,1	трасса
22.07.2023	30	1540,8	224100	горит	4,4	трасса
12.08.2023	30	1652	224751	горит	5,3	трасса
20.08.2023	31,18	1700	225293	горит	4,9	трасса
02.09.2023	25,49	1405,26	225900	горит	4,1	трасса
19.09.2023	30,13	1667,09	226500	горит	4,3	город
10.10.2023	30,08	1664	227168	горит	6,8	город
04.11.2023	30,08	1664	227594	горит	7,9	город
22.11.2023	30,2	1653,75	227960	горит	8,0	город
10.12.2023	30	1659	228321	горит	10,2	город
08.01.2024	30	1698	228605	горит	10,9	город
23.01.2024	30	1681,8	228870	горит	6,5	трасса
07.02.2024	30	1698,9	229314	горит	10,7	город
24.02.2024	30	1698	229584	горит	8,1	город
18.03.2024	30	1698,9	229940	горит	7,1	город
07.04.2024	30	1698,9	230344	горит	5,2	трасса
23.04.2024	30	1707,9	230896	горит	8,7	город
09.05.2024	30	1712,4	231229	горит	6,0	город
18.05.2024	30	1716,9	231711	горит	5,9	город
25.05.2024	30	1436,9	232200	горит	4,9	город
07.06.2024	30	1721,4	232792	горит	5,6	город
21.06.2024	36,8	2122	233306	горит	4,7	трасса
27.06.2024	30	1737,9	234051	горит	4,9	трасса
01.07.2024	40,28	2324	234645	горит		

Общий расход	4893	литров
Общая стоимость топлива	217402	рублей
Общий пробег	76487	километров
Средний приведенный расход	6,4	л/100км

**ПРИЛОЖЕНИЕ В
(К ГЛАВЕ 3)**

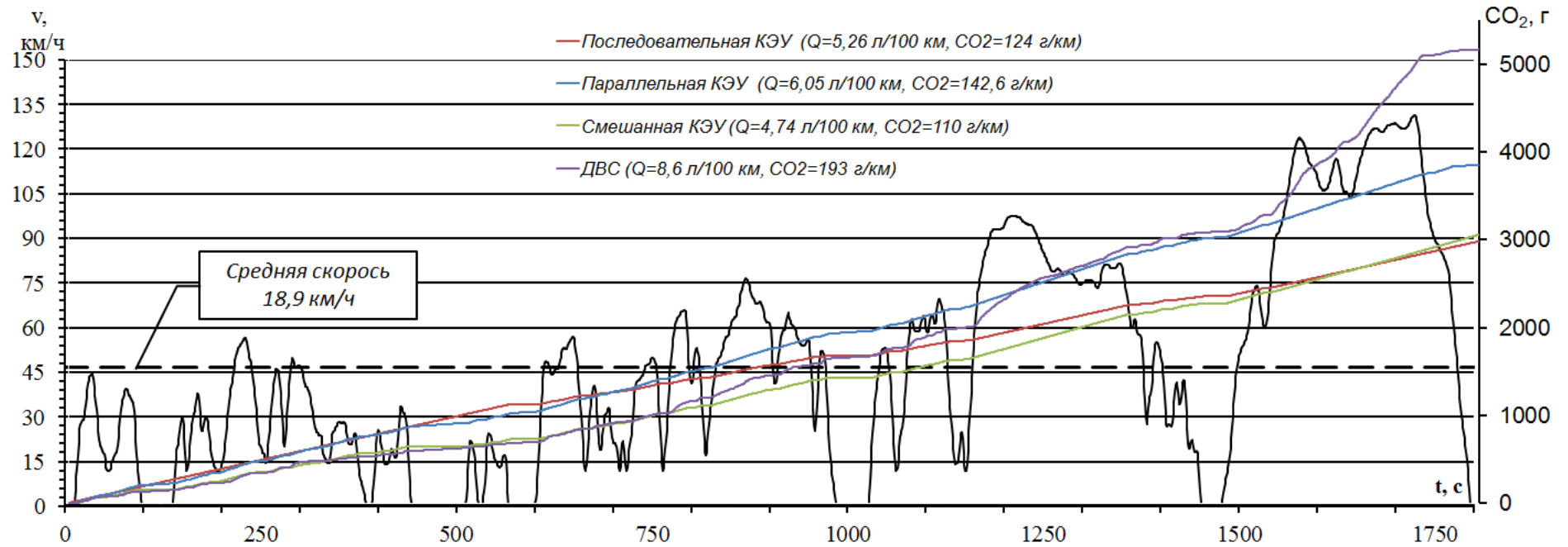








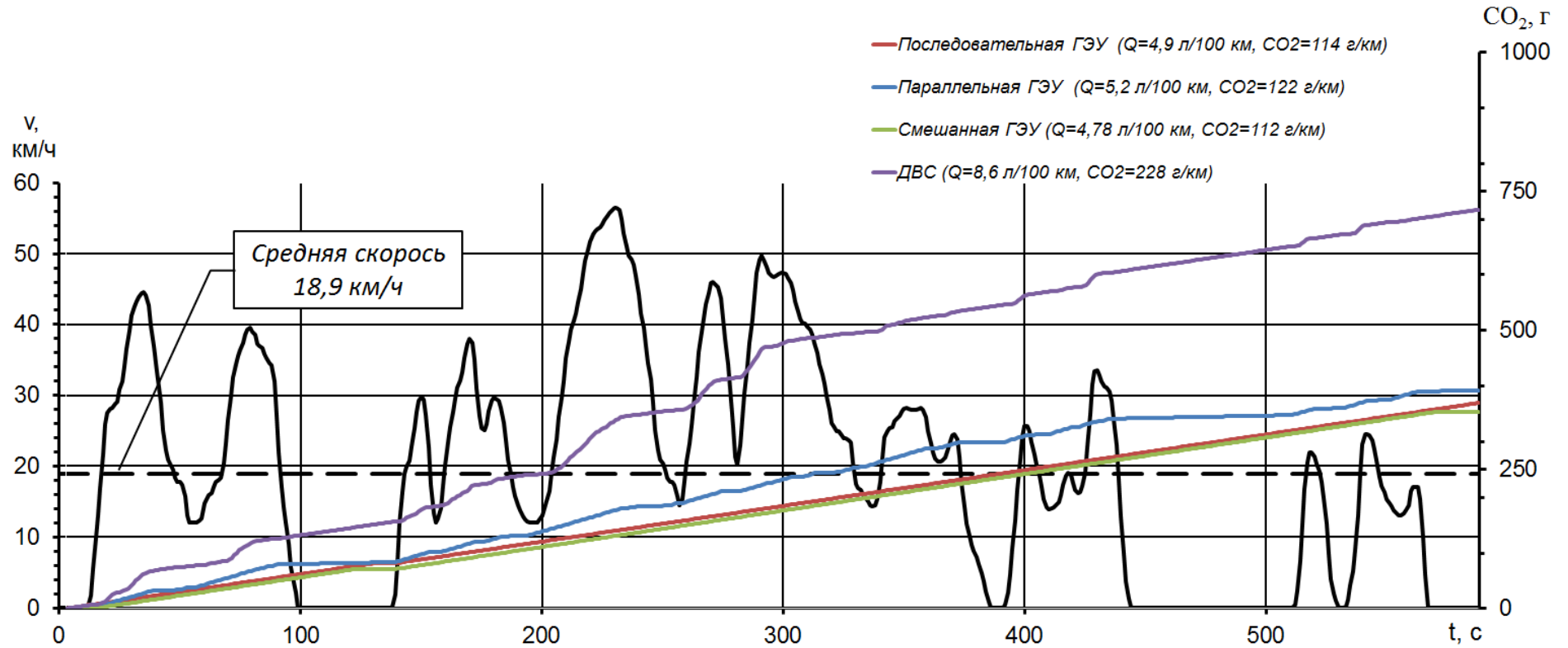
Совмещенный график цикла движения WLTC и результатов расчета расхода топлива и выбросов CO₂ автомобиля с различными типами ЭУ



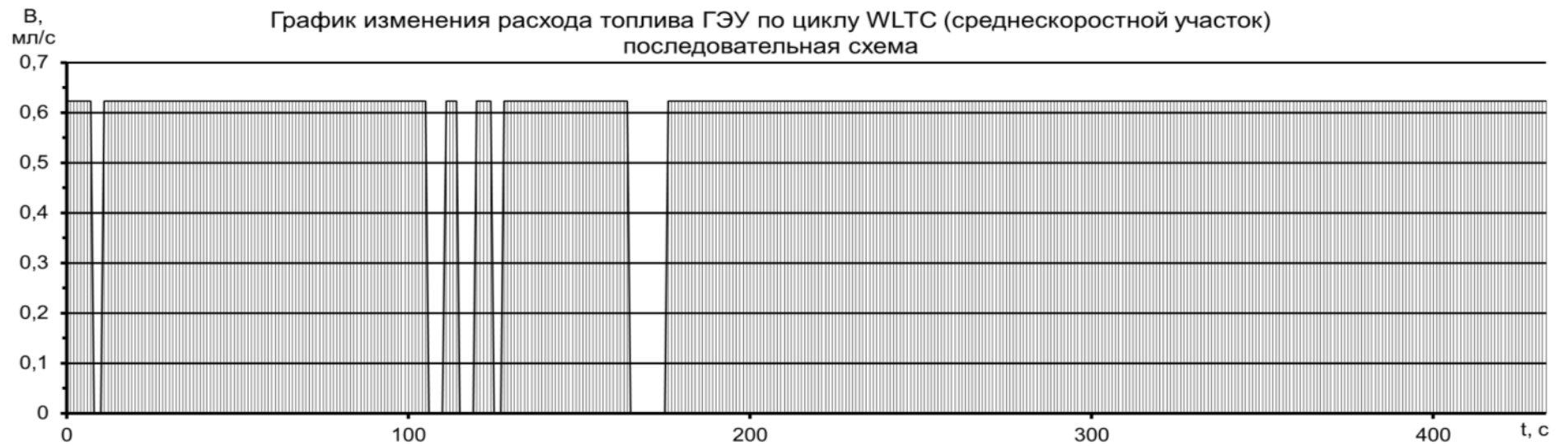


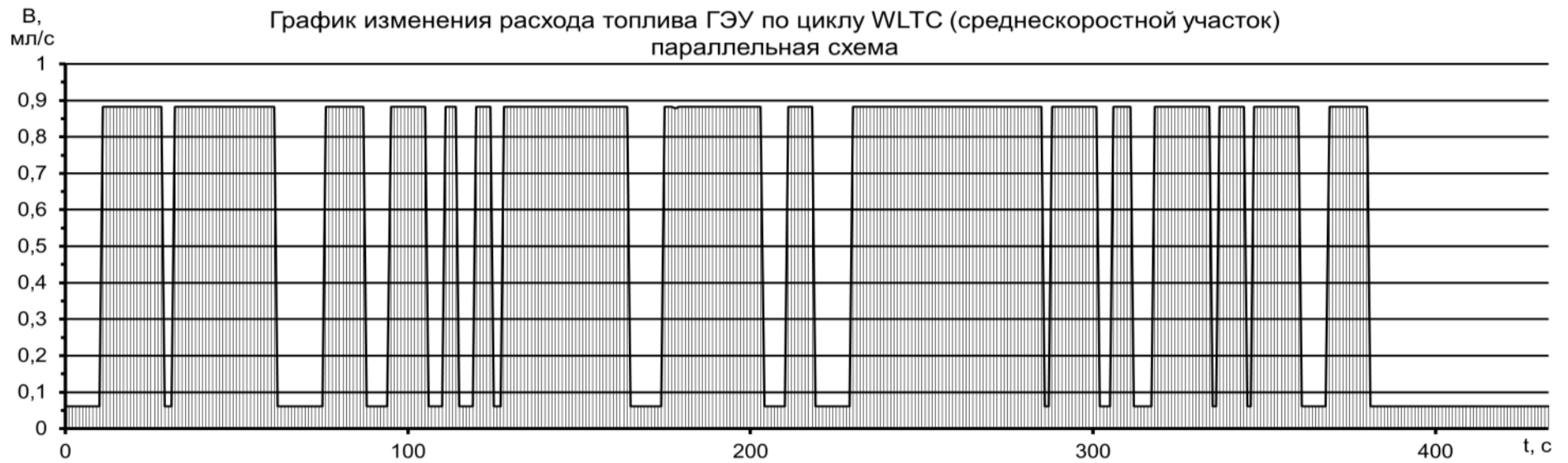


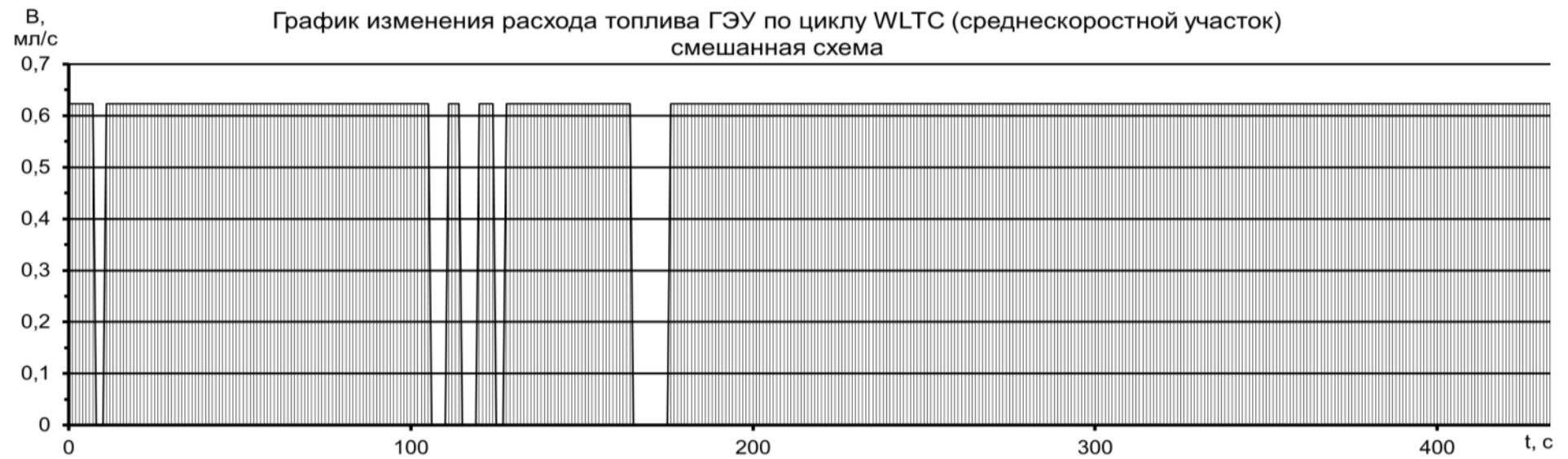
Совмещенный график цикла движения WLTC (низкоскоростной участок),
результатов расчета расхода топлива и выбросов CO_2 автомобиля с различными типами ЭУ



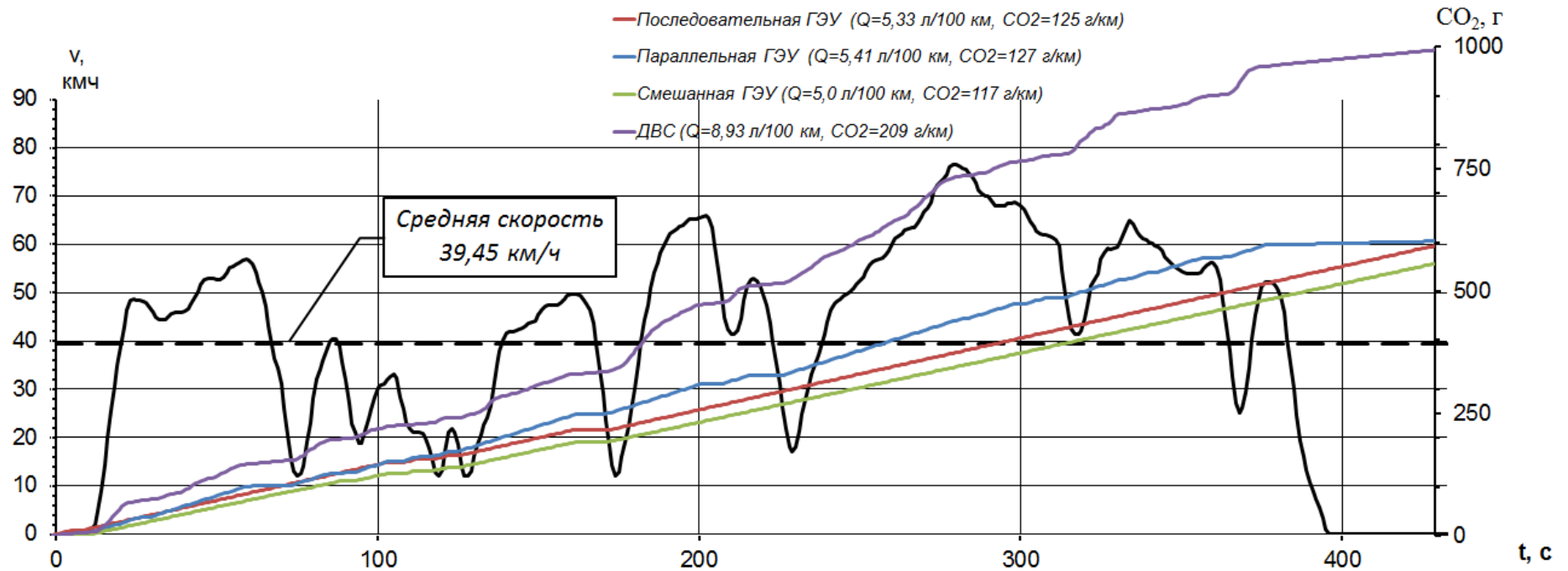








Совмещенный график цикла движения WLTC (среднескоростной участок),
результатов расчета расхода топлива и выбросов CO_2 автомобиля с различными типами ЭУ





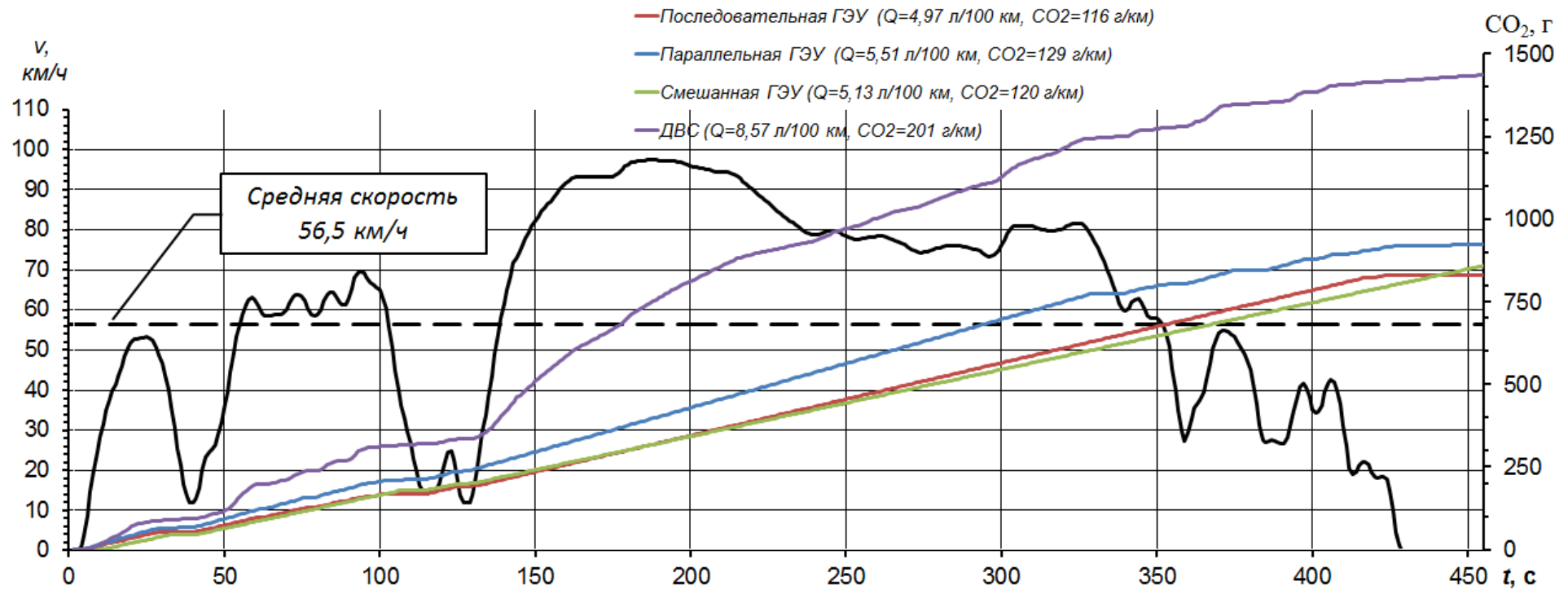


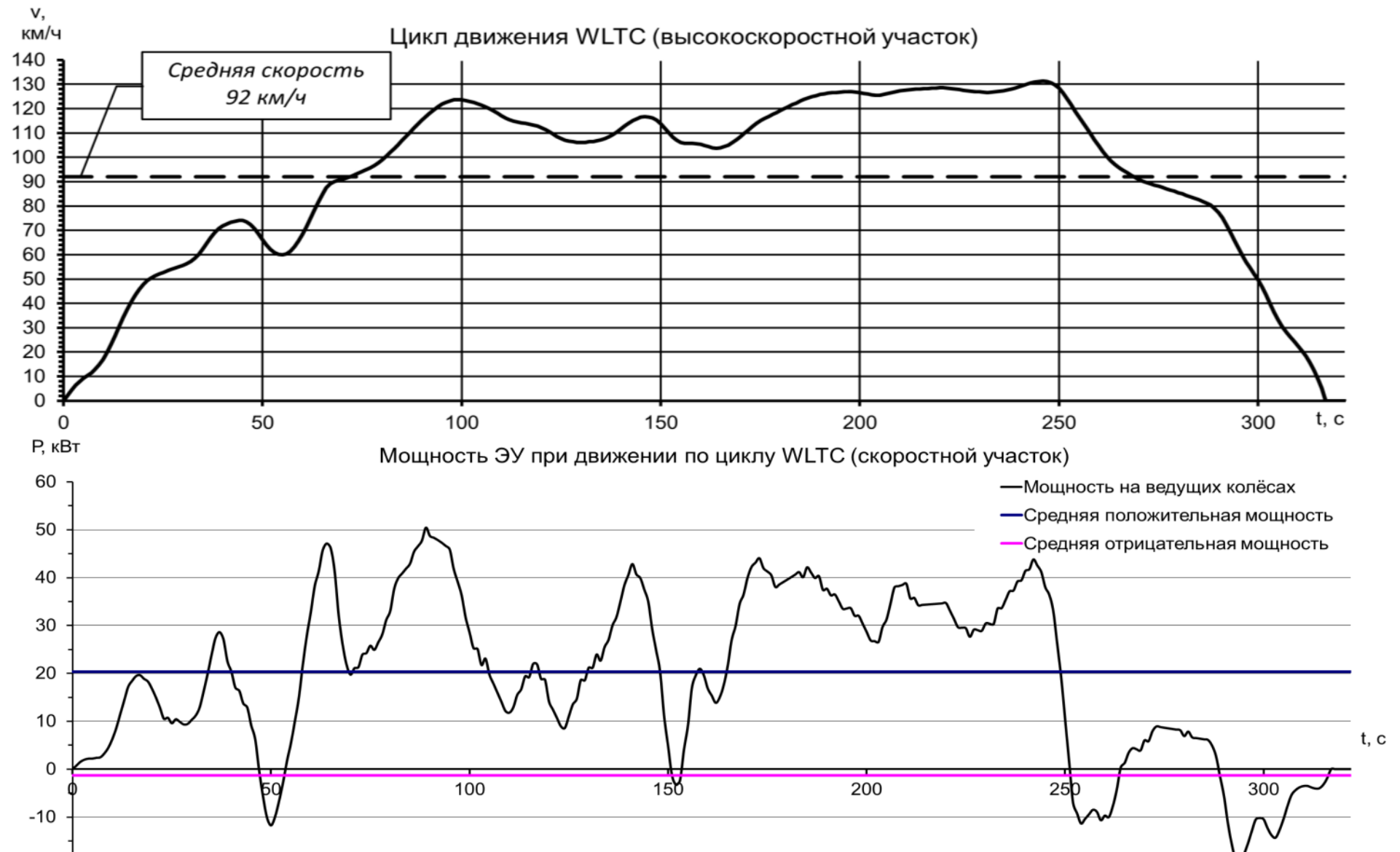


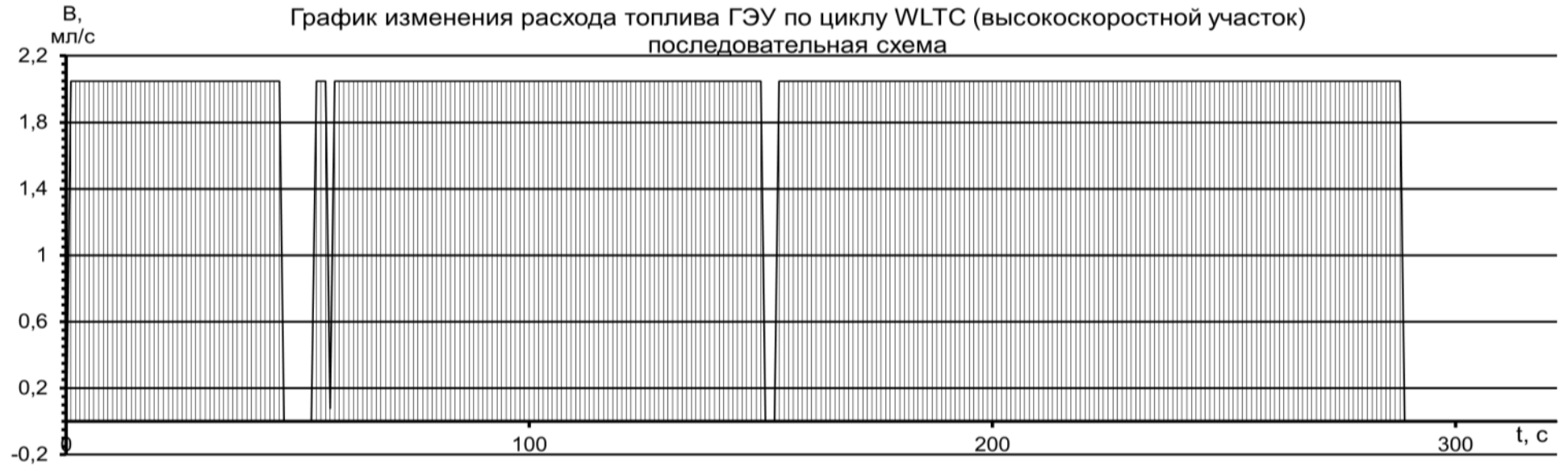




Совмещенный график цикла движения WLTC (скоростной участок),
результатов расчета расхода топлива и выбросов CO₂ автомобиля с различными типами ЭУ







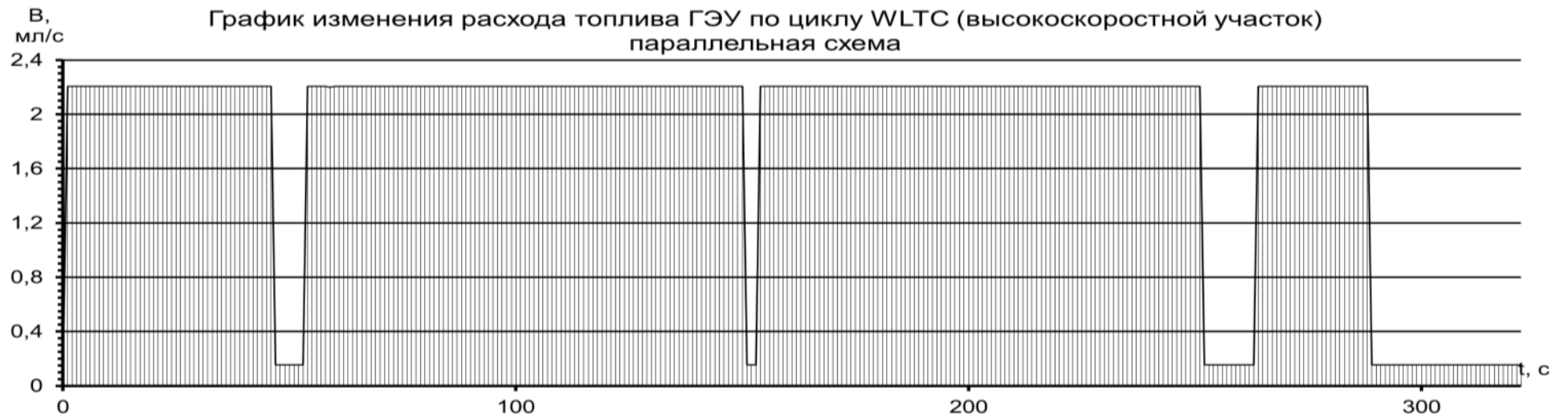
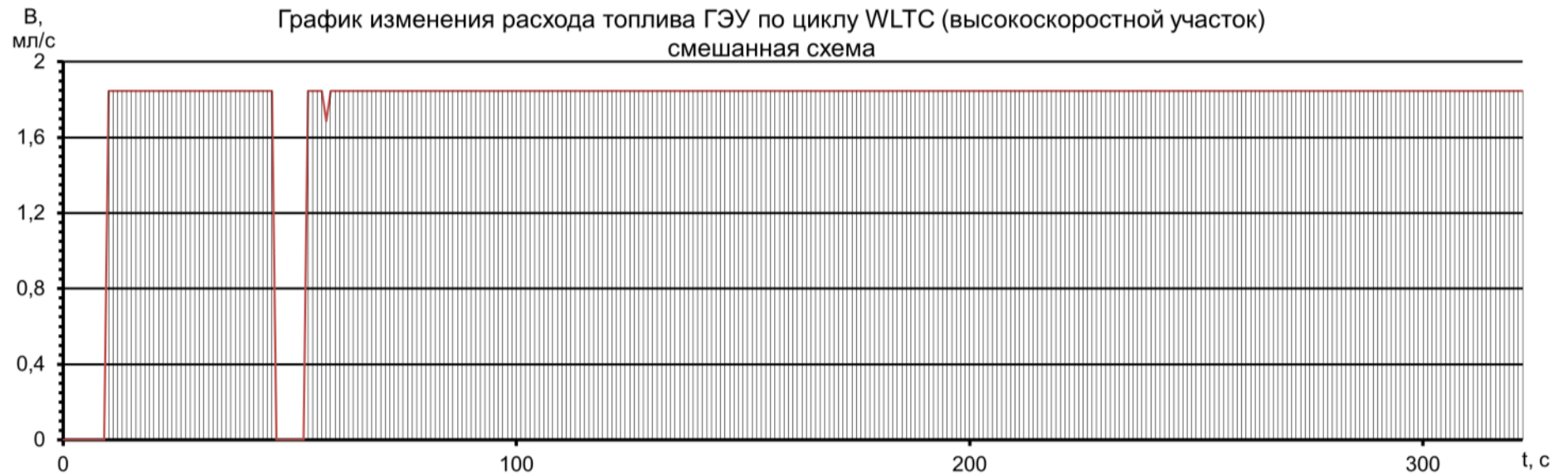


График изменения энергии в накопителе при движении по циклу WLTC (высокоскоростной участок)
смешанная схема



Совмещенный график цикла движения WLTC (высокоскоростной участок),
результатов расчета расхода топлива и выбросов CO₂ автомобиля с различными типами ЭУ

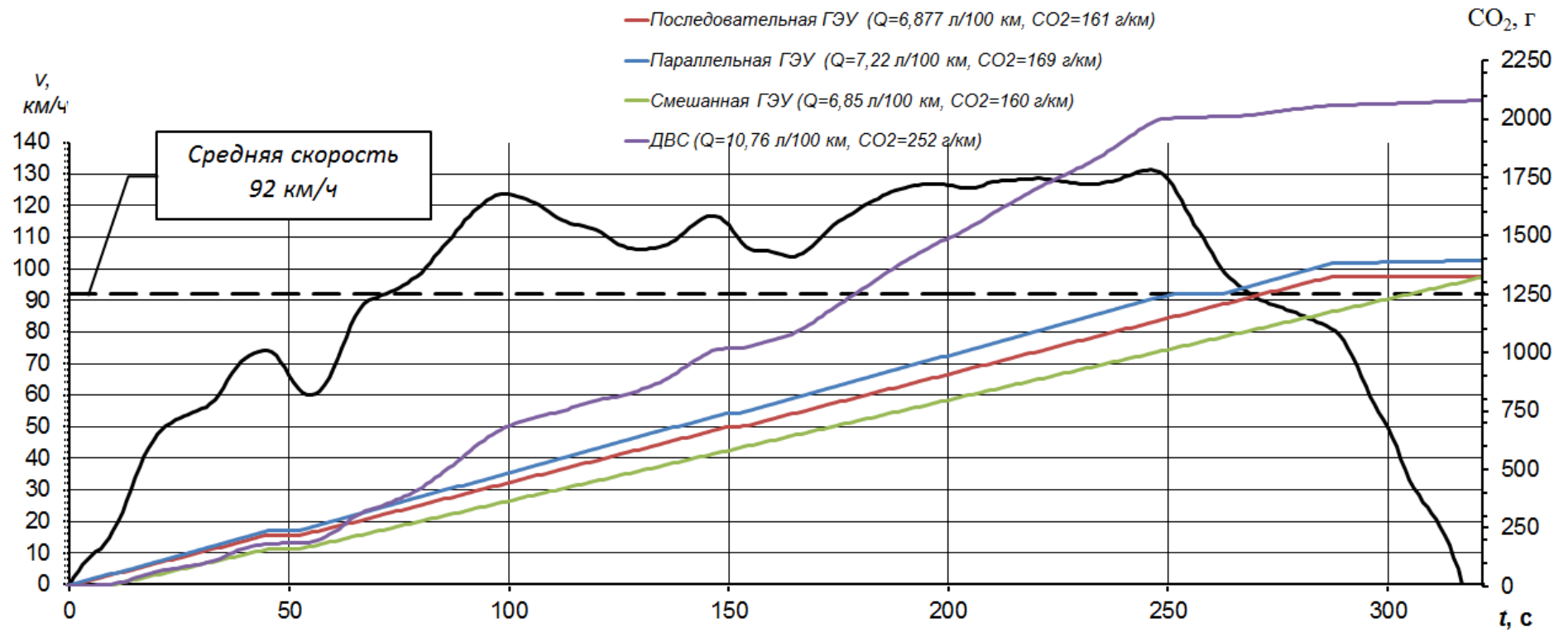


Таблица В.1 – Результаты моделирования топливной экономичности, выбросов CO₂, а также основных параметров энергоустановок различных типов в зависимости от цикла движения

Показатель*	Заданный участок цикла ВЦИМГ (ГОСТ Р 59890-2021)																			
	Низкоскоростной участок				Среднескоростной участок				Скоростной участок				Высокоскоростной участок				Весь цикл			
	Тип энергоустановки				Тип энергоустановки				Тип энергоустановки				Тип энергоустановки				Тип энергоустановки			
	Посл. КЭУ	Парал. КЭУ	Смеш. КЭУ	ДВС	Посл. КЭУ	Парал. КЭУ	Смеш. КЭУ	ДВС	Посл. КЭУ	Парал. КЭУ	Смеш. КЭУ	ДВС	Посл. КЭУ	Парал. КЭУ	Смеш. КЭУ	ДВС	Посл. КЭУ	Парал. КЭУ	Смеш. КЭУ	ДВС
$N_{\text{ДВС}}$, кВт	5,24	10,4	5,34	27,1	11,96	16,9	11,7	36,9	18,1	21,9	16,6	43,2	39,3	42,4	35,5	56	16,4	24,3	20,55	56
$N_{\text{эл.дв.}}$, кВт	17,6	16,4	16,6	–	24	20,4	20,5	–	28,1	23	22,6	–	36,5	22,8	23,2	–	36,5	33	32,3	–
$W_{\text{нэ}}$, кДж	528	361	461	–	678	374	515	–	1307	807	1017	–	2280	1215	1722	–	5889	4242	4095	–
$Q_{\text{п}}$, л/100 км	5,1	5,4	4,9	9,91	5,3	5,41	5,0	8,93	4,97	5,51	5,13	8,57	6,87	7,22	6,85	10,8	5,48	7,08	5,62	9,5
CO ₂ , г/км	120	127	115	232	125	127	117	209	116	129	120	201	161	169	160	252	128	166	131	222

*

$N_{\text{ДВС}}$ – требуемая мощность ДВС;

$W_{\text{нэ}}$ – максимальная запасаемая энергия в накопителе;

$N_{\text{эл.дв.}}$ – требуемая мощность электродвигателя;

$Q_{\text{п}}$ – приведенный расход топлива;

CO₂ – удельные выбросы углекислого газа

Таблица В.2 – Результаты расчета затрат при эксплуатации автомобиля с ДВС и комбинированной ЭУ

	Пробег	0	10000	20000	30000	40000	50000	60000	70000	80000	90000	100000	110000	120000	130000	140000	150000
	Год выпуска	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
	Годы эксплуатации	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Изменение стоимости по расчету, %		15	14	13	11	10	10	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8
Изменение стоимости, тыс. руб.	Гибрид	2340	2012	1751	1558	1402	1269	1151	1047	954	871	796	729	668	613	563	518
	Бензин	2000	1720	1496	1332	1199	1085	984	895	815	744	680	623	571	524	481	442
Потеря стоимости, тыс. руб.	Гибрид	0	328	262	193	156	133	118	104	93	83	75	67	61	55	50	45
	Бензин	0	280	224	165	133	114	101	89	80	71	64	58	52	47	43	39
Расходы на топливо, тыс. руб.	Гибрид		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
	Бензин		0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59
Инфляц. потери, тыс. руб. (5% в год)	Гибрид		100,6	87,5	77,9	70,1	63,4	57,6	52,3	47,7	43,5	39,8	36,4	33,4	30,6	28,1	25,9
	Бензин		86,0	74,8	66,6	59,9	54,2	49,2	44,7	40,8	37,2	34,0	31,1	28,5	26,2	24,1	22,1
Затраты нарастающим итогом, тыс. руб.	Гибрид		2441	2100	1829	1629	1466	1327	1204	1095	998	911	833	762	699	641	589
	Бензин		2087	1795	1564	1392	1253	1134	1029	936	853	779	712	652	597	548	504
Затраты с учетом продажи авто, тыс. руб.	Гибрид		690	542	427	360	315	280	250	224	202	182	165	149	136	124	113
	Бензин		590	464	365	308	269	240	214	192	173	156	141	128	116	106	97
Затраты с учетом продажи авто, тыс. руб.	Гибридный		69,0	54,2	42,7	36,0	31,5	28,0	25,0	22,4	20,2	18,2	16,5	14,9	13,6	12,4	11,3
	Бензиновый		59,0	46,4	36,5	30,8	26,9	24,0	21,4	19,2	17,3	15,6	14,1	12,8	11,6	10,6	9,7
Разница в цене, 10 тыс. км	руб.		-10,0	-7,8	-6,2	-5,2	-4,5	-4,0	-3,6	-3,2	-2,9	-2,6	-2,4	-2,1	-1,9	-1,8	-1,6

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ
РАБОТЫ)

Приложение Г1 – Письмо Минэнерго России



Министерство энергетики
Российской Федерации

РОССИЙСКОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
АГЕНТСТВО
федеральное государственное
бюджетное учреждение
(ФГБУ «РЭА» Минэнерго России)

129110, г. Москва, ул. Щепкина, д. 40, стр. 1
Телефон (495) 789-92-92, факс (495) 789-92-91
E-mail: info@rosenergo.gov.ru
http://rosenergo.gov.ru

Вологодский гос. ун-т № *02/44*

На № _____ от _____

Ректору
федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего
профессионального образования
«Вологодский государственный
университет»

Л.И. Соколову

Уважаемый Леонид Иванович!

Технологическая платформа «Интеллектуальная энергетическая система России» настоящим подтверждает, что предложения, представленные В.А. Раковым, к.т.н., доцентом ФГБОУ ВПО «Вологодский государственный университет» в ответ на запрос Министерства энергетики Российской Федерации (исх. № 02-44 от 26.01.2015) в части мероприятий поддержки производства и использования экологически чистого транспорта использованы при подготовке предложений по реализации пунктов 7 и 8 Комплексного плана мероприятий поддержки производства и использования экологически чистого транспорта, утвержденного заместителем Председателя Правительства Российской Федерации А.В. Дворковичем от 22 октября 2014 года № 7116п-П9.

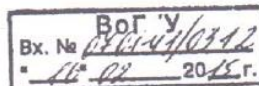
С уважением,

Директор по инновациям,
Координатор технологической платформы
«Интеллектуальная энергетическая система России»

АВ

А.В. Конев

Исп. Федорченко Е.А.
Тел. (495) 789-92-92 доб. 20-73



Приложение Г2 – АКТ внедрения в АО «Легион-Автодата»

Legion-Autodata

142171, г. Москва, а/я 1920
тел.: +7 (495) 107-90-37, 8-800-707-90-37
ИНН 7726012023 КПП 772601001

УТВЕРЖДАЮ

Директор направления
программных продуктов

Курленя С.Л.

15.06.2021 года



АКТ

**внедрения результатов диссертационной работы
«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ» к.т.н., доцента
Ракова Вячеслава Александровича**

При выполнении диссертационной работы на тему «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» кандидатом технических наук, доцентом Вологодского государственного университета Раковым Вячеславом Александровичем (научный консультант – доктор технических наук, профессор Капустин А.А.) выполнены:

- разработаны алгоритмы оценки расхода топлива по параметрам рабочих и сопутствующих процессов при аппаратном методе по сигналам датчика массового расхода воздуха, MAF, по сигналам датчика абсолютного давления, MAP; по условному параметру «нагрузка», LOAD; по времени впрыска топлива форсункой, $t_{вп}$;

- разработаны алгоритмы сбора и предварительной систематизации получаемых значений параметров с заданными критериями, представлен порядок расположения значений на эталонной матрице, выполнен анализ полученных результатов.

Разработанные Раковым В.А. алгоритмы оценки расхода топлива по параметрам рабочих и сопутствующих процессов использованы в мобильном приложении «MotorData OBD». Разработанные алгоритмы сбора и систематизации параметров с заданными критериями используются в текущей аналитической работе компании.

Комиссия в составе: Курленя Сергей Леонидович – директор направления программных продуктов, Микитенко Андрей Валерьевич – к.т.н., технический директор, Зенин Алексей Александрович – к.т.н., системный администратор, Хадеева Светлана Николаевна – менеджер проектов; подтверждает настоящим актом применение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н. доцентом Ракова В.А.

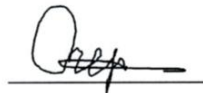
Председатель комиссии:

 Курленя С.Л.

Члены комиссии:

 Микитенко А.В.

 Зенин А.А.

 Хадеева С.Н.

Приложение ГЗ – АКТ внедрения в ВоГУ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Вологодский государственный университет»
(ВоГУ)
ул. Ленина, д.15, Вологда, 160000

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по образовательной
и воспитательной деятельности ВоГУ

С.Б. Виноградова

2024 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук
**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»**

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича в учебный процесс
Вологодского государственного университета

Комиссия в составе: Фролова А.А. – директора института машиностроения, энергетики и транспорта, кандидата технических наук, доцента; Пикалева О.Н. – заведующего кафедрой автомобилей и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента; Смирнова П.И. – доцента кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук; Богомолова А.А. – доцента кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Раковым В.А., в учебный процесс Вологодского государственного университета для преподавания дисциплин: «Энергетический анализ машин и механизмов», «Конструкция и эксплуатационные свойства ТнТТМиК», «Эксплуатационные свойства автомобилей», «Нормативы по защите окружающей среды», «Конструкция двигателей» у бакалавров направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и

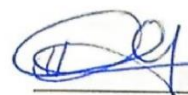
комплексов» и специалистов направления подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства».

Внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» на соискание ученой степени доктора технических наук обсуждено на заседании методического совета института машиностроения, энергетики и транспорта 19 сентября 2024 года, Протокол №1.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Пат 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Оpubл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.
2. Раков, В. А. Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками: монография / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2014. – 143 с.
3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.
4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2020. – 240 с.
5. Раков, В. А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.
6. Александров, И. К. Энергетический анализ механизмов и машин : учебное пособие / И. К. Александров, В. А. Раков – Вологда : ВоГУ, 2024. – 82 с.

Председатель комиссии:
директор института машиностроения,
энергетики и транспорта, к.т.н., доцент

 Фролов А.А.

Члены комиссии:
заведующий кафедрой автомобилей и
Автомобильного хозяйства, к.т.н., доцент

 Пикалев О.Н.

доцент кафедры автомобилей и
Автомобильного хозяйства, к.т.н., доцент

 Смирнов П.И.

доцент кафедры автомобилей и
Автомобильного хозяйства, к.т.н., доцент

 Богомолов А.А.

Приложение Г4 – АКТ внедрения в ООО «ПЭТ»

ООО «Перспективные энергосберегающие технологии»

160009, г. Вологда,
ул. 3 Интернационала, д.5 оф. 80

Телефон 89115021586
Факс (8172) 54-44-02
E-mail: pet_vologda@mail.ru

*К договору № 2839
от 27.03.2008*

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Александров И.К.

14.06.2013



АКТ

**использования результатов научной работы
к.т.н. Ракова Вячеслава Александровича**

При выполнении научной работы на тему «Научно-техническое обоснование энергетического баланса в системе генератор-накопитель энергии-двигатель гибридного привода на основании исследований ездового цикла троллейбуса» кандидатом технических наук Вологодского государственного университета Раковым Вячеславом Александровичем выполнены:

- замер баланса мощности при движении машины с электрическим приводом по маршруту;
- расчет баланса энергий в электроприводе гибридной энергоустановки городского автобуса;
- определение критериев выбора мощности дизельного электрогенератора гибридного привода городского автобуса;
- разработка алгоритмов управления дизель-генераторной установкой в зависимости от режима работы гибридной энергоустановки.

Результаты работы Ракова В.А. использованы при проведении исследований по заказу ОАО «Транс-Альфа».

Председатель комиссии:

[Signature] Александров И.К.

Члены комиссии:

[Signature] Рыжков А.В.

[Signature] Несговоров Е.В.

ДОГОВОР ПОДРЯДА № 2839

г. Вологда

« 27 » марта 2008 г.

ОАО «Транс-Альфа», именуемое в дальнейшем «ЗАКАЗЧИК», в лице Генерального директора Петрова Виктора Васильевича, действующего на основании Устава предприятия, с одной стороны, и гражданин Александров Игорь Константинович, с другой стороны, именуемый в дальнейшем «ПОДРЯДЧИК», заключили настоящий договор о нижеследующем.

1. ПРЕДМЕТ ДОГОВОРА

1.1. Заказчик поручает, а Исполнитель принимает на себя обязательство выполнение работы:

Научно-техническое обоснование энергетического баланса в системе генератор – накопитель энергии – двигатель гибридного привода на основании исследований ездового цикла троллейбуса

1.2. Основные требования к выполняемой работе изложены в Техническом задании, являющемся неотъемлемой частью настоящего Договора (Приложение 1).

1.3. Плановый срок выполнения работы по договору: 15.05.2008 г.

1.4. Приемка и оценка выполненной работы производится в соответствии с требованиями Технического задания.

1.5. По всем вопросам, не оговоренным в настоящем Договоре, стороны руководствуются действующим законодательством.

2. ОБЯЗАННОСТИ СТОРОН

2.1. Подрядчик обязуется качественно и в установленный срок выполнить работы, предусмотренные п. 1.1 настоящего договора.

2.2. Заказчик обязуется своевременно принять и оплатить выполненные Подрядчиком работы в соответствии с условиями договора.

3. СТОИМОСТЬ РАБОТ И ПОРЯДОК ОПЛАТЫ

3.1. Стоимость работ по настоящему договору составляет 75 000
(Семьдесят пять тысяч рублей) руб.

3.2. Оплата производится путем налически

3.2. Заказчик оплачивает Исполнителю в срок не позднее _____ аванс в размере _____ % стоимости работ, то есть _____ руб.

3.2. Окончательная оплата производится в течение 30 рабочих дней после подписания акта сдачи-приемки выполненных работ.

Игорь Константинович Александров

4. ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТОРОН

- 4.1. За неисполнение или ненадлежащее исполнение обязательств по настоящему Договору стороны несут имущественную ответственность согласно действующему законодательству.
- 4.2. Материалы, полученные Подрядчиком в результате исследований условий труда на рабочих местах Заказчика, не могут быть переданы последним для использования (тиражирования) этих материалов другими организациями или сторонними лицами.
- 4.3. Заказчик обязуется обеспечить безопасные условия при проведении работ.
- 4.4. Подрядчик обязуется соблюдать установленные требования охраны труда, дисциплины, порядок и организованность на производстве.

5. ПРОЧИЕ УСЛОВИЯ

- 5.1. Все споры и разногласия, возникающие при исполнении настоящего договора, решаются в порядке, установленном гражданским законодательством РФ.
- 5.2. Настоящий договор вступает в силу с момента подписания его сторонами и действует до полного исполнения принятых сторонами обязательств.
- 5.3. Настоящий договор составлен в двух экземплярах, имеющих одинаковую юридическую силу, по одному для каждой из сторон.

6. АДРЕСА И ПОДПИСИ СТОРОН

ЗАКАЗЧИК:
ОАО «Транс-Альфа»
160004, г. Вологда,
Белозерское шоссе, 3

ПОДРЯДЧИК:
Александров И.К.
160009, г. Вологда
ул. III Интернационала, д.5, кв.80
Паспорт 19 02 603160 выдан
УВД г. Вологды 05.09.2002 г.
ИНН 352506273535
Страховое свидетельство
№ 059-334-567-85
Дата рождения – 22.08.1939 г.

Генеральный директор



Петров В.В.

« » 2008 г.

Александров И.К.

«27» марта 2008 г.

Приложение Г5 – АКТ внедрения в ООО «ПЭТ»

ООО «Перспективные энергосберегающие технологии»

160009, г. Вологда,
ул. 3 Интернационала, д.5 оф. 80

Телефон 89115021586
Факс (8172) 54-44-02
E-mail: pet_vologda@mail.ru

*к договору №6748p/9368
от 11.04.2009*

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Александров И.К.

14.06.2016



АКТ

**использования результатов научной работы к.т.н.
Ракова Вячеслава Александровича**

При выполнении научной работы на тему «**Разработка гибридной силовой установки для городского автомобиля**» кандидатом технических наук Вологодского государственного университета Раковым Вячеславом Александровичем выполнены:

- расчет параметров двигателя, электрической машины, накопителя энергии;
- изготовление опытного образца гибридной силовой установки;
- разработка системы управления гибридной силовой установкой;
- проведение испытаний гибридной силовой установки в составе автомобиля-донора Лада-1118.

Результаты работы Ракова В.А. использованы при создании опытного образца гибридной силовой установки по заказу Фонда содействия развитию малым формам предприятий по договору №6748p9368.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

[Signature] Александров И.К.
[Signature] Рыжков А.В.
[Signature] Пилипко А.Н.

ФОНД

(федеральный)

СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ МАЛЫХ ФОРМ ПРЕДПРИЯТИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

49, Ленинский проспект
119334 Москва, РОССИЯтел. 7 (495) 231-1901
факс. 7 (495) 231-1902
www.fasie.ru E-mail: info@fasie.netДиректору
ООО "ПЭТ"
Александрову И. К.**УВЕДОМЛЕНИЕ**

Настоящим подтверждается, что научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по теме: "Разработка конструкторской документации и изготовление экспериментального образца гибридной силовой установки для городского автомобиля" выполняются ООО "ПЭТ" по государственному контракту с Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере № 6748р/9368 от 11. апреля 2009 г. и финансируются Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере из средств федерального бюджета на основании Федерального закона Российской Федерации от 24 ноября 2008 г. № 204-ФЗ "О федеральном бюджете на 2009 год и на плановый период 2010 и 2011 годов". Прямой получатель средств из федерального бюджета 226 Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. По функциональной бюджетной классификации РФ: Раздел 04 Национальная экономика, Подраздел 11 Прикладные научные исследования в области национальной экономики, Целевая статья 0816900 Выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по государственным контрактам, Вид расходов 001 Выполнение функций бюджетными учреждениями, Подстатья классификации операций сектора государственного управления 226 Прочие работы, услуги.

Генеральный директор



С. Г. Поляков



ООО «Перспективные энергосберегающие технологии»

160009, г. Вологда,
ул. 3 Интернационала, д.5 оф. 80

Телефон 89115021586
Факс (8172) 54-44-02
E-mail: pet_vologda@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Александров И.К.



ПРИКАЗ № 10

о создании группы для выполнения НИОКР по теме:
"Разработка экономичной гибридной силовой установки для городского автомобиля"

(государственный контракт №6748р/9368)

№	ФИО сотрудника группы для выполнения НИОКР	Возложенные обязанности	Размер зарботной платы (т.р.)	Основание
1	Александров Игорь Константинович	Директор- руководитель	16,95	Трудовой договор
2	Несговорев Евгений Валерьянович	Инженер- конструктор	16,95	Трудовой договор
3	Раков Вячеслав Александрович	Научный работник	16,95	Трудовой договор
4	Рыжков Алексей Владимирович	Инженер- конструктор	16,95	Трудовой договор

г. Вологда.
2009 г.

Приложение Г6 – АКТ внедрения в ВятГУ

ВЯТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Политехнический институт

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по образованию
С.И. Никулин
« 06 » _____ 2024 г.

АКТ

Об использовании (внедрении) результатов научно-исследовательской
работы в учебном процессе

Мы, нижеподписавшиеся, декан факультета технологий, инжиниринга и дизайна Лисовский В.А., заведующий кафедрой технологии машиностроения Сергеев Д.Г. составили настоящий акт о том, что результаты госбюджетной научно-исследовательской работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» (исполнитель – Раков Вячеслав Александрович) внедрены (использованы) в учебном процессе: при чтении лекций по дисциплинам «Организация и планирование эксперимента», «Турбомашины и поршневые двигатели», и выполнении выпускных квалификационных работ для студентов и аспирантов, обучающихся по направлениям подготовки 15.04.01. «Машиностроение», 2.4.7. «Турбомашины и поршневые двигатели».

Декан ФТИД

Лисовский В.А.

Зав. кафедрой ТМ

Сергеев Д.Г.

Приложение Г7 – АКТ внедрения в БГСХА

МІНІСТЭРСТВА СЕЛЬСКОЙ ГАСПАДАРКІ
І ХАРЧАВАННЯ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

ГАЛОЎНАЕ УПРАЎЛЕННЕ АДУКАЦЫІ,
НАВУКІ І КАДРАВЫХ ПАЛІТЫКІ

УСТАНОВА АДУКАЦЫІ
«БЕЛАРУСКАЯ ДЗЯРЖАЎНАЯ
ОРДЭНА КАСТРЫЧНІЦКАЙ РЭВАЛЮЦЫІ
І ПРАЦОЎНАГА ЧЫРВОНАГА СЦЯГА
СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЯ АКАДЭМІЯ»

вул. Мічурына, 5, 213407, г. Горкі, Магілёўская вобласць
тэл. 8 (02233) 79641, факс 8 (02233) 78274
E-mail: kancel@baa.by

Р/р (бюдж.) BY34AKBB36049000019947300000
Р/р (пазабюдж.) BY25AKBB36329000012567300000
у ЦБУ № 708 ААТ «ААБ Беларусбанк», г. Горкі
BIC SWIFT AKBBBY2X, УНП 700077852, АКПА 00493043

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки, Могилевская область
тел. 8 (02233) 79641, факс 8 (02233) 78274
E-mail: kancel@baa.by

Р/с (бюдж.) BY34AKBB36049000019947300000
Р/с (внебюдж.) BY25AKBB36329000012567300000
в ЦБУ № 708 ОАО «АСБ Беларусбанк» г. Горки,
BIC SWIFT AKBBBY2X, УНП 700077852, ОКПО 00493043



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

А. В. Колмыков

20 11 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов, содержащихся в диссертационной работе
**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»**
на соискание ученой степени доктора технических наук
к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича

Комиссия в составе: Карташевич А.Н. – заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин для природообустройства, доктор технических наук, профессор, Заслуженный работник образования Республики Беларусь – председатель.

Члены комиссии: Гусаров В.В. – декан факультета механизации сельского хозяйства, кандидат технических наук; Белоусов В.А. – доцент кафедры тракторов, автомобилей и машин для природообустройства, кандидат технических наук; Рудашко А.А. – доцент кафедры тракторов, автомобилей и машин для природообустройства, кандидат технических наук.

Комиссия подтверждает настоящим актом внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н. доцента Вологодского государственного университета Ракова В.А. (научный консультант – доктор технических наук, профессор Капустин А.А.).

Разработанный метод комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающий методику оценки снижения экономических издержек при их эксплуатации, обоснование границ экономической целесообразности их эксплуатации использован в учебном процессе при подготовке методических указаний и учебных пособий при изучении дисциплины «Тракторы и автомобили» и «Техническая эксплуатация машинно-тракторного парка» студентами факультета механизации сельского хозяйства.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

Карташевич А.Н.

Гусаров В.В.

Белоусов В.А.

Рудашко А.А.

Приложение Г8 – АКТ внедрения «Газпром газораспределение Киров»



АО «ГАЗПРОМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ»

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГАЗПРОМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ КИРОВ»

(АО «Газпром газораспределение Киров»)

ФИЛИАЛ В Г. КИРОВО-ЧЕПЕЦКЕ

Ул. Революции, д. 4, г. Кирово-Чепецк, Кировская обл.,
Российская Федерация, 613040
Тел.: +7 (83361) 463-39, факс: +7 (83361) 463-39
E-mail: info.chepetsk@gpgrkirov.ru
ОКПО 03273945, ОГРН 1024301312881, ИНН 4346006589, КПП 431202001

№
на № 8 от 19.03.2024

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов, содержащихся в диссертационной работе

**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»**

на соискание ученой степени доктора технических наук

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича

Комиссия в составе представителей филиала АО «Газпром газораспределение Киров» в г. Кирово-Чепецке:

1. Главного механика Кутергина Н.Ю.
2. Механика Чуракова В.В.

подтверждает настоящим актом внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н. доцента Вологодского государственного университета Ракова В.А. (научный консультант – доктор технических наук, профессор Капустин А.А.).

В диссертационной работе обоснованы границы эффективной эксплуатации гибридных автомобилей с разными типами комбинированных энергоустановок в зависимости от годового пробега и периода эксплуатации, получены результаты

оценки эффективности гибридных автомобилей разных категорий на основании разработанных критериев.

Результаты диссертационной работы использованы при обеспечении информационной поддержки эксплуатации гибридных автомобилей, а также при разработке и реализации мероприятий и технических решений, направленные на улучшение надежности и топливной экономичности гибридных автомобилей, используемых на предприятии.

Разработанный метод комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей, включающий методику оценки снижения экономических издержек при их эксплуатации, обоснование границ экономической целесообразности их эксплуатации использован при разработке мероприятий по обновлению автопарка предприятия.

Главный механик

Механик



Кутергин Н.Ю.

Чураков В.В.

Приложение Г9 – АКТ внедрения в Владимирском ГУ

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и цифровому развитию
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых»,
доктор физико-математических наук, доцент
Кучерик Алексей Олегович



2024 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук
**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ»**

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича в учебный процесс
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых

Комиссия в составе: Елкина А.И. – директора института машиностроения и автомобильного транспорта, кандидат технических наук, доцента; Амирсейидова Ш.А. – заведующего кафедрой «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», кандидата технических наук, доцента; Кириллова А.Г. – доцента кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», кандидата технических наук; Колова Д.А. – доцента кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», кандидата технических наук, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Раковым В.А., в учебный процесс Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых для бакалавров направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» на соискание ученой степени доктора технических наук

обсуждено на заседании ученого совета института машиностроения и автомобильного транспорта 28 октября 2024 года, Протокол №3.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Пат 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Оpubл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.

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

3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.

4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2020. – 240 с.

5. Раков, В. А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.

6. . Александров, И. К. Энергетический анализ механизмов и машин : учебное пособие / И. К. Александров, В. А. Раков – Вологда : ВоГУ, 2024. – 82 с.

Председатель комиссии:

директор института машиностроения и автомобильного транспорта, к.т.н., доцент

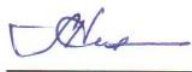
 Елкин А.И.

Члены комиссии:

заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством», к.т.н., доцент

 Амирсейидов Ш.А.

доцент кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством»,

 Кириллов А.Г.

доцент кафедры «Автомобильный транспорт, безопасность и управление качеством»,

 Колов Д.А.

Приложение Г10 – АКТ внедрения в МПУ



**МОСКОВСКИЙ
ПОЛИТЕХ**

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский политехнический университет»
(Московский Политех)

Б. Семеновская ул., д.38, Москва, 107023
Тел.+7 495 223 05 23, Факс +7 499 785 62 24
www.mospolytech.ru | E-mail: mospolytech@mospolytech.ru
ОКПО 04350607, ОГРН 1167746817810,
ИНН/КПП 7719455553/771901001

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе, к.т.н.

А.Ю. Наливайко

2024 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича на тему:
«Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.9.5– Эксплуатация автомобильного транспорта

Комиссия в составе председателя – профессора Передовой инженерной школы, старшего научного сотрудника кафедры «Наземные транспортные средства», д.т.н., доцента Шадрин Сергей Сергеевич и членов комиссии – профессора кафедры «Наземные транспортные средства», к.т.н., доцента Есеновского-Лашкова Михаила Юрьевича и доцента Передовой инженерной школы, доцента кафедры «Наземные транспортные средства», Dr.-Ing. Фурлетова Юрия Михайловича составили настоящий акт о том, что полученные в диссертационной работе В.А. Ракова результаты теоретических и экспериментальных исследований внедрены и используются в научной деятельности Московского политехнического университета при выполнении поисковых научно-исследовательских работ, а также в учебном процессе Передовой инженерной школы и кафедры «Наземные транспортные средства» по образовательным программам специалитета 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», бакалавриата 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и магистратуры 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» при проведении занятий по дисциплинам: «Энергетические установки наземных транспортных средств», «Автомобили с комбинированными энергетическими установками», «Особенности конструкции и эксплуатации электромобилей», «Эксплуатация и ремонт автомобиля», «Теория эксплуатационных свойств автомобиля».

Внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» на соискание ученой степени доктора технических наук обсуждено на заседании кафедры «Наземные транспортные средства» 12 ноября 2024 года, протокол №4.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Патент 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.
2. Раков, В. А. Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками: монография / В. А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 143 с.
3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.
4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2020. – 240 с.

5. Раков, В.А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.

6. Александров И. К. Энергетический анализ механизмов и машин: учебное пособие / И.К. Александров, В.А. Раков – Вологда: ВоГУ, 2024. – 82 с.

Председатель комиссии:

д.т.н., доцент



С.С. Шадрин

Члены комиссии:

к.т.н., доцент



М.Ю. Есеновский-Лашков

Доцент кафедры

Dr.-Ing.



Ю.М. Фурлетов

Приложение Г11 – АКТ внедрения в МАУ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Мурманский арктический университет»

г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13, инд.183010

Проректор по образовательной деятельности МАУ



«УТВЕРЖДАЮ»

В.В. Яценко

13 ноября 2024 года

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы

на соискание ученой степени доктора технических наук

«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича в учебный процесс

Вологодского государственного университета

Комиссия в составе: Федоровой О.А. – директора института прикладных арктических технологий, кандидата технических наук, доцента; Челтыбашева А.А. – заведующего кафедрой строительства, энергетики и транспорта, кандидата технических наук, доцента; Малышева В.С. – кандидата технических наук, доцента кафедры строительства, энергетики и транспорта, Канжиной О.В. – доцента кафедры строительства, энергетики и транспорта, кандидата технических наук; настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Вологодского государственного университета Раковым В.А., в учебный процесс Мурманского арктического университета для преподавания дисциплин: «Конструкция и основы расчета силовых агрегатов», «Устройство и конструкция автомобиля» у бакалавров направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

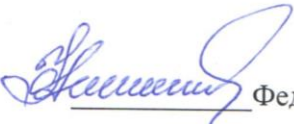
Внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» на соискание

ученой степени доктора технических наук обсуждено на заседании ученого совета института прикладных арктических технологий 12 ноября 2024 года, Протокол №3.

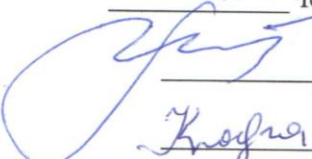
Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Пат 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Оpubл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.
2. Раков, В. А. Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками: монография / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2014. – 143 с.
3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.
4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2020. – 240 с.
5. Раков, В. А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.
6. Александров, И. К. Энергетический анализ механизмов и машин : учебное пособие / И. К. Александров, В. А. Раков – Вологда : ВоГУ, 2024. – 82 с.

Председатель комиссии:
директор института прикладных
арктических технологий, к.т.н., доцент

 Федорова О.А.

Члены комиссии:
заведующий кафедрой строительства, энергетики и
транспорта, к.т.н., доцент
доцент кафедры строительства, энергетики
и транспорта, к.т.н., доцент
доцент кафедры строительства, энергетики и
транспорта, к.т.н.

 Челтыбашев А.А.
 Малышев В.С.
 Канжина О.В..

Приложение Г12 – АКТ внедрения в УлГТУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



«УТВЕРЖДАЮ»

Первый проректор,
проректор по учебной работе
Суркова Е.В.
31 октября 2024 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы

на соискание ученой степени доктора технических наук

**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»**

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича,

доцента ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»

Комиссия в составе Обшивалкина М.Ю. – декана машиностроительного факультета, заведующего кафедрой «Автомобили», кандидата технических наук, доцента; Паули Н.В. – кандидата технических наук, доцента кафедры «Автомобили»; Евстигнеева А.Д. – председателя НМС машиностроительного факультета, кандидата технических наук, доцента, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Раковым В.А., в учебный процесс кафедры «Автомобили» Ульяновского государственного технического университета для преподавания специальных дисциплин по направлениям подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 23.03.01 «Технология транспортных процессов».

Внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» на соискание ученой степени доктора технических наук обсуждено на заседании научно-

методического совета машиностроительного факультета Ульяновского государственного технического университета 31 октября 2024 г., Протокол №2.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Пат 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Оpubл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.

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

3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.

4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2020. – 240 с.

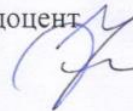
5. Раков, В. А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.

6. Александров, И. К. Энергетический анализ механизмов и машин: учебное пособие / И. К. Александров, В. А. Раков – Вологда: ВоГУ, 2024. – 82 с.

Члены комиссии:

Декан машиностроительного факультета,

Заведующий кафедрой «Автомобили», к.т.н., доцент



М.Ю. Обшивалкин

Доцент кафедры «Автомобили», к.т.н., доцент



Н.В. Паули

Председатель научно-методического совета машиностроительного факультета,

к.т.н., доцент



А.Д. Евстигнеев

Приложение Г13 – АКТ внедрения в ТГПУ им. Л.Н. Толстого

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого
ТГПУ им. Л.Н. Толстого
пр. Ленина, д.125, Тула, 300026

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по учебной работе
ТГПУ им. Л.Н. Толстого
А.Ю. Фролов
15.08.2024 года



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы
на соискание ученой степени доктора технических наук
**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ
АВТОМОБИЛЕЙ»**

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича в учебный процесс
Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н.
Толстого

Комиссия в составе: Потапова А.А. – декана факультета технологий и бизнеса, кандидата технических наук, доцента; Лазарева И.В. – заведующего кафедрой агроинженерии и техносферной безопасности, кандидата педагогических наук, доцента; Лукиенко Л.В. – профессора кафедры агроинженерии и техносферной безопасности, доктора технических наук, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Раковым В.А., в учебный процесс

Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого для преподавания дисциплины: «Тракторы и автомобили у бакалавров направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия».

Внедрение результатов диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» на соискание ученой степени доктора технических наук обсуждено на заседании кафедры агроинженерии и техносферной безопасности 24 октября 2024 года, Протокол № 2.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.

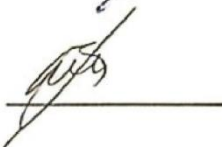
Председатель комиссии:
Декан факультета технологий и бизнеса,
к.т.н., доцент

 Потапов А.А.

Члены комиссии:
заведующий кафедрой агроинженерии и техносферной безопасности,
к.п.н., доцент

 Лазарев И.В.

профессор кафедры агроинженерии и
техносферной безопасности, д.т.н., доцент

 Лукиенко Л.В.

Приложение Г14 – АКТ внедрения в Учебный Центр "Автоумелец"

Образовательное учреждение профессионального образования учебный центр
СЕРВИСЦЕНТР АВТОУМЕЛЕЦ
 160029, Вологодская область, город Вологда, Северная ул., д.12 а



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы
 на соискание ученой степени доктора технических наук
**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
 ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»**
 к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича в учебный процесс
 Вологодского государственного университета

Комиссия в составе: Н.А.Бормосов – председатель комиссии, внешнего эксперт, доцента кафедры автомобилей и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук; С.К. Сергеев – преподаватель; В.В.Попов – мастер обучения; А.В.Донцов – мастер обучения; О.Л.Волков – мастер обучения, настоящим актом подтверждает внедрение результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Раковым В.А., для учебного процесса в ООО СервисЦентр АвтоУмелец для преподавания тем: «Обслуживание электрооборудование автомобиля», «Электродвигатели и генераторы, используемые в автомобилях», «Аккумуляторные батареи, автомобилей», «Диагностирование электронных систем автомобилей» учебного курса слесарь-электрик по ремонту электрооборудования автомобилей.

Результаты диссертационной работы:

- дают представление о конструкции комбинированных энергоустановок автомобилей их особенностях, эксплуатационных свойствах и основных неисправностях;
- обеспечивают повышение квалификации обучающихся в направлении оценки технического состояния комбинированных энергоустановок;

- уменьшают время поиска неисправностей, а также снижают вероятность ошибок при оценке технического состояния элементов комбинированной энергоустановки: ДВС, электропривод, батареи и трансмиссия.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Пат 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Опубл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.

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

3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.

4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда : ВоГУ, 2020. – 240 с.

5. Раков, В. А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.

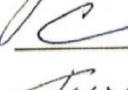
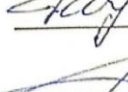
Председатель комиссии:
внешний эксперт, доцент кафедры автомобилей и
автомобильного хозяйства, к.т.н.

преподаватель

мастер обучения

мастер обучения

мастер обучения

 Н.А. Бормосов
 С.К.Сергеев
 В.В.Попов
 А.В. Донцов
 О.Л.Волков

Приложение Г15 – АКТ внедрения в СПбПУ



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279, ОКПО 02068574
ул. Политехническая, д. 29 литера Б,
вн. тер. г. муниципальный округ Академическое
г. Санкт-Петербург, 195251
тел.: +7(812)552-60-80, office@spbstu.ru

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «СПбПУ»

_____ Ю.В. Фомин

_____ 2024 г.

	№	
на №	от	

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

материалов диссертационной работы

на соискание ученой степени доктора технических наук

**«МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИБРИДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ»**

к.т.н., доцента Ракова Вячеслава Александровича в учебный процесс
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Настоящим актом подтверждаем использование результатов диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей», выполненную доцентом Раковым В.А., в учебный процесс СПбПУ при преподавании дисциплин: «Введение в профессиональную деятельность», «Конструкция наземных транспортных машин», «Эксплуатация наземных транспортных машин», «Проектирование наземных транспортных машин» при обучении бакалавров по направлению подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические средства и комплексы» и специалистов направления подготовки 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства». Материалы предоставлены автором безвозмездно.

Основные положения диссертационной работы «Методология комплексной оценки и обеспечения эффективности эксплуатации гибридных автомобилей» к.т.н., доцента Ракова В.А. для учебного процесса изложены в следующих учебных изданиях:

1. Пат 120923 РФ, МПК В60Н1/18. Экономайзер тепла выпускных газов двигателей внутреннего сгорания / В.А. Раков; Патентообладатель: Раков Вячеслав Александрович. Оpubл. 10.10.2012, Бюл. № 28. – 2 с.
2. Раков, В. А. Эксплуатация и обслуживание автомобилей с гибридными силовыми установками: монография / В. А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 143 с.
3. Раков, В.А. Гибридные автомобили: учебное пособие / В.А. Раков, А.А. Капустин. – Вологда: ВоГУ, 2016. – 96 с.
4. Оценка эксплуатационных свойств автомобилей с комбинированными энергетическими установками: монография / В. А. Раков. – Вологда: ВоГУ, 2020. – 240 с.
5. Раков, В. А. КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива гибридными автомобилями по заданному циклу движения: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № RU 2023666519, опубл. 1.08.2023 / В. А. Раков.
6. Александров, И. К. Энергетический анализ механизмов и машин: учебное пособие / И. К. Александров, В. А. Раков – Вологда: ВоГУ, 2024. – 82 с.

Директор Высшей школы транспорта,
канд. техн. наук

А.А. Грачев

Профессор Высшей школы транспорта,
докт. техн. наук, доцент

Р.Ю. Добрецов

Приложение Г16 – Диплом лауреата государственной премии



ДИПЛОМ

*лауреата государственной премии
Вологодской области*

Распоряжением Губернатора Вологодской области
от 12 августа 2016 года № 2749-р

***Ракову
Вячеславу Александровичу***

присуждена

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ МОЛОДЕЖНАЯ ПРЕМИЯ
Вологодской области
по науке и технике за 2016 год**

***За работу «Разработка новых научно-технических
решений, направленных на развитие парка
экологически чистых и экономичных автомобилей
в Российской Федерации».***

Губернатор Вологодской области



О.А. Кувшинников

г.Вологда

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д
(ПАТЕНТЫ)**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 120923

ЭКОНОМАЙЗЕР ТЕПЛА ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯПатентообладатель(ли): *Раков Вячеслав Александрович (RU)*Автор(ы): *Раков Вячеслав Александрович (RU)*

Заявка № 2012117682

Приоритет полезной модели 27 апреля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 10 октября 2012 г.

Срок действия патента истекает 27 апреля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 418 185** (13) **C2**

(51) МПК
F02D 41/04 (2006.01)
B60W 10/00 (2006.01)

(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21)(22) Заявка: 2009117845/06, 14.05.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
14.05.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 14.05.2009

(43) Дата публикации заявки: 20.12.2010 Бюл. № 35

(45) Опубликовано: 10.05.2011 Бюл. № 13

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2338081 C1, 10.11.2008. RU 2070649
C1, 20.12.1996. SU 1339282 A1, 23.09.1987.
EP 1602817 A2, 07.12.2005. JP 2007327337 A,
20.12.2007. EP 427568 A, 15.05.1991.

Адрес для переписки:

160000, г.Вологда, ул. Ленина, 15,
Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Вологодский государственный
технический университет" (ВоГТУ)

(72) Автор(ы):

Александров Игорь Константинович (RU),
Несговорев Евгений Валерьянович (RU),
Раков Вячеслав Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования "Вологодский государственный
технический университет" (ВоГТУ) (RU),
Общество с ограниченной
ответственностью "Перспективные
энергосберегающие технологии" (ПЭТ) (RU)

RU 2 418 185 C2

**(54) СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЕМ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ
ТРАНСМИССИЕЙ С ЧАСТИЧНОЙ РЕКУПЕРАЦИЕЙ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ**

(57) Формула изобретения

1. Способ минимизации удельного расхода топлива двигателем внутреннего сгорания (ДВС) за счет автоматического регулирования режима работы ДВС на основе обратной связи с элементами трансмиссии обеспечивает работу двигателя транспортного средства, снабженного генератором переменного тока, приводимым в действие ДВС, выпрямителем, управляемым накопителем электрической энергии, тяговым электродвигателем, отличающийся тем, что в транспортном средстве при нажатии на педаль торможения или при условии превышения частоты вращения вала тягового электродвигателя над частотой вращения электромагнитного поля, задаваемого сигналом системы управления тягового электродвигателя (режим принудительного торможения), подают сигнал на блок управления выключением подачи топлива, переводят ДВС в режим работы с пониженной устойчивой скоростью вращения выходного вала, а тяговый электродвигатель - в режим рекуперации

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **127 690** (13) **U1**(51) МПК
B60H 1/18 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012152765/11, 06.12.2012**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **06.12.2012**(45) Опубликовано: **10.05.2013** Бюл. № 13

Адрес для переписки:

**160000, г.Вологда, ул. Ленина, 15, ФГБОУ
ВПО "Вологодский государственный
технический университет" (ВоГТУ)**

(72) Автор(ы):

**Раков Вячеслав Александрович (RU),
Синицын Антон Александрович (RU),
Верхорубов Виталий Владимирович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Вологодский государственный технический
университет" (ВоГТУ) (RU)**(54) **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМАЙЗЕРОМ
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ**

(57) Формула полезной модели

Система автоматического управления утилизацией тепла экономайзера отработавших газов, состоящая из теплообменной секции, имеющей каналы для пропуска горячих газов и каналы для протекания жидкого теплоносителя, отличающаяся тем, что имеет газовую заслонку, установленную внутри обводного газового канала, служащую для управления потоком проходящих газов, датчик температуры, установленный на одном из накопительных бачков теплообменной секции, электропривод управления заслонкой, циркуляционный насос, установленный в циркуляционном контуре, электронный блок слежения и управления, панель индикации, показывающую режим работы устройства и положение заслонки, защитный термовыключатель принудительного открытия газовой заслонки.

RU 1 2 7 6 9 0 U 1

RU 1 2 7 6 9 0 U 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** (11) **2 378 742** (13) **C1**

(51) МПК
H01M 8/02 (2006.01)
H01L 37/00 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008145349/09, 17.11.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
17.11.2008

(45) Опубликовано: 10.01.2010 Бюл. № 1

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2332754 C1, 27.08.2008. RU 2303834 C2,
27.07.2007. WO 2004012287 A2, 05.02.2004. WO
0109968 A1, 08.02.2001. US 6080501 A,
27.06.2000.

Адрес для переписки:

160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, ГОУ ВПО
"Вологодский государственный технический
университет" (ВоГТУ)

(72) Автор(ы):

Александров Игорь Константинович (RU),
Несговорев Евгений Валерьянович (RU),
Раков Вячеслав Александрович (RU),
Рыжков Алексей Владимирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ГОУ ВПО "Вологодский государственный
технический университет" (ВоГТУ) (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области создания эффективных химических источников тока, обеспечивающих непосредственное преобразование окислительно-восстановительной реакции в электрическую энергию, минуя малоэффективный (идущий с большими потерями) процесс горения. Согласно изобретению на широко используемый топливный элемент (ТЭ) трубчатой топологии, в котором совершается процесс преобразования окислительно-восстановительной реакции в электрическую энергию, надевается «рубашка» в виде трехслойной разрезной трубчатой

конструкции, где внутренний и наружный слои являются токовыми контактами, а средний представляет собой полупроводниковую структуру, изготовленную на основе сульфида самария (SmS). Данная «рубашка» является термоэлектрическим преобразователем (ТЭП), обладающая свойством вырабатывать эдс при равномерном нагреве. Таким образом, под воздействием избыточного тепла, выделяемого ТЭ, в ТЭП возникает собственная эдс которая суммируется с эдс топливного элемента. Техническим результатом является повышение эффективности (КПД по вырабатываемой электрической энергии) комбинированной системы более чем на 20%. 1 з.п. ф-лы, 3 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2023666519

**КЭУ-АВТО. Программа для расчета расхода топлива
гибридными автомобилями по заданному циклу
движения**

Правообладатель: **Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Вологодский государственный университет» (RU)**

Автор(ы): **Раков Вячеслав Александрович (RU)**

Заявка № **2023664261**

Дата поступления **10 июля 2023 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **01 августа 2023 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*



ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 429b6a0fe3853164baf96f83b73b4aa7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.05.2023 по 02.08.2024

Ю.С. Зубов

ПРИЛОЖЕНИЕ Е
(СВИДЕТЕЛЬСТВА И ПАСПОРТА)



120СИ0000550412

(отметка о регистрации уведомления в уполномоченном органе)

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии

УВЕДОМЛЕНИЕ

от юридического лица о начале осуществления предпринимательской деятельности от 04 апреля 2012 г.

Полное название организации: Общество с ограниченной ответственностью "Л Кард"
Сокращенное название организации: ООО "Л Кард"
Фирменное название организации:
ОГРН: 1097746771792
ИНН: 7730618850

(указывается полное и сокращенное, в том числе фирменное (при наличии), наименование, организационно-правовая форма юридического лица основной государственный регистрационный номер юридического лица (ОГРН), идентификационный номер налогоплательщика (ИНН))

Юридический адрес : 121096, г. Москва, ул. 2-ая Филёвская, д. 7, корп. 6
Адрес(а) деятельности : 117105, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 5, корп. 4, строение 2
Почтовый адрес : 117105, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 5, корп. 4, строение 2

(указываются почтовые адреса места нахождения юридического лица, в том числе его филиалов и представительств, мест фактического осуществления заявленного вида (видов) деятельности)

в соответствии со статьей 8 Федерального закона "О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля" уведомляет о начале осуществления следующего вида (видов) предпринимательской деятельности:

Код по ОКВЭД

Описание характера деятельности

33.20.4	Производство приборов для измерения электрических величин
33.20.5	Производство приборов для контроля прочих физических величин
33.20.6	Производство прочих приборов и инструментов для измерения, контроля и испытаний
33.20.8	Производство частей приборов, аппаратов и инструментов для измерения, контроля, испытания, навигации и прочих целей
33.20.9	Предоставление услуг по монтажу, ремонту и техническому обслуживанию приборов и инструментов для измерения, контроля, испытания, навигации и прочих целей

(указывается вид (виды) деятельности и выполняемые в ее составе работы (услуги) по перечню работ и услуг в составе отдельных видов предпринимательской деятельности, о начале осуществления которых юридическим лицом представляется уведомление)

с "03" декабря 2009 г. и подтверждает соответствие территорий, зданий, помещений, сооружений, оборудования, иных подобных объектов, транспортных средств, предназначенных для использования в процессе осуществления заявленной деятельности, персонала, иных условий осуществления предпринимательской деятельности обязательным требованиям.

Генеральный директор
 ООО "Л Кард"
 (наименование должности
 руководителя юридического
 лица)



(подпись руководителя
 юридического лица,
 лица, представляющего
 интересы юридического
 лица, индивидуального
 предпринимателя)

В.А.Царюк
 (инициалы, фамилия
 руководителя юридического
 лица, лица, представляющего
 интересы юридического лица,
 индивидуального
 предпринимателя)



Федеральное агентство по
Техническому регулированию и метрологии

ФБУ РОСТЕСТ-МОСКВА

Федеральное бюджетное учреждение
«Государственный региональный центр стандартизации,
метрологии и испытаний в г. Москве»

СВИДЕТЕЛЬСТВО

№ 10

ОБ ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ В ЛАБОРАТОРИИ

Выдано 1 июля 2013 г.

Действительно до 1 июля 2018 г.

Настоящим удостоверяется наличие в

Лаборатории высоковольтных испытаний

Общества с ограниченной ответственностью «Л Кард»

РФ, 121096, г. Москва, ул. Филевская 2-я, д. 7, корп.6, Помещение ТАРП ЗАО.
наименование и адрес юридического лица

условий, необходимых для выполнения измерений в закреплённой
за лабораторией области деятельности.

Приложение: Перечень объектов и контролируемых в них показателей.



М.П.
Заместитель
генерального директора

А.С. Евдокимов

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ФОНД
ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ**

Название	Значение
Номер в госреестре	79207-20
Наименование СИ	Счетчики дизельного топлива
Обозначение типа СИ	EUROSENS
Номер записи	178469
Дата опубликования	19.10.2020

Страна и предприятие-изготовитель

Название	Значение
Изготовитель	ЗАО «Мехатроника», Беларусь, г. Вилейка

Общее

Название	Значение
Описание типа	https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/download file/14f4d1bc-072e-42d0-a092-aec808591d96
Методики поверки	https://fgis.gost.ru/fundmetrology/api/download file/484d9f8b-86cb-408b-b530-16a8766e7c53
Процедура	Стандартная
Сведения о типе СИ	Срок свидетельства
Срок свидетельства	31.10.2024

Межповерочный интервал

Название	Значение
МПИ	1 год
Наличие периодической поверки	Да
Лет	1
Месяцев	0

Дополнительно

Название	Значение
Статус	Действует



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«ЛУКОЙЛ – Центральнефтепродукт»
 Юридический адрес: Россия, 129110, г. Москва, Олимпийский проспект, д.5,
 строение 1, тел./факс: (495)-981-70-63

Адрес производства: Россия, 142713, Московская область, Ленинский район,
 г. Видное, Промзона, нефтебаза, тел.: 8-495-620-89-40

ПАСПОРТ ПРОДУКЦИИ № 1978

Бензин автомобильный ЭКТО PLUS (АИ-95-К5)
 СТО ЛУКОЙЛ 1.24.1-2016 с изм.1

Дата изготовления: 18 июля 2017г.
 Дата отбора пробы (ГОСТ 2517-2012): 18 июля 2017г.
 Дата проведения анализа: 18 июля 2017г.
 Дата выдачи паспорта: 18 июля 2017г.



Декларация о соответствии
 ЕАЭС N RU Д-РУ.НХ10.В.02286
 Срок действия по 17.04.2020
 Зарегистрирована 24.04.2017
 ООО «Центр сертификации
 «Химмотологический Центр»

№ п/п	Наименование показателя	Нормы по ТР ТС 013/2011	Нормы по СТО ЛУКОЙЛ 1.24.1-2016 с изм.1	Фактическое значение	Методы испытаний
1	Октановое число - по исследовательскому методу - по моторному методу	не менее 80 не менее 76	не менее 95,0 не менее 85,0	95,3 85,0	ГОСТ 8226 ГОСТ 511
2	Концентрация свинца, мг/дм³	отсутствие	отсутствие	отсутствие	ГОСТ Р ЕН 237
3	Концентрация марганца, мг/дм³	отсутствие	отсутствие	отсутствие	ГОСТ Р 51925
4	Концентрация смол, промытых растворителем, мг/дм³ (мг/100см³) бензина		не более 50(5)	10(1)	ГОСТ 1567
5	Индукционный период, бензина, мин.,		не менее 360	более 400	ГОСТ Р ЕН ИСО 7536
6	Массовая доля серы, мг/кг	не более 10	не более 10	5,7	ГОСТ Р 52660
7	Объемная доля бензола, %	не более 1	не более 1	0,70	ГОСТ Р 52714 (метод Б)
8	Объемная доля углеводородов, %: - олефиновых - ароматических	не более 18 не более 35	не более 18,0 не более 35,0	14,1 32,4	ГОСТ Р 52714 (метод Б)
9	Массовая доля кислорода, %	не более 2,7	не более 2,7	менее 0,03	ГОСТ Р ЕН 13132
10	Объемная доля оксигенатов, %: - метанола - этанола - изопропилового спирта - изобутилового спирта - третбутилового спирта - эфиров, C5 и выше - других оксигенатов (с температурой конца кипения не выше 210°C)	отсутствие не более 5 не более 10 не более 10 не более 7 не более 15 не более 10	отсутствие не более 5,0 не более 10,0 не более 10,0 не более 7,0 не более 15,0 не более 10,0	отсутствие менее 0,17 менее 0,17 менее 0,17 менее 0,17 менее 0,17 менее 0,17	ГОСТ Р ЕН 13132
11	Испытание на медной пластинке (3 часа при 50°C)		класс I	класс I	ГОСТ 6321
12	Внешний вид		чистый, прозрачный	чистый, прозрачный	Визуально по п.8.3 СТО ЛУКОЙЛ 1.24.1-2016 с изм.1
13	Плотность при 15°C, кг/м³		725,0 - 780,0	745,1	ASTM D 4052
14	Концентрация железа, мг/дм³	отсутствие	отсутствие	отсутствие	ГОСТ Р 52530
15	Объемная доля монометиланилина, %	отсутствие	отсутствие	отсутствие	ГОСТ Р 54323
16	Давление насыщенных паров (ДНП), кПа	в летний период: 35 - 80 в зимний период: 35 - 100	в летний период: 35 - 80 в зимний период: 35 - 100	62,9	ГОСТ EN 13016-1 с дополнением по 8.4 ГОСТ 32513
17	Фракционный состав, объемная доля испарившегося бензина, %, при температуре: 70 °C (И70) 100 °C (И100) 150 °C (И150) конец кипения, °C объемная доля остатка в колбе, %		15 - 48 40 - 70 не менее 75 не выше 215,0 не более 2,0	26,6 49,0 82,7 209,0 1,1	ЕН ИСО 3405
18	Присадки: Металлосодержание Антиокислительная, % масс. Многочисленная присадка Хайтек 6437 L, %	отсутствие	отсутствие	отсутствие 0,0000 0,0735	

Заключение: Качество продукции соответствует требованиям СТО ЛУКОЙЛ 1.24.1-2016 с изм.1 и экологическому классу К5 Технического Регламента Таможенного Союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (ТР ТС 013/2011).
 Изготовитель гарантирует соответствие качества бензина автомобильного требованиям настоящего стандарта при соблюдении условий транспортирования и хранения, предусмотренных ГОСТ 1510. Гарантийный срок хранения бензина автомобильного 6 месяцев со дня изготовления.

М.П.

Начальник лаборатории

[Подпись]



ЛУКОЙЛ
нефтяная компания

ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМНЕФТЕОРГСИНТЕЗ»

Юридический адрес: Россия, 614055, г.Пермь, ул.Промышленная, 84;
E-Mail: LUKPNOS@pnos.lukoil.com; телефон ЦЗЛ (342)220-48-98

ПАСПОРТ ПРОДУКЦИИ № 451-3-05-18

Топливо дизельное ЕВРО, летнее, сорта С, экологического класса К5 (ДТ-Л-К5)

ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009)

Дата изготовления 14.05.18
Дата отбора пробы 15.05.18
Номер резервуара (емкости) - 406
Уровень наполнения, см - 930
Масса нетто, т - 2976
Дата проведения испытаний 15.05.2018
Дата выдачи паспорта 15.05.2018



Декларация о соответствии ТС № RU Д-
RU.AN16.B.02259 с 10.11.2015г. до 09.11.2018г.

Продукция изготовлена под контролем системы менеджмента качества, сертифицированной на соответствие требованиям ISO 9001.

№	Наименование показателя	Норма по ТР ТС 013/2011	Норма по ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009)	Фактическое значение	Метод испытания
1	Цетановое число	не менее 51,0	не менее 51,0	52,0	ГОСТ 32508
2	Цетановый индекс		не менее 46,0	52,4	EN ISO 4264
3	Плотность при 15 °С, кг/м³		в пределах 820,0 - 845,0	836,5	ASTM D 4052
4	Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %	не более 8,0	не более 8,0	3,8	ГОСТ EN 12916
5	Массовая доля серы, мг/кг	не более 10,0	не более 10,0	6,4	ГОСТ ISO 20846
6	Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С	не ниже 55	выше 55	67	ГОСТ 6356
7	Коксуемость 10 %-ного остатка разгонки, % масс.		не более 0,3	< 0,1	EN ISO 10370
8	Зольность, % масс.		не более 0,01	0,001	ГОСТ 1461
9	Массовая доля воды, мг/кг		не более 200	31	EN ISO 12937
10	Общее загрязнение, мг/кг		не более 24	< 12	EN 12662
11	Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С), единицы по шкале		Класс 1	Класс 1	ГОСТ 32329
12	Окислительная стабильность: общее количество осадка, г/м³		не более 25	3	ГОСТ Р EN ISO 12205
13	Смазывающая способность, скорректированный диаметр пятна износа (WSD 1,4) при 60 гр.С, мкм	не более 460	не более 460	419	ГОСТ ISO 12156-1
14	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм²/с		в пределах 2,000 - 4,500	2,721	ASTM D 445
15	Фракционный состав:				
	- При температуре 250 гр.С перегоняется, % об.		менее 65	34	ГОСТ 2177 метод А
	- При температуре 350 гр.С перегоняется, % об.		не менее 85	97	ГОСТ 2177 метод А
	- 95 % об. перегоняется при температуре, °С	не выше 360	не выше 360	343	ГОСТ 2177 метод А
16	Предельная температура фильтруемости, °С		не выше минус 5	минус 9	ГОСТ 22254
17	Присадки:				
	в т.ч.металлосодержащие	отсутствие	отсутствие	отсутствие	
	-Противоизносная, г/т			170	
	-Цетаноповышающая, г/т			150	

Закключение: Качество продукции соответствует ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009) и техническому регламенту Таможенного союза 013/2011 "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту".

Изготовитель гарантирует соответствие качества продукта требованиям указанного стандарта при соблюдении потребителем условий транспортирования и хранения.

И.о. начальника ЦЗЛ _____ Мазеева Т.С.

Лаборант _____ Ивлева Е.Г.

