

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

«Самарский государственный технический университет»

На правах рукописи

БРАЧУНОВА УЛЬЯНА ВИКТОРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ И МЕТОДИК ОЦЕНКИ
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕННОСТИ БОРТОВОЙ СЕТИ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ
РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ**

2.4.2 – Электротехнические комплексы и системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Козловский Владимир Николаевич

Самара – 2022

Содержание

| | |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 6 |
| Глава 1. ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СОВРЕМЕННЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ТРАДИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ..... | 13 |
| 1.1 Этапы становления и современное состояние бортового электротехнического комплекса автомобилей | 13 |
| 1.2 Обзор научно-технических работ по теме диссертации | 20 |
| 1.3 Проблема совершенствования бортового электротехнического комплекса современных автотранспортных средств | 22 |
| 1.4 Особенности учёта температуры окружающей среды при исследовании энергообеспеченности автотранспортных средств | 25 |
| 1.5 Цели и задачи диссертационной работы | 28 |
| 1.6 Выводы по главе..... | 29 |
| Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАРЯДНОГО БАЛАНСА АВТОМОБИЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ..... | 31 |
| 2.1 Обзор методов оценки зарядного баланса автотранспортных средств..... | 31 |
| 2.2 Теоретическое описание математической модели оценки зарядного баланса | 39 |
| 2.3 Программная реализация математической модели оценки зарядного баланса | 40 |
| 2.3.1 Аппроксимация токоскоростных характеристик автомобильного генератора | 40 |
| 2.3.2 Модель оценки зарядного баланса автотранспортного средства | 45 |

| | | |
|--|---|-----|
| 2.3.3 | Определение зоны отрицательного зарядного баланса | 49 |
| 2.3.4 | Модель оценки энергообеспеченности для различных уровней питающего напряжения бортовой сети автомобиля | 50 |
| 2.4 | Оценка энергообеспеченности бортовой сети автомобиля. | 53 |
| 2.5 | Выводы по главе..... | 54 |
| Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ НОМИНАЛЬНОГО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ БОРТОВОЙ СЕТИ НА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПОНЕНТОВ | | |
| 3.1 | Анализ основных систем бортового электротехнического комплекса автомобилей..... | 55 |
| 3.1.1 | Система зажигания | 55 |
| 3.1.2 | Генераторная установка | 63 |
| 3.1.3 | Электропусковая система..... | 79 |
| 3.2 | Вспомогательное оборудование | 84 |
| 3.2.1 | Электродвигатели вспомогательных систем | 84 |
| 3.2.2 | Коммутационная аппаратура..... | 91 |
| 3.2.3 | Система распределения электроэнергии | 111 |
| 3.2.4 | Светосигнальная аппаратура | 116 |
| 3.2.5 | Электронная аппаратура | 120 |
| 3.3 | Исследование вопросов перенапряжения в бортовом электротехническом комплексе современного автомобиля | 125 |
| 3.6 | Выводы по главе | 132 |
| Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ..... | | |
| | | 138 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1 | Оценка энергообеспеченности автотранспортных средств в статике | 138 |
| 4.1.1 | Особенности заряда аккумуляторной батареи в различных режимах эксплуатации автотранспортного средства..... | 138 |
| 4.1.2 | Моделирование эффективного заряда аккумуляторной батареи при различных уровнях питающего напряжения бортовой сети автомобиля..... | 145 |
| 4.2 | Оценка энергообеспеченности автотранспортных средств в динамике | 153 |
| 4.2.1 | Особенности методики оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей при различных уровнях номинального напряжения..... | 153 |
| 4.2.2 | Методика оценки энергообеспеченности генератора в реальном режиме эксплуатации | 155 |
| 4.2.3 | Цифровая модель дорожных испытаний при реализации инструмента оценки энергообеспеченности при различных режимах эксплуатации на основе натуральных испытаний..... | 161 |
| 4.2.4 | Влияние уровня напряжения бортовой сети автотранспортного средства на режим заряда аккумуляторной батареи в динамике | 172 |
| 4.3.4 | Моделирование поездки на основе матрицы скоростей..... | 174 |
| 4.4 | Выводы по главе..... | 179 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 180 |
| | БЛАГОДАРНОСТИ | 183 |
| | СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ | 184 |
| | СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 185 |
| | Приложения | 196 |
| | Приложение 1. Таблица проанализированных работ по теме исследования | 196 |
| | Приложение 2. Листинги программ ЭВМ | 205 |
| | Приложение 2.1. Анализ зарядного баланса автотранспортного средства | 205 |

| | |
|---|-----|
| Приложение 2.2. Анализ энергообеспеченности автотранспортного средства в статике | 207 |
| Приложение 2.3. Анализ энергообеспеченности автотранспортного средства в динамике | 211 |
| Приложение 2.4. Анализ энергообеспеченности автотранспортного средства в динамике на основе матрицы скоростей | 218 |
| Приложение 3. Справка о внедрении основных результатов научно-технической деятельности | 221 |
| Приложение 4. Свидетельства о регистрации программ ЭВМ | 222 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Развитие автомобильной промышленности и автотранспортного комплекса в целом является одной из доминант в экономике России и рассматривается в контексте инновационной политики государства. Одними из приоритетных направлений автомобилестроения в РФ согласно Стратегии развития автомобильной промышленности Российской Федерации на период до 2025 года, утвержденной распоряжением Правительства РФ от 28 апреля 2018 г. № 831-р являются: улучшение энергоэффективности и повышение экологических показателей транспортных средств, гармонизация требований технических регламентов, стандартов и правил с международной практикой; технологии электрификации транспортных средств.

Анализ тенденций развития конструкций современных автомобилей показывает, что в последние десятилетия наиболее существенный рост отмечается в элементной базе бортового электротехнического и электронного комплекса (БЭК).

Современные достижения науки и техники привели к внедрению в структуру бортовой сети автомобиля многочисленных взаимосвязанных электротехнических и электронных компонентов, обеспечивающих безопасность, функциональность, комфорт, эффективность и экологичность. При этом наблюдается рост мощности потребителей электрической энергии бортовой сети. БЭК насыщается электронными компонентами, растет число силовых приводов, исполнительных электромеханизмов, увеличивается протяженность силовой и слаботочной электропроводки. Бортовая сеть автомобилей традиционных конструкций близка к своему пределу по токовым нагрузкам.

В этой связи в автомобильных системах электроснабжения просматриваются тенденции повышения: тока отдачи генератора; уровня номинального напряжения бортовой сети.

С другой стороны анализ данных по дефектам автомобилей в гарантийный и постгарантийный периоды эксплуатации показывает, что более 30% всех отказов приходится на компоненты БЭК. То есть, для поддержания высокого уровня конкурентоспособности автомобилей от предприятия-изготовителя требуется всесторонне подходить к решению проблем качества и надежности продукции именно в сегменте компонентов БЭК.

Требования, предъявляемые к условиям работы БЭК автомобилей достаточно специфичны, и касаются вопросов надежности, ресурса работы, технологичности, стоимости, ремонтпригодности и многих других параметров.

Современным автотранспортным средством массового производства, по-прежнему остается автомобиль, имеющий традиционную конструкцию с двигателем внутреннего сгорания. Именно для него, сегодня, довольно остро встает вопрос, связанный с обеспечением энергообеспеченностью бортового электротехнического комплекса при различных режимах эксплуатации.

Соответственно, научно-техническая задача повышения энергообеспеченности БЭК автомобилей приобретает всё большую актуальность. Также, проведенный в работе всесторонний научно-технический обзор по данной области исследования показывает явную недостаточность существующих теоретических и прикладных инструментов оценки влияния повышения уровня номинального питающего напряжения на энергообеспеченность и возможное изменение конструкций основных электротехнических систем и элементов бортовой сети современных автомобилей.

Степень разработанности проблемы. Основными в области разработки бортовых электротехнических комплексов автомобилей, являются работы отечественных и иностранных ученых: Фесенко М.Н., Румянцева А.Л., Салкина С.С., Опарина И.М., Купеева Ю.А., Глезера Г. Н., Петленко Б.И., Акимова С.В., Банникова С.П., Волкова В.С., Галкина Ю.М., Гируцкого О.И., Чижкова Ю.П., Пузакова А.В., Чернова А.Я., Ютта В.Е., Гармаша Ю.В., Строганова В.И., Козловского В.Н., Fisher R.A., Sghleif F.R., Curdts E.V. и др.

В последние десятилетия, выделенная проблема активно разрабатывается лидерами автопрома и производителями компонентов электрооборудования и автоэлектроники, такими как Toyota, Renault, Nissan, GM, Volkswagen, Scania, Volvo, Fiat, Audi, Bosch.

Цель работы: совершенствование инструментов оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автотранспортных средств при различных уровнях номинального питающего напряжения.

Решаемые задачи:

1 Комплексный, всесторонний научно-технический и практический анализ проблемы энергообеспеченности бортовой сети современных автотранспортных средств.

2. Разработка математической модели оценки зарядного баланса современного автомобиля учитывающей изменение уровня питающего напряжения, параметров электрической нагрузки и числа оборотов двигателя;

3. Оценка влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных электротехнических систем и электрокомпонентов (ЭС и ЭК);

4. Разработка методики оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автомобилей, учитывающей параметры режимов эксплуатации;

5. Апробация предложенных технических решений.

Объект исследования: бортовой электротехнический комплекс автотранспортных средств.

Предмет исследования: методы, методики и подходы к оценке энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автомобилей.

Методы исследования. В работе приведены результаты теоретических и расчетно-экспериментальных исследований, полученных с использованием

теории линейных и нелинейных электрических цепей, методов математического и имитационного моделирования, теории электрических машин и аппаратов. Исследования были проведены с использованием высокоуровневого языка программирования Python. Результаты и выводы работы теоретически обоснованы и подтверждены расчетами. Обоснованность и достоверность результатов работы определяются корректным применением математических методов исследования.

Научная новизна

1. Разработана математическая модель оценки зарядного баланса бортового электротехнического комплекса автомобиля, отличающаяся возможностью учета изменения уровня питающего напряжения, параметров нагрузки и числа оборотов двигателя.

2. Предложена методика оценки влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных электротехнических систем и электрокомпонентов (ЭС и ЭК), отличающаяся систематизацией, обобщением и классификацией ЭС и ЭК по характеру влияния уровня питающего напряжения на электротехнические параметры и характеристики.

3. Разработана методика оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей, отличающаяся учетом свойств генерации, потребления, заряда аккумуляторной батареи при различных режимах эксплуатации.

Практическая значимость диссертационной работы:

Разработан универсальный прикладной программный инструментарий по количественной оценке энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автомобилей.

Представлены практические рекомендации по изменению конструктивных параметров и характеристик основных электротехнических систем и компонентов

БЭК современных автомобилей при повышении уровня номинального питающего напряжения бортовой сети.

Предложенные в диссертации научно-технические решения вошли в устойчивую практику ПАО «КАМАЗ» и применяются при планировании и проведении контрольных дорожных испытаний новой автомобильной техники.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель оценки зарядного баланса бортового электротехнического комплекса автомобиля при различных уровнях номинального питающего напряжения.

2. Методика оценки влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных электротехнических систем и электрокомпонентов.

3. Методика оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей.

4. Результаты апробации и внедрения предложенных технических решений.

Научная квалификационная работа на соискание степени кандидата технических наук выполнена в соответствии с паспортом специальности 2.4.2 – «Электротехнические комплексы и системы» и соответствует направлениям исследований: п. 1 «Развитие общей теории электротехнических комплексов и систем...анализ системных... связей... и компьютерное моделирование электротехнических комплексов и систем...», п. 2 «Разработка научных основ проектирования, создания и эксплуатации электротехнических комплексов, систем и их компонентов», п. 3 «Разработка, структурный и параметрический синтез, оптимизация электротехнических комплексов, систем и их компонентов...».

Достоверность полученных результатов обусловлена использованием обоснованных допущений, строгих математических методов, адекватность которых подтверждена результатами теоретических и прикладных исследований,

а также обсуждением результатов диссертации на российских и международных конференциях, форумах и семинарах.

Апробация работы

Результаты работы обсуждались на научно-технических семинарах ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», профильных совещаниях департамента технического контроля ПАО «КАМАЗ».

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: Conference IEEE of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, (ElConRus 2021), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems (BRISTOL, 2021); XXX международной научно-практической конференции "Приоритетные направления развития науки и технологий" (Тула, ТулГУ, 2022), III Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении» (Тула, ТулГУ, 6 – 8 апреля 2022), The International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon 2022).

Публикации. По тематике исследований опубликовано 25 работ, в том числе 11 статей в журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК РФ, 2 статьи в изданиях с международным индексом цитирования Scopus, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора в диссертационное исследование. Постановка задач осуществлялась совместно с научным руководителем. Теоретические и практические исследования автором выполнены самостоятельно. Автором выполнен основной объем исследований, изложенных в диссертации, разработаны: математическая модель оценки зарядного баланса бортового электротехнического комплекса автомобиля при различных уровнях номинального питающего напряжения, методика оценки влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на основные

конструктивные параметры и характеристики электротехнических компонентов и систем, методика оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей, проанализированы результаты исследования, выполнена подготовка основных публикаций по теме диссертации.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение, библиографический список и приложение. Основной текст изложен на 194 страницах, содержит 72 рисунка, 19 таблиц. Библиографический список состоит из 129 наименований и приложений на 27 страницах.

Глава 1. ПРОБЛЕМА РАЗВИТИЯ БОРТОВОГО ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СОВРЕМЕННЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ТРАДИЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1 Этапы становления и современное состояние бортового электротехнического комплекса автомобилей

Научно-технический прогресс в автомобилестроении неразрывно связан с развитием электротехнических и электронных устройств и компонентов, интегрированных в электротехнические системы (ЭТС) автомобилей. Понятие «электротехническая система» включает в себя сложную специализированную техническую систему, выполняющую функцию генерирования, распределения, преобразования электрической энергии и управления этими процессами, обеспечивающую автоматизацию рабочих процессов, безопасность движения и улучшение условий труда водителей [87]. Электротехнические системы автомобилей совершенствовались одновременно с развитием общей электротехники и электроники. Совокупность электротехнических систем автомобиля представляет собой бортовой электротехнический комплекс (БЭК).

К 30-м годам XX века в автомобилях сформирована простейшая электротехническая система. Она включала в себя: аккумуляторную батарею, динамомашину, реле, стартер, систему зажигания, амперметр, стеклоочиститель, фары, гудок. На рисунке 1.1 представлена структурная схема электрооборудования автомобиля Линкольн 1930 года [58]. Оборудование изготовлялось фирмой Авто-Ляйт. Напряжение аккумуляторной батареи 6 В. На схеме изображена динамомашина с третьей щёткой, мощностью 60 Вт при 900 мин⁻¹. Емкость АКБ составляла 80 а·ч.

Дальнейшее развитие и совершенствование конструкций автомобилей неразрывно связано с ростом количества электротехнических компонентов.

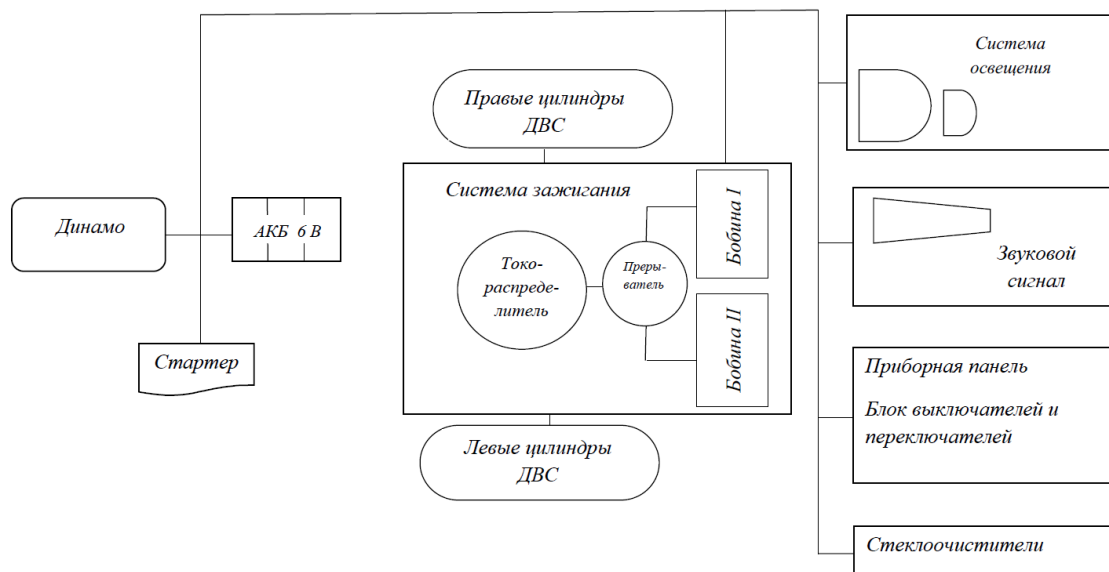


Рисунок 1.1 – Структурная схема электрооборудования автомобиля Линкольн 1930 года (номинальное напряжение 6 В).

Повышение скорости движения, требования к созданию условий безопасности и комфорта привели к установке дополнительного электрооборудования: управление коробкой переключения передач, контрольные приборы (измерители уровня топлива, давления масла в системе смазки, температуры воды в системе охлаждения), вентиляторы, обогреватели, звуковая и световая сигнализации, стеклоэлектроподъемники, системы выдвижения тента, радиоприемники, телевизоры [58]. Каждое десятилетие увеличивалась численность составляющих электрооборудования на 15-20 единиц. Увеличение мощности и количества потребителей электрической энергии потребовало увеличения массы и габаритов генератора постоянного тока, от напряжения в сети 6 В произошел переход к 12 В (рисунок 1.2).

Развитие и обширное внедрение в 50 – 60-х гг. XX века полупроводниковых приборов в электротехнике позволило использовать на автомобилях генераторы переменного тока с полупроводниковыми выпрямителями.

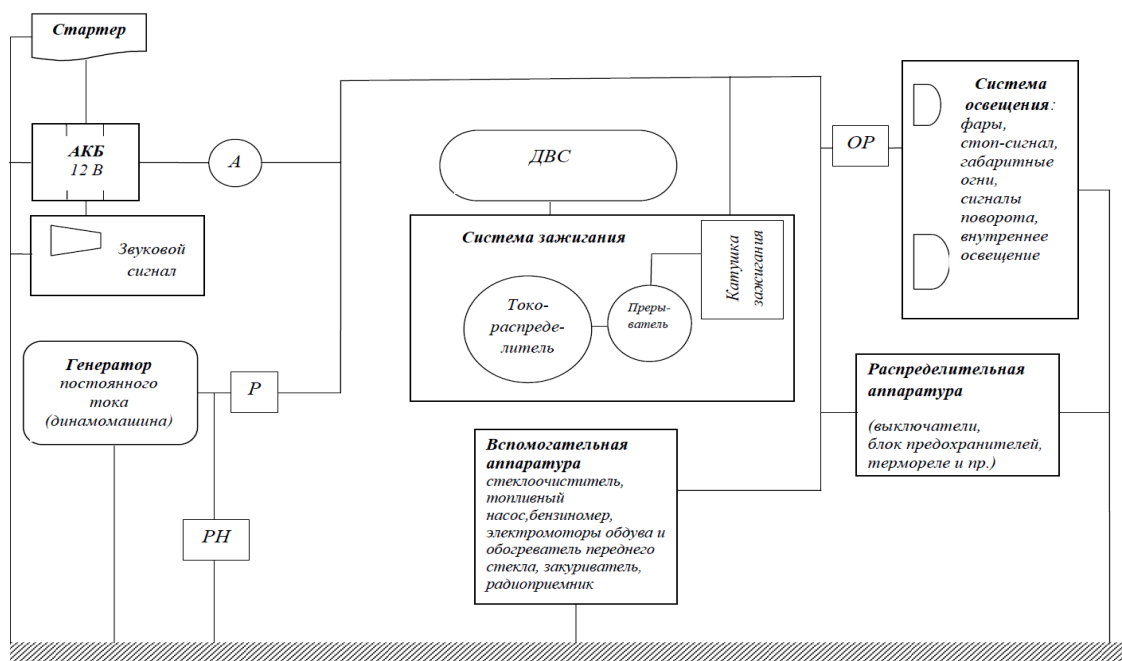


Рисунок 1.2 – Структурная схема электрооборудования автомобиля ГАЗ-М-20 («Победа») 1949 года (номинальное напряжение 12 В).

Таким образом, возможно классифицировать первый этап с 20 -х по 40-е годы XX века - этап электрификации автомобиля с номинальным напряжением бортовой сети 6 В, второй этап с 50-х гг. по 70-е гг. XX века - этап появления простейших электротехнических комплексов номинального напряжения бортовой сети 12 В с участием полупроводниковых приборов.

Увеличение мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) обусловило необходимость соответствующего повышения характеристик электропусковых систем, в частности двухуровневая система напряжения на 12 В и на 24 В в конце 60-х годов XX века была принята для некоторых большегрузных дизельных автомобилей. Переход на более высокое напряжение 24 В в этом случае позволил снизить пусковые токи. Основной уровень напряжения в таких автомобилях остался на уровне 12 В и служит для зарядки аккумуляторная батарея (АКБ), и питания остальных потребителей. Две последовательно соединенные батареи на 12 В обеспечивают работу стартера при 24 В (рисунок 1.3) и, таким образом,

достигается отдача мощности, позволяющей запуск дизельных двигателей [109, 110].

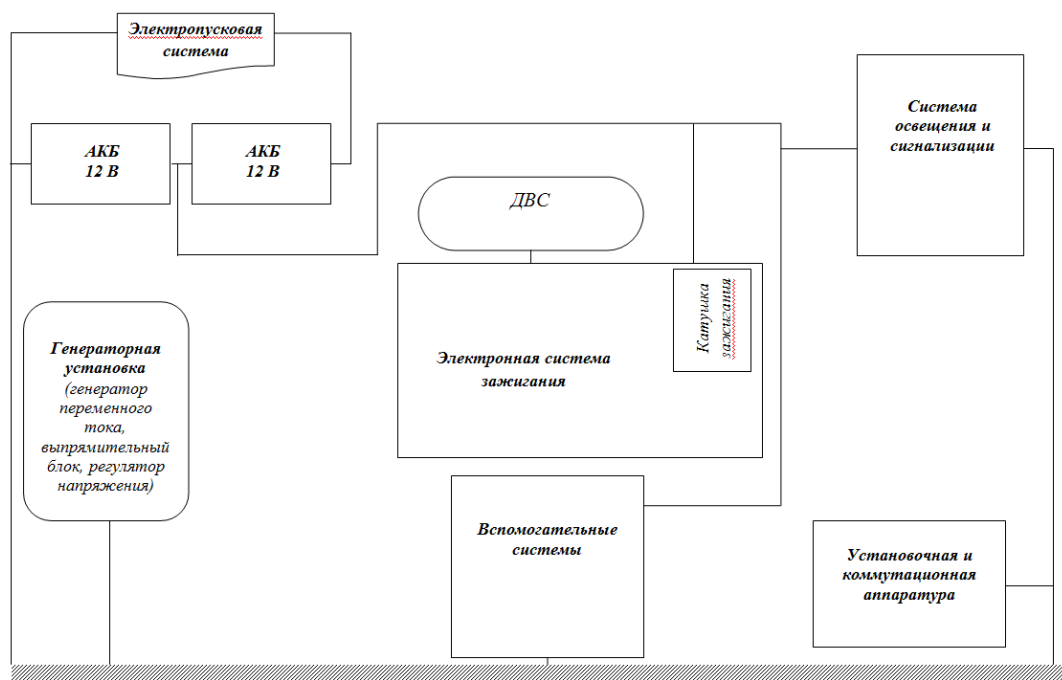


Рисунок 1.3 – Структурная схема электрооборудования грузового автомобиля с двухуровневым номинальным напряжением 24 В и 12 В.

В период с 80-х гг. XX века с внедрением электроники и средств автоматики начался третий этап. Происходило дальнейшее развитие электрооборудования автомобилей: бесконтактные микропроцессорные системы зажигания, автоматическое управление топливоподачей, электронные системы управления гидравлическими тормозами, трансмиссией, необслуживаемые аккумуляторные батареи, бортовая самодиагностика, системы освещения и сигнализации [109,110] (рисунок 1.4).

В последующие несколько десятилетий мощность бортового электрооборудования автомобилей значительно выросла. Автомобили интенсивно оснащаются электронными компонентами, дополнительным электрооборудованием, обеспечивающими комфорт и безопасность движения, увеличилась протяженность электропроводки.

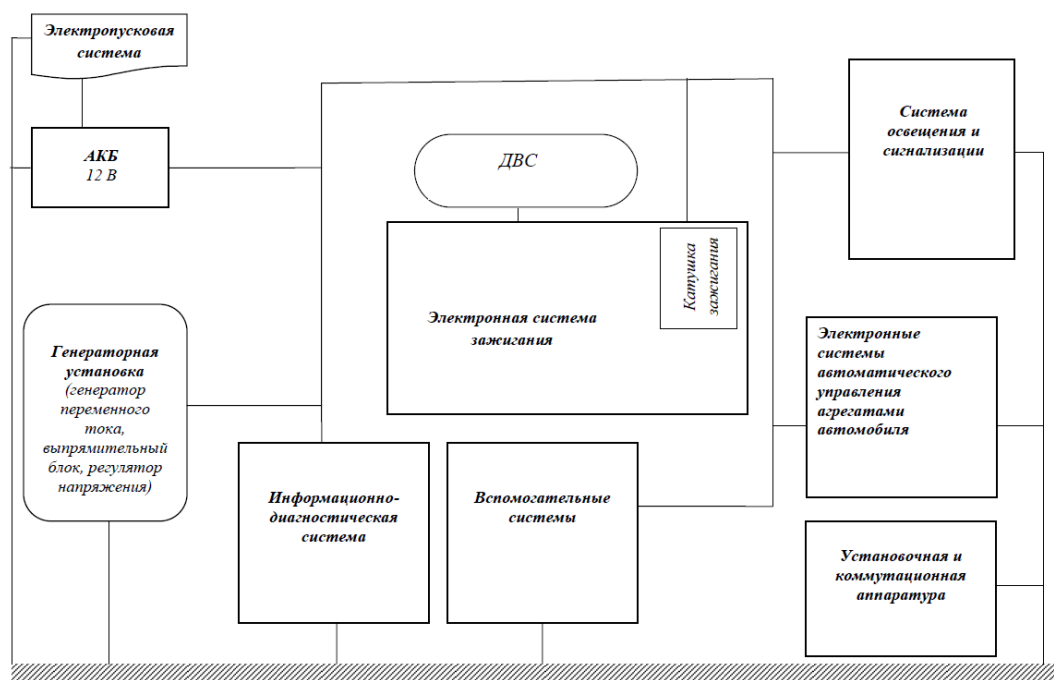


Рисунок 1.4 – Структурная схема электрооборудования автомобиля ВАЗ 2110 1995 года (номинальное напряжение 12 В).

В 90-х годах крупные производители транспортных средств оценивали преимущества повышенного класса напряжения бортовой сети, и система 42 В была внедрена в некоторые модели автомобилей в Японии и США. Фактически система, которая была определена как бортовая электросеть на 42 В, получала электроэнергию от аккумуляторной батареи 36 В. Система обеспечивала в три раза большее напряжение, чем система 12 В, но в то время это повышение было признано нерентабельным по сравнению с функциональными преимуществами и привело к отказу от внедрения бортового напряжения сети автомобиля 36/42 В.

Современные автомобили имеют более 90 электронных блоков управления (ЭБУ) для управления модулями внутри автомобиля, что усложняет электротехнические и электронные комплексы бортовой сети. И эта тенденция не ограничивается только автомобилями с повышенным уровнем комфорта. Современный массовый автомобиль, например Volkswagen Golf, имеет почти трехкратное увеличение количества используемых ЭБУ: с 17 ЭБУ в поколении

1998 г. до 62 ЭБУ в поколении 2021 г. Произошло внедрение в электротехнический и электронный комплексы автомобиля таких электрокомпонентов и систем как: электроусилитель руля, активная подвеска, электронные тормозные системы, навигационный блок на основе ЭРА-ГЛОНАСС; управления двигателем; динамической стабилизации; электронной блокировки дифференциалов. Традиционные компоненты с механическим приводом замещаются на более совершенные узлы, такие как: электродвигатели и сервоприводы для регулировки сидений, дистанционного открывания багажника, электрические вакуумные насосы тормозной системы, электрические водяные насосы и так далее. Кроме того, производители автомобилей наращивают число принципиально новых информационно-развлекательных опций и систем: обеспечения комфорта, вспомогательных систем безопасности (адаптивный круиз контроль, подогрев сидений, руля и стекол, датчик усталости, система ночного видения, система адаптивного света и др.); экстренного торможения; слежения за разметкой; распознавания дорожных знаков; мониторинга мёртвых зон; автоматической парковки; проекционный навигационный дисплей; превентивной безопасности и т.д. Совокупная мощность потребителей БЭК современного автомобиля составляет около 3,5 кВт.

В качестве дополнительных примеров частичного решения проблемы повышения уровня номинального напряжения бортовой сети автомобилей, можно определить решения ряда зарубежных автопроизводителей. Совершенствование технологий в производстве литий-ионных батарей и суперконденсаторов позволяют осуществить проектирование бортовых сетей автомобилей с ДВС с повышенным номинальным напряжением до 48 В. Зарубежные производители автомобилей BMW, Audi, Volkswagen, Volvo начали реализацию 48-вольтовых схем. Конфигурация БЭК таких автомобилей строится на основе двух сетей напряжением 48 В и 12 В. Соответственно, наиболее мощные потребители используют повышенное напряжение 48 В, а остальные через преобразователь DC/DC работают при низком напряжении 12 В (рисунок 1.5).

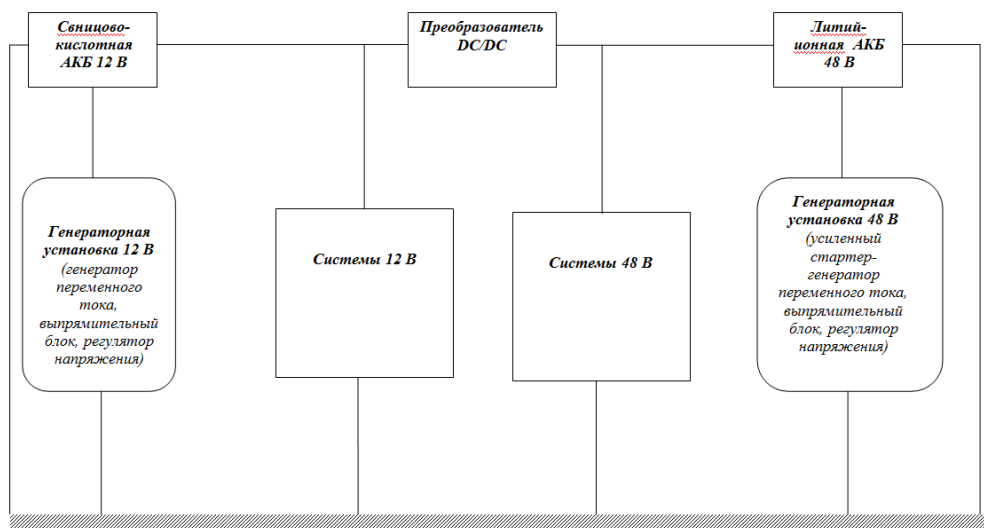


Рисунок 1.5 – Структурная схема электрооборудования автомобиля с двумя уровнями напряжения 48 В и 12 В

Также известно, что реализация БЭК электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой связана с организацией низковольтной 12 В и высоковольтной 380 В сетей. В данном случае, электропривод обеспечивающий движение автомобиля питается повышенным, а система управления и вспомогательное оборудование питается пониженным напряжениями.

Исходя из всего вышеизложенного, вытекает научно-техническая проблема, которая состоит в том, что в автомобилях серийного производства, традиционной конструкции, имеющих один уровень питающего напряжения, система электроснабжения уже не всегда способна обеспечивать в полном объеме и надежно всех потребителей электроэнергии.

На основании вышеизложенного, первично, можно выдвинуть гипотезу о том, что в автомобилях традиционной конструкции с одним уровнем питающего напряжения, повышение номинала бортового напряжения позволит решить актуализированную проблему энергообеспечения БЭК.

Также, важным элементом рассматриваемой проблемы, является возможность ее решения с учетом импортозамещения. В данном контексте, представляется, что в настоящее время, в период экономических кризисов и международных ограничений, возможно решение проблемы повышения уровня

энергообеспеченности БЭК современных отечественных автомобилей на отечественной компонентной базе.

Стоит подчеркнуть, что для БЭК традиционных конструкций автомобилей выделенная проблема, как было показано выше, решалась частично. Системного решения в практике, направленного на рассмотрение всех основных ЭТС и электрокомпонентов выделено не было. Комплексно не рассматривались вопросы унификации всех ЭК и ЭС в связи с переходом на уровень повышенного номинального напряжения бортовой сети.

1.2 Обзор научно-технических работ по теме диссертации

Результаты исследования опыта развития БЭК за последние десятилетия показало, что в настоящее время в основном для автомобилей с высоким уровнем инноваций (электромобили (ЭМБ) и автомобили с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ)), БЭК имеет не менее чем двухуровневую систему электроснабжения. Для части автомобилей более традиционных конструкций также просматривается перспектива организации БЭК с двухуровневым напряжением. Рассматривая отечественный опыт развития БЭК автомобилей, в частности грузовых автомобилей, еще в 60-х годах XX века, также выделяется тренд создания двухуровневой сети питающего напряжения.

Объективным недостатком в предложенных решениях является существенное усложнение БЭК исходя из необходимости разделения питающей сети на две независимые системы. Возникает необходимость дополнительного научно-технического исследования возможности организации бортовой сети современных автомобилей традиционных конструкций на одно питающее напряжение.

Проведем обзор диссертационных исследований близких к выделенной проблеме за последние 10 лет (Таблица, содержащая сведения о диссертационных работах приведена в приложении 1). Анализ диссертационных работ показывает, что в настоящее время определяющим трендом в области научных исследований

автомобильного электрооборудования являются вопросы: развития электротехнических систем, в том числе систем диагностики работоспособности; электромагнитной совместимости ЭТС и БЭК; развитие ЭТС электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой.

Среди диссертационных работ, в которых решаются задачи близкие актуализированной проблеме повышения уровня питающего напряжения можно выделить работы Гармаша Ю.В., Феофанова С.А., Феофановой Л.С., Оспанбекова Б.К., Чернова А.Е., Анучина А.С.

Однако в представленных диссертациях предложены лишь частные решения и рекомендации, не охватывающие влияния уровня номинального напряжения на все основные ЭТС и БЭК.

В частности в работе Феофановой Л.С. показана целесообразность применения интеллектуальных силовых ключей в контроллерах управления в бортовой сети с номинальным напряжением 42 и 48 В [103].

Работа Оспанбекова Б.К. направлена на разработку методики повышения эксплуатационных характеристик тяговой АКБ электромобилей. Автор Феофанов С.А. своё исследование посвятил разработке электропусковой системы в бортовой сети с номиналом напряжения 36 В [68].

В работе Чернова А.Е. решается задача повышения топливной экономичности традиционных и гибридных автотранспортных средств за счет автоматического управления напряжением системы электроснабжения [106]. В работе Гармаша Ю.В. предложен новый способ организации дифференцированного питания электротехнических и электронных компонентов и систем с помощью адаптивных преобразователей параметров электрической энергии [32]. Автор Анучин А.С. в своей работе разработал новый подход к эффективному управлению тягового электрооборудования гибридных автотранспортных средств [6].

Таким образом, проведенный научно-технический анализ диссертационных работ по выделенной проблеме показал недостаточно полный уровень

исследований в области возможного перехода БЭК современных автомобилей традиционных конструкций на повышенное напряжение бортовой сети с учетом всех основных ЭТС.

Представляется, что разработка и реализация комплексного научно-технического инструментария направленного в развитие оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автотранспортных средств при различных уровнях номинального питающего напряжения для традиционных конструкций автотранспортных средств, с разработкой соответствующих рекомендаций, обеспечит возможности для наиболее полного учета возможных достоинств и возникающих в процессах проектирования и производства рисков недостаточного качества создаваемых электрокомпонентов перспективных конструкций автомобилей.

Для решения поставленной научно-технической задачи разработки инструментария требуется определение научной концепции работы.

1.3 Проблема совершенствования бортового электротехнического комплекса современных автотранспортных средств

Анализ основных тенденций развития электрооборудования автомобилей и автотранспортных средств (АТС) в целом показал, что наиболее актуальными в последние десятилетия являются исследования в следующих направлениях (рисунок 1.6):

- применение тягового электропривода в электромобилях (ЭМБ),
- применение комбинированных энергоустановок (КЭУ) в автомобилях (АКЭУ),
- повышение эффективности работы систем электрооборудования традиционных автомобилей с ДВС.

Рассматривая перспективные направления, следует отметить, что БЭК современных ЭМБ и АКЭУ крупносерийного производства рассчитан на два, три уровня напряжения. Электропривод таких автотранспортных средств потребляет

электроэнергию от высоковольтной системы электроснабжения 300-700В, остальные потребители в большинстве моделей снабжаются системой 12 В.

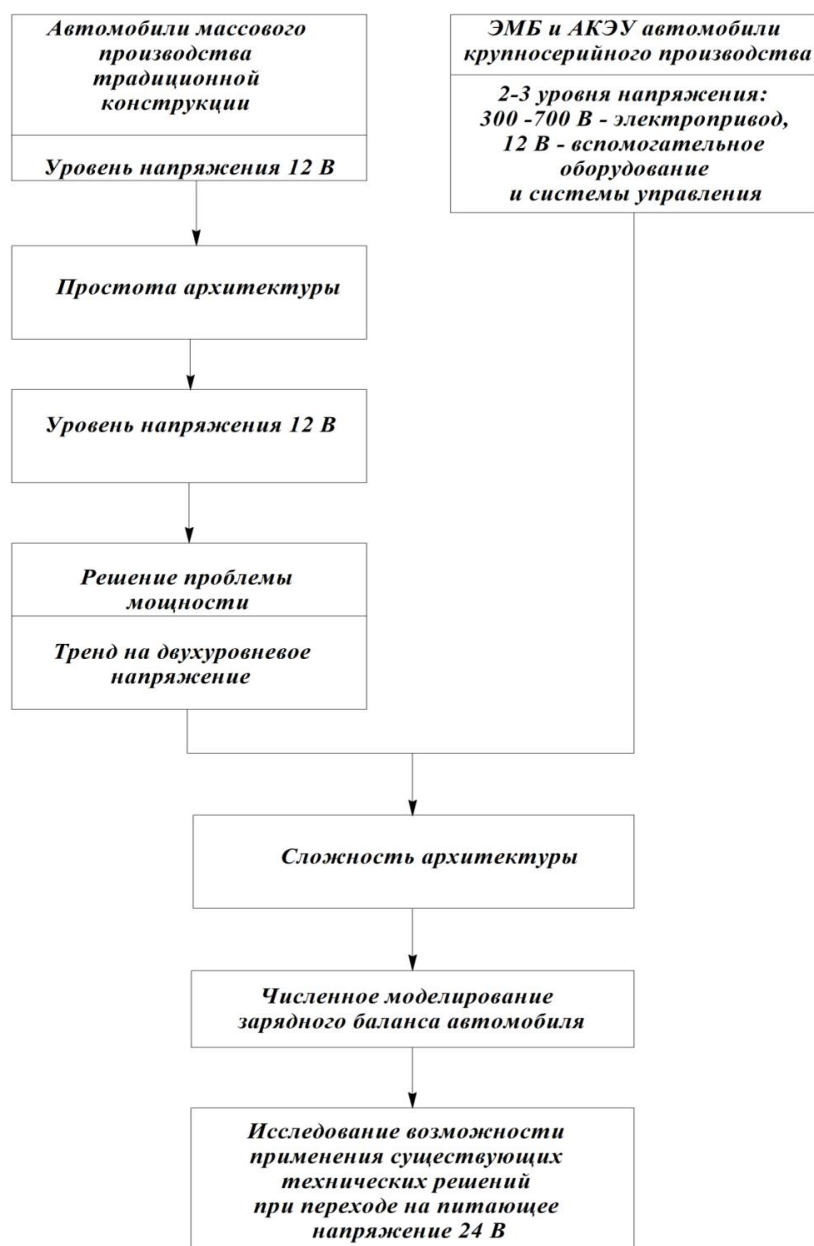


Рисунок 1.6 – Научно-техническая концепция исследования

Автомобили традиционных конструкций с ДВС массового производства спроектированные на одном уровне напряжения - 12 В, обладают явным преимуществом по упрощенности архитектуры БЭЖ по сравнению с ЭМБ и АКЭУ. Однако насыщение структуры бортовой сети многочисленными электротехническими и электронными компонентами порождает проблему,

закрывающуюся в том, что установленная мощность в современном автомобиле уже не способна обеспечить всех потребителей электроэнергией при определенных режимах эксплуатации АТС. Частично проблема дефицита мощности в настоящее время решается за счет внедрения двухуровневых СЭС, в которых наиболее мощные потребители питаются от системы повышенного напряжения, например, 24 В, или 48 В, а системы управления двигателем, вспомогательные и другие маломощные системы работают на стандартном напряжении 12 В.

Однако выделенный тренд на два уровня питающего напряжения бортовой сети обуславливает значительное усложнение структуры бортовой сети.

На основании вышеизложенного актуализируется проблема перехода всей бортовой сети автомобиля с ДВС на повышенный номинал напряжения. Вопросы повышения технико-экономических показателей БЭК решаются за счет выбора рациональных величин питающего напряжения для электротехнического бортового комплекса автомобилей.

Системы бортового электрооборудования автомобиля подразделяются на основные и вспомогательные (рисунок 1.7). К основным системам, обеспечивающим бесперебойный запуск двигателя и работу всех систем и компонентов БЭК, относятся системы: электропуска, зажигания, электроснабжения (генераторная установка, АКБ). К вспомогательным относятся: система электропривода вспомогательного электрооборудования (вентиляция и отопление, стеклоочистители, фарочистители, стеклоподъемники и т.д.), светосигнальная аппаратура (фары, поворотные сигналы, габаритные огни, подсветка приборной доски и т.д.), электронная аппаратура систем управления и информационно-измерительных систем, коммутационная аппаратура и система распределения электроэнергии.



Рисунок 1.7 – Классификация систем бортового электрооборудования автомобиля

Таким образом, разработка комплексного инструментария оценки энергообеспеченности БЭК на различных уровнях питающего напряжения бортовой сети и исследование применимости уже существующих технических решений ЭТС и БЭК при переходе на повышенное номинальное напряжение позволит обоснованно синтезировать и структурировать научно-технические рекомендации для процедуры проектирования современного автомобиля.

1.4 Особенности учёта температуры окружающей среды при исследовании энергообеспеченности автотранспортных средств

Территория России расположена в четырех климатических поясах: арктическом, субарктическом, умеренном и субтропическом. По статистическим данным средней месячной температуры по регионам России [124], можно сделать вывод о том, что в большинстве регионов нашей страны в период с ноября по март автомобильный транспорт эксплуатируется при отрицательных температурах (таблица 1.1).

Наиболее уязвимым процессом в этих условиях становится запуск двигателя автомобиля и соответственно работа электропусковой системы (ЭПС). В первую очередь низкие температуры оказывают влияние на АКБ: понижается температура электролита, увеличивается его вязкость, снижается емкость батареи. В процессе разряда АКБ доля H_2O возрастает, это приводит к уменьшению запаса электрической энергии батареи и частичному замерзанию электролита. Образование же льда способствует деформации пластин АКБ, и соответственно ускоренному выходу из строя всей АКБ. «При температуре минус $40^{\circ}C$ удельное сопротивление электролита становится в 8 раз больше, чем при $30^{\circ}C$ » [114, 115] (рисунок 1.8).

Кроме того, интенсивности охлаждения батареи способствует возрастание скорости ветра при низких температурах. В то же время эффективность заряда АКБ от генератора под действием этих факторов уменьшается.

Таблица 1.1 – Статистические данные средней месячной температуры по регионам России

| Регионы | январь | февраль | март | апрель | май | июнь | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|
| Северо-Западные | -14,1°C | -12,5°C | -4,8°C | +4,7°C | +12,1°C | +18,3°C | +19,3°C | +17,1°C | +10,9°C | +4,1°C | -5,2°C | -11,1°C |
| Центральные | -7,8°C | -7,1°C | -1,3°C | +6,4°C | +13°C | +16,9°C | +18,7°C | +16,8°C | +11,1°C | +5,2°C | -1,1°C | -5,6°C |
| Приволжские | -16,2°C | -11,4°C | -4,6°C | +4,7°C | +12°C | +16,5°C | +18,6°C | +16,1°C | +10,3°C | +3,4°C | -3,7°C | -9,4°C |
| Южные | -5°C | -4,6°C | +1,3°C | +10,3°C | +16,8°C | +21,6°C | +24,6°C | +23,4°C | +17,2°C | +9,6°C | +2,6°C | -2,5°C |
| Северо-Кавказские | +2,5°C | +2,2°C | +10,3°C | +16,3°C | +21,7°C | +24,9°C | +24,7°C | +20,3°C | +14,5°C | +9,1°C | +4,8°C | -2,6°C |
| Уральские | -15,8°C | -14,3°C | -7,4°C | +3,9°C | +11,9°C | +15,9°C | +17,6°C | +15,5°C | +9,8°C | +1,5°C | -6,5°C | -14°C |
| Сибирские | -17,9°C | -15,7°C | -7,7°C | +1,2°C | +9,7°C | +15,9°C | +18,7°C | +15,3°C | +9°C | +1,3°C | -8,5°C | -15,4°C |
| Дальневосточные | -26°C | -20,5°C | -9,4°C | +3,9°C | +12°C | +18,1°C | +21,1°C | +18,7°C | +12,1°C | +2,3°C | -11,6°C | -23,2°C |

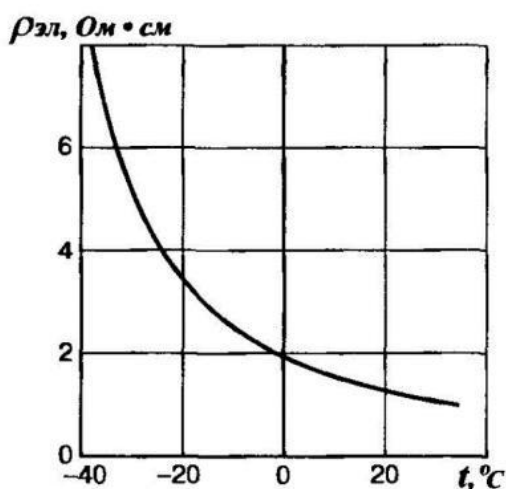


Рисунок 1.8 – Зависимость удельного сопротивления электролита от температуры [109]

Необходимо отметить, что при отрицательной температуре усложняется динамика пуска ДВС [44], увеличивается вязкость моторного масла, обедняется воспламеняющая смесь, требуется увеличение времени прокручивания коленчатого вала до нескольких минут. ЭПС начинает работать в усложненном режиме, происходит быстрая разрядка АКБ, стартер перегревается.

В настоящее время наиболее энергозатратным является режим движения автомобиля в зимний период на дорогах мегаполисов в условиях пробок. Короткие пробеги, частые остановки и запуски двигателя, длительные промежутки времени работы двигателя автомобиля на холостом ходу, влияние отрицательных температур.

"Максимальный ток заряда, который может обеспечить генератор, зависит от частоты вращения коленчатого вала ДВС и представляет собой разность между током генератора и током включенных потребителей электроэнергии"[88].

Величина зарядного и разрядного тока для аккумуляторной батареи может изменяться в широких пределах. При низких оборотах двигателя и соответственно на малых частотах вращения генератор не развивает полной мощности, преимущественно такой режим соответствует движению в пробках в городских условиях. АКБ при этом получает невысокий зарядный ток. При

максимальных нагрузках на БЭЖ, когда включены почти все потребители, на стоянках с включенными потребителями происходит недозаряд АКБ [10, 11].

Активный разряд АКБ происходит при пуске двигателя и при включении потребителей во время стоянки автомобиля. Кроме того, значительная часть времени движения легкового автомобиля в городе приходится на малые скорости вращения ДВС, и как следствие, низкая номинальная мощность генератора и частая работа двигателя на малых оборотах становятся причиной быстрой разрядки аккумуляторной батареи.

В связи с этим исследование энергообеспеченности БЭЖ имеет приоритетное значение при проектировании электрооборудования легкового автомобиля [45].

1.5 Цели и задачи диссертационной работы

Исходя из вышеизложенного, можно сформулировать цель диссертационной работы, заключающуюся в развитии инструментов оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автотранспортных средств при различных уровнях номинального питающего напряжения.

Решаемые задачи:

1. Комплексный, всесторонний научно-технический и практический анализ проблемы изменения уровня номинального напряжения бортовой сети автомобилей.

2. Разработка математической модели зарядного баланса современного автомобиля, реализующей функцию по определению оценки баланса при изменении уровня питающего напряжения, параметров нагрузки и числа оборотов двигателя;

3. Оценка влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных электротехнических систем и электрокомпонентов (ЭС и ЭЖ);

4. Разработка методики оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автомобилей, учитывающей параметры режимов эксплуатации;

5. Апробация предложенных технических решений.

1.6 Выводы по главе

1) Проведенный анализ основных тенденций развития электрооборудования автотранспортных средств показал, что в настоящее время отмечается существенный количественный рост электротехнических и электронных систем и компонентов, а также наблюдается значительное повышение мощности потребителей электроэнергии бортовой сети современных автомобилей.

2) Проведенные в первой главе исследования позволили выявить проблему перенасыщения бортовой сети автомобилей традиционных конструкций электротехническими и электронными компонентами и связанное с этим достижение границ предельных возможностей системы электроснабжения (СЭС) для полноценного обеспечения электрической энергией всех потребителей, во всех режимах работы АТС.

3) В современных автомобильных СЭС просматривается тенденция, связанная с необходимостью повышения уровня номинального напряжения бортовой сети, которая до настоящего времени реализована в ряде проектов грузовой автомобильной техники в виде довольно сложной двухуровневой системы обеспечения электроэнергией.

4) Проведенный научно-технический обзор и анализ существующих разработок показал недостаточный сложившийся уровень проработанности вопросов перехода бортового электротехнического комплекса современных автомобилей на повышенное номинальное питающего напряжения как с точки зрения инструментов оценки энергообеспеченности, так и с точки зрения формирования перечня рекомендаций связанных с изменением конструктивных

параметров и технических характеристик основных электротехнических систем и электрокомпонентов.

5) По результатам работы в первой главе актуализирована необходимость дополнительного научно-технического исследования возможности организации бортовой сети современных автомобилей традиционных конструкций на одно, повышенное питающее напряжение.

6) Для обоснования перехода на повышенное напряжение необходимо провести комплексное научно-техническое исследование энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автомобилей на различных уровнях номинального питающего напряжения, которое возможно реализовать численным моделированием зарядного баланса автомобиля.

Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАРЯДНОГО БАЛАНСА АВТОМОБИЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ

2.1 Обзор методов оценки зарядного баланса автотранспортных средств

Модель зарядного баланса автомобиля дает возможность оценить параметры энергообеспеченности и стабильности работы БЭК на стадии проектирования автомобиля и в период эксплуатации. Выходные характеристики СЭС должны обеспечивать требуемый уровень электроэнергетических характеристик, необходимых для питания потребителей и для восполнения заряда аккумуляторной батареи, в том числе и при неблагоприятных условиях эксплуатации автомобиля. Кроме того, в период движения автомобиля необходимо не допустить прогрессивного разряда АКБ, способствующего выходу из строя и сокращению срока службы батареи.

Оценка состояния зарядного баланса БЭК автомобиля в современном автомобилестроении производится на основе классических методик, изложенных в [10, 11] и [69]:

- 1) расчет зарядного баланса с помощью номограммы [10, 11],
- 2) расчет баланса по методике, изложенной в ОСТ 37.003.034-77 [69].

При расчете по данным методикам принимают, что генератор отдает свою полную мощность, а батарея полностью воспринимает зарядный [10,11,69].

1. Расчет зарядного баланса на основе номограммы энергетического баланса.

В данном расчете за основу принимают типовые интегральные кривые распределения числа оборотов генераторов при эксплуатации автомобилей в городе (рисунок 2.1) и с учетом характеристики генератора определяют относительное время разрядки батареи ($T_{отн}$), зависящее от скоростного режима генератора, его начального числа оборотов и передаточного числа. Заряд АКБ

происходит до установления равновесия, соответствующего установившемуся зарядному балансу, рассчитываемому по формуле:

$$I_{\text{зар.уст}} = I_{\text{н}} \cdot \frac{T_{\text{отн}}}{1 - T_{\text{отн}}}, \quad (2.1)$$

где $I_{\text{н}}$ – установившийся ток нагрузки.

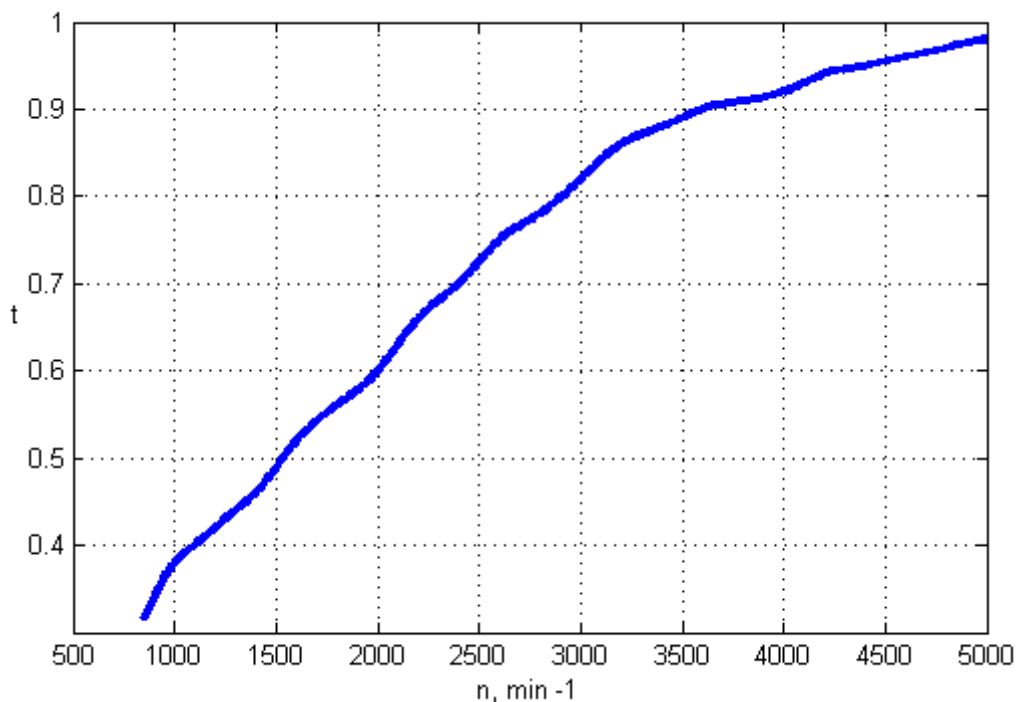


Рисунок 2.1 – Интегральная кривая распределения числа оборотов генератора легкового автомобиля

По данной формуле строится номограмма для расчета зарядного баланса (рисунок 2.2). По оси абсцисс откладывается относительный ток нагрузки $i_{\text{н}} = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{ном}}}$, а по оси ординат - относительный зарядный ток $i_{\text{зар.уст}} = \frac{I_{\text{зар.уст}}}{I_{\text{ном}}}$, где $I_{\text{ном}}$ - номинальный ток генератора. Выражение, преобразованное в относительных единицах:

$$i_{\text{зар.уст}} = i_{\text{н}} \cdot \frac{T_{\text{отн}}}{1 - T_{\text{отн}}}. \quad (2.2)$$

По этому уравнению строятся лучи, представляющие собой геометрическое место точек, соответствующее установившемуся зарядному балансу при заданной величине $T_{\text{отн}}$. Максимально возможный зарядный ток изображён на номограмме

пограничной линией под углом 45^0 , и делит график на две части: положительного и отрицательного баланса.

В положительной части номограммы проведены линии коэффициента баланса k_6 . Рабочие точки одной и той же линии соответствуют одному и тому же коэффициенту баланса и имеют одинаковый запас по току, определяются по формуле:

$$k_6 = \frac{i_{з.мах}}{i_{з.уст}}, \quad (2.3)$$

В отрицательной области номограммы построены линии времени разряда АКБ T_0 . Точки на одной линии соответствуют одному и тому же значению времени разряда T_0 и определяются по формуле:

$$T_0 = t_0 \frac{C_{10}}{I_{НОМ}}, \quad (2.4)$$

где C_{10} – номинальная емкость АКБ,

коэффициент $t_0 = \frac{1}{\Delta i_3(1-T_{отн})}$, где Δi_3 – дефицит зарядного тока $\Delta i_3 = i_{з.уст} - i_{з.мах}$.

2. Расчет зарядного баланса по методике, изложенной в ОСТ 37.003.034.-77.

Исходными данными в расчете принимаются токоскоростная характеристика (ТСХ) выбранного генератора и емкость АКБ. По интегральной кривой распределения числа оборотов генератора (рисунок 2.1) и ТСХ (рисунок 2.3), по выбранным интервалам частоты вращения генератора автомобиля в соответствующем интервале времени работы находят значение тока генератора в середине каждого интервала. Далее рассчитывается общая часовая отдача генератора, определяемая суммированием произведений тока генератора I_G и относительного времени работы Δt в интервале оборотов:

$$Q_ч = \sum I_G \cdot \Delta t, \quad (2.5)$$

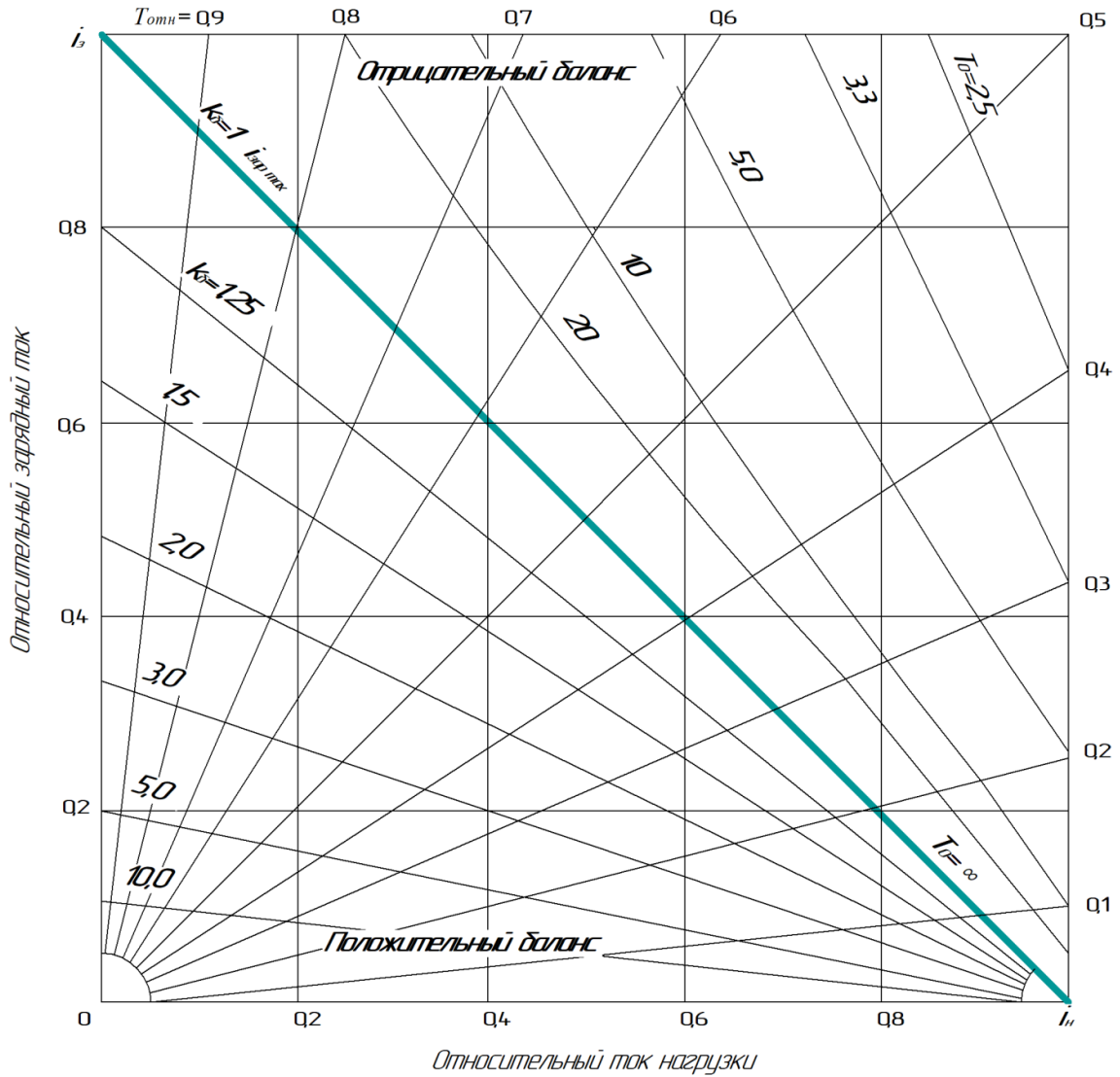


Рисунок 2.2 – Номограмма для расчета зарядного баланса

Расчетная нагрузка потребителей I_H (таблица 2.1) от двигателя движущегося автомобиля или от остановленного автомобиля на работающем двигателе определяется путем суммирования эквивалентных токов потребителя в соответствии со следующим уравнением:

$$I_H = \sum I_{\text{экв}} = \sum I_{\text{потр}} \cdot K_T \cdot K_H \quad (2.6)$$

где $I_{\text{экв}}$ - эквивалентный ток потребителя, А; $I_{\text{потр}}$ - ток потребителя, А; K_T - коэффициент времени работы различных потребителей;

K_n - коэффициент нагрузки определяет среднее значение нагрузки для потребителей, работающих в изменяющихся режимах нагрузки.

Таблица 2.1 – Параметры расчетной мощности нагрузки современного легкового автомобиля

| № п/п | Потребители электроэнергии на автомобиле | Р потр, Вт | I потр, А | Кт*Кн движение в городских условиях | | Кт*Кн движение по шоссе | |
|----------|--|------------|-----------|---|---|---|---|
| | | | | зима ($\frac{\text{день}}{\text{ночь}}$) | лето ($\frac{\text{день}}{\text{ночь}}$) | зима ($\frac{\text{день}}{\text{ночь}}$) | лето ($\frac{\text{день}}{\text{ночь}}$) |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Фары передние: – дальний свет; | 60 | 5,00 | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ |
| 2 | Фары передние: – ближний свет; | 55 | 4,58 | $\frac{0,1}{1}$ | $\frac{0,1}{1}$ | $\frac{0,1}{1}$ | $\frac{0,1}{1}$ |
| 3 | Противотуманные фары | 19 | 1,58 | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,2}{0,2}$ |
| 4 | Габаритные фонари: передние и задние | 5 | 0,42 | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ |
| 5 | Дневные ходовые огни | 5 | 0,42 | $\frac{1}{0}$ | $\frac{1}{0}$ | $\frac{1}{0}$ | $\frac{1}{0}$ |
| 6 | Фонарь освещения номерного знака | 5 | 0,42 | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ | $\frac{0}{1}$ |
| 7 | Указатель поворота (передний) | 21 | 1,75 | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 8 | Указатель поворота (задний) | 16 | 1,33 | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 9 | Боковой повторитель указателя поворота | 5 | 0,42 | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 10 | Фонари заднего хода | 16 | 1,33 | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0}{0}$ |
| 11 | Сигнал торможения (задний фонарь) | 21 | 1,75 | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,2}{0,2}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 12 | Лампа плафона освещения вещевого ящика | 5 | 0,42 | $\frac{0}{0,05}$ | $\frac{0}{0,05}$ | $\frac{0}{0,05}$ | $\frac{0}{0,05}$ |
| 13 | Лампа освещения приборов | 1,2 | 0,10 | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|--|-------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 14 | Антиблокировочная система (АБС) | 300 | 25,00 | $\frac{0,15}{0,15}$ | $\frac{0,15}{0,15}$ | $\frac{0,05}{0,05}$ | $\frac{0,05}{0,05}$ |
| 15 | Электробензонасос | 72 | 6,00 | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ |
| 16 | Устройство обогрева стекол | 500 | 41,67 | $\frac{1}{1}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{0}{0}$ |
| 17 | Устройство обогрева зеркал заднего вида | 300 | 25,00 | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0}{0}$ |
| 18 | Устройство обогрева сидений | 55 | 4,58 | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0}{0}$ |
| 19 | Аудиосистема | 15 | 1,25 | $\frac{0,5}{0,5}$ | $\frac{0,5}{0,5}$ | $\frac{0,5}{0,5}$ | $\frac{0,5}{0,5}$ |
| 20 | Система кондиционирования воздуха | 120 | 10 | $\frac{0}{0}$ | $\frac{1}{0,2}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{1}{0,2}$ |
| 21 | Электроусилитель руля | 660 | 55,00 | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{0,5}{0,5}$ | $\frac{0,5}{0,5}$ |
| 22 | Блок ЭПХХ | 10,4 | 0,87 | $\frac{0,25}{0,25}$ | $\frac{0,25}{0,25}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 23 | Система зажигания | 64,57 | 5,38 | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ | $\frac{1}{1}$ |
| 24 | Стеклоочиститель режим работы 1 | 42 | 3,50 | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 25 | Стеклоочиститель режим работы 2 | 60 | 5,00 | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 26 | Электровентилятор системы охлаждения ДВС | 90 | 7,50 | $\frac{0,1}{0}$ | $\frac{0,3}{0,2}$ | $\frac{0}{0}$ | $\frac{0,1}{0,1}$ |
| 27 | Электровентилятор системы вентиляции и отопления салона режим работы 1 | 18 | 1,50 | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0,02}{0,1}$ | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0,02}{0,1}$ |
| 28 | Электровентилятор системы вентиляции и отопления салона режим работы 2 | 36 | 3,00 | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0,02}{0,1}$ | $\frac{0,3}{0,3}$ | $\frac{0,02}{0,1}$ |
| 29 | Электровентилятор системы вентиляции и отопления салона режим работы 3 | 60 | 5,00 | $\frac{0,35}{0,35}$ | $\frac{0,02}{0,1}$ | $\frac{0,35}{0,35}$ | $\frac{0,02}{0,1}$ |
| 30 | Электронасос стеклоомывателя | 33 | 2,75 | $\frac{0,05}{0,05}$ | $\frac{0,05}{0,05}$ | $\frac{0,05}{0,05}$ | $\frac{0,05}{0,05}$ |

Определяются расчетные нагрузки потребителей автомобиля при различных режимах работы: от самого тяжелого, когда автомобиль движется на малых скоростях в городе, с частыми остановками на светофорах и в пробках, особенно в зимний период, с включенными печкой, обогревателями стекол, сидений; до самого легкого, когда автомобиль движется по трассе летом в дневное время при средней температуре окружающей среды не выше 20°C .

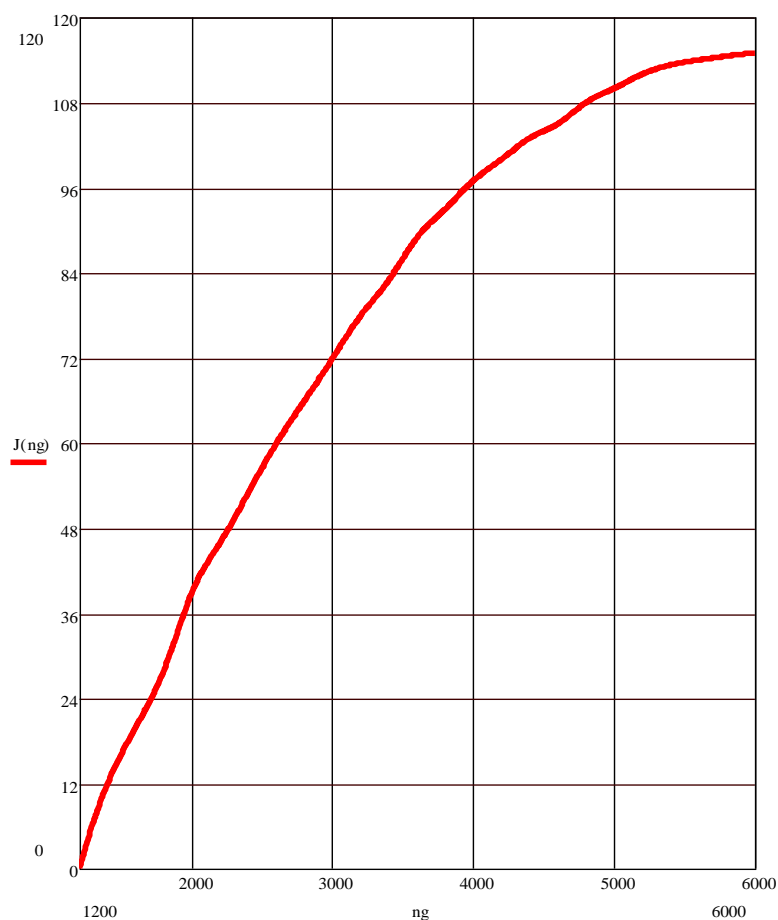


Рисунок 2.3 - Токоскоростная характеристика генератора 9402.3701000-14

Далее определяется количество ампер-часов, которое генератор отдает в течение одного часа в заданном скоростном режиме для дневного и ночного режима соответственно:

$$Q_{\text{дн}} = Q_{\text{ч}} - I_{\text{н.дн}}, \quad (2.7)$$

$$Q_{\text{ноч}} = Q_{\text{ч}} - I_{\text{н.ноч}}, \quad (2.8)$$

где $I_{н.дн}$ – ток нагрузки потребителей для дневного режима (А), $I_{н.ноч}$ – ток нагрузки потребителей для ночного режима (А).

Затем производится расчет суточного баланса электроэнергии по формуле:

$$Q_{сут} = Q_{дн} \cdot t_{д} + Q_{ноч} \cdot t_{н} - Q_{пс} - Q_{ост}, \quad (2.9)$$

где $t_{д}$, $t_{н}$ – число часов движения за сутки при дневной и ночной эксплуатации, $Q_{пс}$ – расход емкости АКБ на пуски двигателя за сутки (А·ч), $Q_{ост}$ – расход емкости батареи на потребители, включаемые на стоянках с неработающим двигателем.

По ОСТ 37.003.031-77 зарядный баланс оценивается по следующим критериям: 1) при эксплуатации автомобиля суточный баланс должен быть положительным $Q_{сут} > 0$; 2) относительный заряд или разряд АКБ для легковых автомобилей при эксплуатации ночью зимой не должен быть более 3 % (расход емкости батареи на пуски двигателя не учитывается).

Относительный заряд или разряд АКБ рассчитывается по формуле:

$$Q_{б.ноч\%} = \frac{Q_{б.ноч}}{C_{20}} \cdot 100 [\%]. \quad (2.10)$$

Оценка энергообеспеченности по рассмотренным классическим методикам расчета зарядного баланса на основе номограммы и, изложенной в ОСТ 37.003.034.-77 производится на использовании усредненных значений характеристик в периоды определенных временных интервалов и интервалов оборотов генератора автомобиля. Расчет на основе номограммы представляет собой графоаналитический метод решения задачи определения зарядного баланса. Построение интегральных кривых и номограммы для каждой модели генератора приводит к значительному усложнению расчетов, такой расчет довольно трудоемкий. В расчете на основе методики, изложенной в ОСТ 37.003.034.-77, применяется более точный, чем в номограмме, аналитический метод решения задачи определения зарядного баланса. При этом не учитываются постоянные изменения параметров БЭК при различных режимах эксплуатации автотранспортного средства.

На основании вышеизложенного, требуется разработка модернизированного инструментария оценки зарядного баланса, в котором будут учтены выделенные недостатки.

2.2 Теоретическое описание математической модели оценки зарядного баланса

В общем случае баланс мощностей описывается равенством мощности источника энергии и мощности, потребляемой потребителями. В автомобиле в качестве источников энергии выступают генератор и аккумуляторная батарея (АКБ), в качестве потребителей выступает совокупность всех электрических узлов и агрегатов автомобиля и АКБ. Основной задачей АКБ является запуск двигателя, а также обеспечение энергией ЭС и ЭК автомобиля при выключенном двигателе (неработающем генераторе).

В задачу работы генератора входит обеспечение электроэнергией всех узлов автомобиля и заряд АКБ. Повышение количества бортовых приборов и их мощности привело к ситуации, когда мощности генератора недостаточно для поддержания заряда аккумуляторной батареи. Более того, существует вероятность, что генератор не обеспечит энергией всех потребителей, тогда недостающую энергию будет передавать в электрическую цепь АКБ. Такая ситуация называется отрицательным зарядным балансом. К возникновению отрицательного зарядного баланса приводит значительное увеличение электропотребителей автомобиля, устанавливаемых с целью повышения конкурентоспособности автомобиля при сохранении типа используемого генератора.

Задача построения численной модели зарядного баланса и энергетической обеспеченности бортовой сети при изменении величины питающего напряжения представляет собой достаточно сложную нелинейную задачу, так как сопряжено с учётом значительного количества факторов, определяющих нелинейность отдельных элементов. К основным нелинейным элементам относятся:

– характеристики генератора, зависящие как от его конструктивных особенностей, так и от числа оборотов ротора, и потребляемого бортовым оборудованием (и аккумуляторной батареей) тока;

– непостоянство режима работы генератора, определяющееся постоянно плавающей величиной оборотов ротора и регулярно меняющимся током бортовой цепи автомобиля;

– характеристиками аккумуляторной батареи, зависящими от модели АКБ, её состояния (остаточная емкость, срок эксплуатации, параметры химических элементов), и т.д.

Максимально полный учёт всех параметров возможен при значительном накоплении эмпирически полученной базы учёта работы этих элементов при различных режимах эксплуатации АТС. Поэтому в рамках данной работы численное моделирование основано на ряде допущений, не противоречащих законам электротехники и принципам функционирования бортовой сети автомобиля.

2.3 Программная реализация математической модели оценки зарядного баланса

2.3.1 Аппроксимация токоскоростных характеристик автомобильного генератора

Для разработки математической модели выбран генератор стандартного уровня питающего напряжения в 14 В. Следует учесть, что модель должна быть удобной для исследования любого генератора, что определяется формированием функций, возвращающих необходимые результаты. Модель оценки зарядного баланса строилась на языке Python с применением оболочки Visual Studio Code.

Для формирования функции аппроксимации выбран автомобильный генератор 5162.3771000 [122], внешний вид которого приведён на рисунке 2.4. Данный генератор устанавливается на автомобилях ВАЗ 2170 "Priora", ВАЗ 1118 "Kalina", Lada Granta и обладает следующими характеристиками: номинальное

напряжение 14 В.; номинальный ток нагрузки 125 А; направление вращения вала со стороны привода – правое; степень защиты – IP10; масса генератора – 5,5 кг.



Рисунок 2.4 – Внешний вид генератора 5162.3771000

Схема подключения генератора приведена на рисунке 2.5. Токоскоростная характеристика приведена на рисунке 2.6.

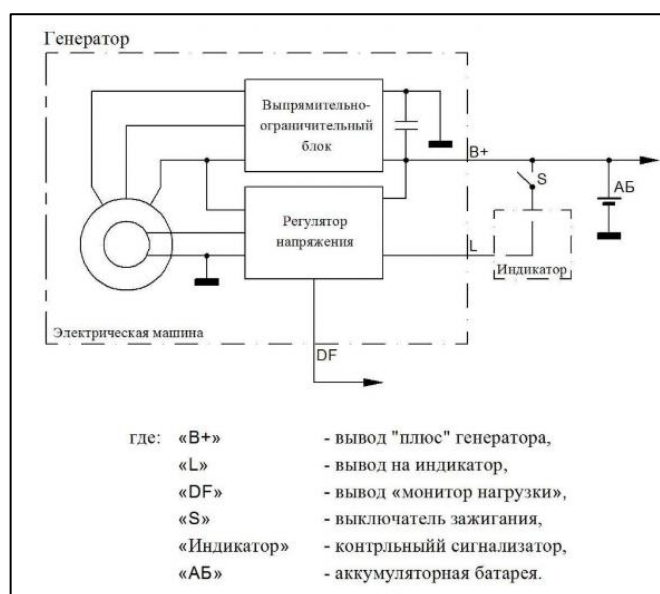


Рисунок 2.5 – Схема подключения генератора 5162.3771000

Для аппроксимации характеристики можно использовать различные методы. В рамках исследования остановимся на двух: сплайн аппроксимация и полиномиальная регрессия. Сплайн аппроксимация обеспечивает прохождение функции через заданные узловые точки и, при их достаточном количестве будет использоваться в качестве эталонной.

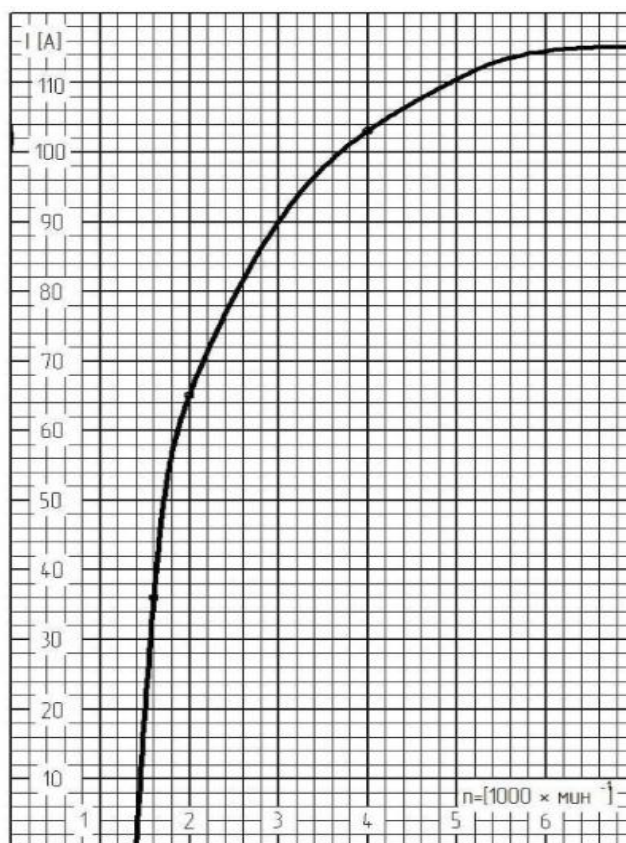


Рисунок 2.6 – Токоскоростная характеристика генератора 5162.3771000

Использование полиномиальной регрессии позволит определить коэффициент аппроксимирующего полинома и сформировать аналитическую форму аппроксимирующей функции и использовать её в дальнейшем для решения задачи исследования зарядного баланса.

Сформируем массив значений характеристики (таблица 2.2)

Таблица 2.2. – Значения узловых точек токоскоростной характеристики генератора 5162.3771000

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| $n, \text{мин}^{-1}$ | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 3000 | 3400 | 4000 | 4400 | 5000 | 7000 | 10000 |
| I, A | 10 | 36 | 56 | 65 | 77 | 90 | 96 | 103 | 106 | 110 | 115 | 115 |

Сформируем функцию сплайн аппроксимации (2.11) и полиномиальной регрессии (2.12) в среде Python на основе данных таблицы 2.2 (листинг программы приведён в приложении 2.1):

$$I_{ген}(n) = spline(n_k, I_k, k), \quad (2.11)$$

где $I_{ген}$ – сила тока отдачи генератора,

n_k – частота вращения ротора генератора,

k – порядковый номер узловой точки.

$$I_{ген}(n) = I_0 + I_1 \cdot n + I_2 \cdot n^2, \quad (2.12)$$

где I_0, I_1, I_2 – коэффициенты полинома, n – частота вращения ротора генератора.

Порядок полинома выбран равным двум на основе проведённых численных экспериментов, как дающий минимальную погрешность. Результат построения приведён на рисунке 2.7.

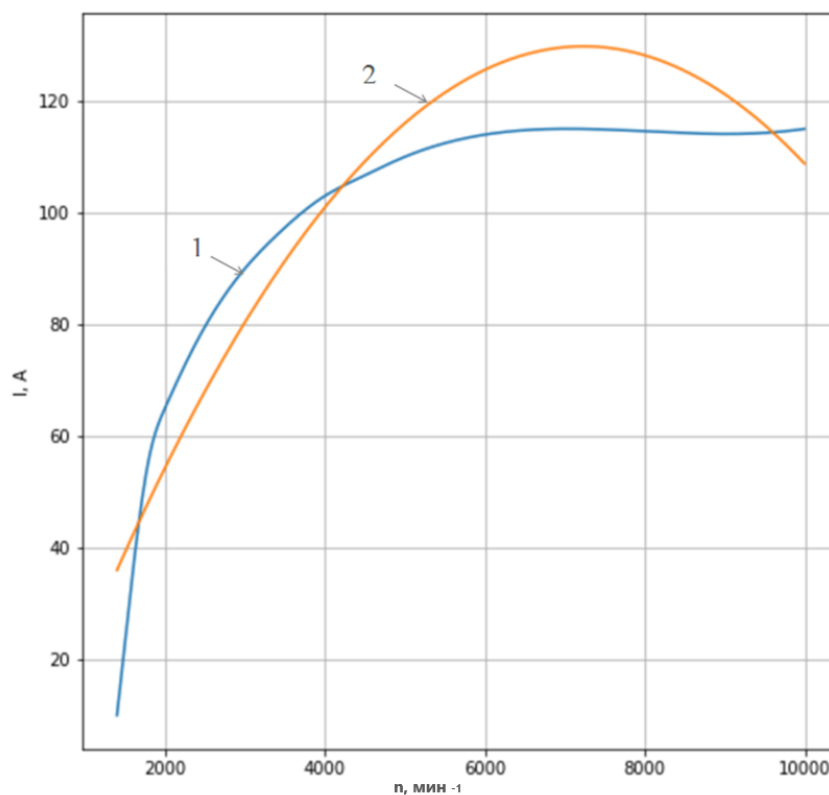


Рисунок 2.7 – Аппроксимация токоскоростной характеристики генератора 5162.3771000: 1 (синий график) – сплайн аппроксимация, 2 (оранжевый график) – полиномиальная регрессия

По графикам возможно определить, что использование полиномиальной регрессии может давать заметную погрешность. Поэтому в дальнейшем будем учитывать факт возможной погрешности при проведении моделирования. В зависимости от аппроксимируемой характеристики погрешность может

отличаться. Таким образом, для формирования аналитических зависимостей будем опираться на полиномиальную регрессию, а для получения более точных результатов на сплайн аппроксимацию.

Примем рабочий диапазон оборотов двигателя автомобиля от 850 мин^{-1} до 6200 мин^{-1} . Диаметр серийного ведущего шкива Lada Granta равен $136,5 \text{ мм}$, диаметр шкива генератора равен $54,9 \text{ мм}$. Передаточное число привода в этом случае будет равно $136,5/54,9=2,48$ [124].

Для перехода от частоты вращения ротора генератора к частоте вращения вала двигателя автомобиля будем использовать коэффициент $K=2,48$. Таким образом, получим, что диапазон оборотов вращения ротора генератора изменяется в пределах от 2108 мин^{-1} до 15376 мин^{-1} . Однако, учитывая свойства токоскоростной характеристики, при оборотах двигателя свыше 3000 мин^{-1} , влияние частоты вращения двигателя практически не оказывает влияния на зарядный баланс. Таким образом, будем проводить исследование в диапазоне нелинейности токоскоростной характеристики генератора. Более того, основная часть режимов эксплуатации двигателя приходится на значения ниже 4000 мин^{-1} . Это объясняется свойствами крутящего момента двигателей автомобиля Lada Granta (рисунок 2.8) [124]



Рисунок 2.8 – Сравнение зависимостей крутящего момента двигателей семейства автомобилей ВАЗ

2.3.2 Модель оценки зарядного баланса автотранспортного средства

Проведём моделирование зарядного баланса автомобиля. Рабочий диапазон оборотов генератора был определён в предыдущем параграфе. Определим рабочий диапазон токов потребителя. Очевидно, что значение потребляемого тока является величиной переменной и варьируется в широком диапазоне, ввиду периодического включения и выключения различных вспомогательных узлов. Нижнее значение тока потребления выбрано на основе ключевых задействованных узлов автомобиля, включая дневные ходовые огни. К таким узлам относятся:

- система управления двигателем (инжекторный двигатель) до 20 А;
- бензонасос до 6 А;
- дневные ходовые огни 3 А;
- элементы подсветки салона и индикация приборной панели до 1 А.

Суммарный минимальный ток потребления принят равным 30 А. Максимальный ток потребления принят без учёта пиковых значений, возникающих кратковременно, так как расчет зарядного баланса автомобиля формируется на основе усреднённого значения на единицу времени.

- система управления двигателем 20 А;
- система освещения 8 А;
- бензонасос 6 А;
- система кондиционирования салона или системы подогрева 9 А;
- дополнительный вентилятор охлаждения радиатора 6,5 А;
- электронные помощники до 30 А;
- аудио система 15 А;
- видеорегистратор 5 А;

Максимальный ток потребления вне зависимости от сезона принят равным 150 А.

Проведено моделирование зарядного баланса автомобиля без учёта заряда АКБ. Для этого применим метод аппроксимации токоскоростной характеристики.

Зарядный баланс автомобиля представляет собой разность между генерируемой автомобильным генератором энергией и энергией потребляемой бортовыми системами автомобиля. В общем случае, при фиксированном напряжении бортовой сети потребляемая мощность определяется совокупным током потребителей и может быть представлена в виде линейного графика зависимости мощности от тока:

$$P_{\text{потр}}(I_{\text{потр}}) = U_{\text{сети}} I_{\text{потр}}, \quad (2.11)$$

где $P_{\text{потр}}$ – потребляемая мощность,

$I_{\text{потр}}$ – сила тока потребления,

$U_{\text{сети}}$ – напряжение бортовой сети.

Для напряжения бортовой сети 14 В и заданного диапазона токов зависимость мощности потребителей от тока будет иметь линейный вид (рисунок 2.9):

$$P(I) = U_{\text{ном}} \cdot I_{\text{потр}}, \quad (2.12)$$

где $I_{\text{потр}}$ – сила тока потребления,

$U_{\text{ном}}$ – напряжение бортовой сети.

Максимальная мощность, вырабатываемая генератором определяется оборотами генератора в соответствии с выражением:

$$P_{\text{генер}}(n) = U_{\text{ном}} I_{\text{генер.}}(n), \quad (2.13)$$

где $P_{\text{генер}}$ – максимальная мощность, вырабатываемая генератором,

$I_{\text{генер.}}$ – сила тока отдачи генератора,

n – частота вращения ротора генератора.

График мощности генератора в зависимости от оборотов ротора генератора представлен на рисунке 2.10 (Листинг модели приведён в приложении 2.1):

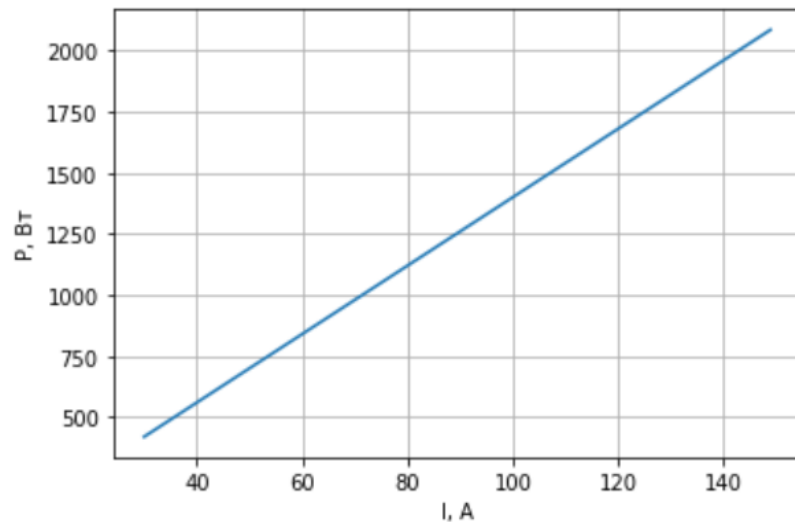


Рисунок 2.9 – Зависимость мощности потребителей от потребляемого тока

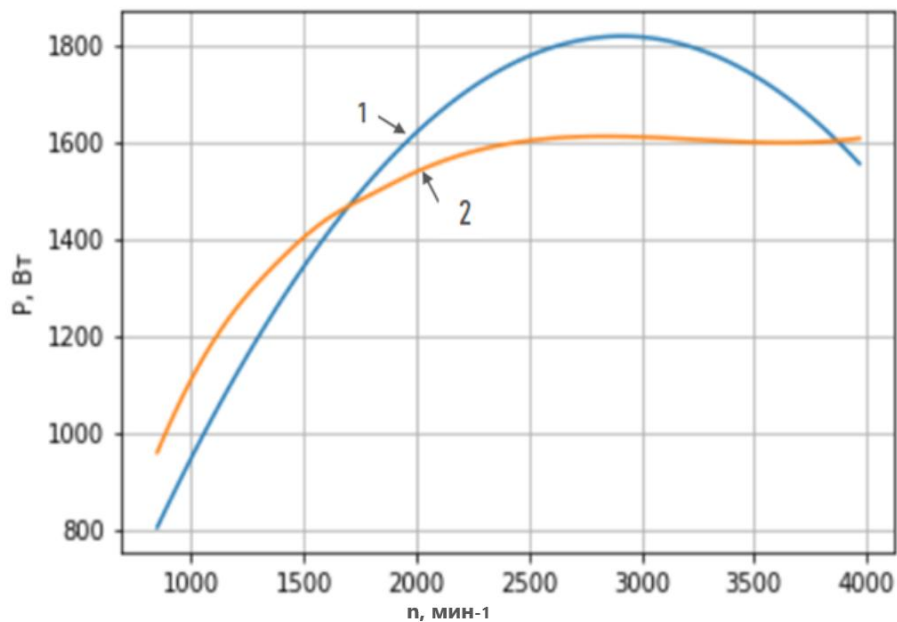


Рисунок 2.10 – Мощность, вырабатываемая генератором 5162.3771000:
 1 (синий график) – на основе полиномиальной регрессии, 2 (оранжевый график) –
 на основе сплайн аппроксимации

Зарядный баланс автомобиля можно представить в виде трёхмерной поверхности в функции тока потребителей и оборотов, представляющей собой в каждой точке разность мощностей, вырабатываемой генератором и потребляемой бортовой сетью:

$$P(I, n) = P_{генер}(n) - P_{потр}(I), \quad (2.14)$$

где P – мощность заряда АКБ,

$P_{генер}$ – генерируемая мощность,

$P_{потр}$ – мощность потребителей,

I – сила тока потребления

n – частота оборотов двигателя внутреннего сгорания.

Для моделирования сформирована функцию расчёта мощности и построены трёхмерные поверхности для двух типов аппроксимации. Поверхности представлены на рисунке 2.11

По сформированным поверхностям определено, что присутствуют зоны ниже уровня нуля, что соответствует зонам отрицательного зарядного баланса. Проведём анализ работы двигателя автомобиля и количества функционирующих бортовых приборов при различных режимах эксплуатации автомобиля.

Полученные модели позволяют провести количественную оценку энергообеспеченности бортовой сети автотранспортного средства при заданных параметрах бортовой сети и параметрах используемого генератора.

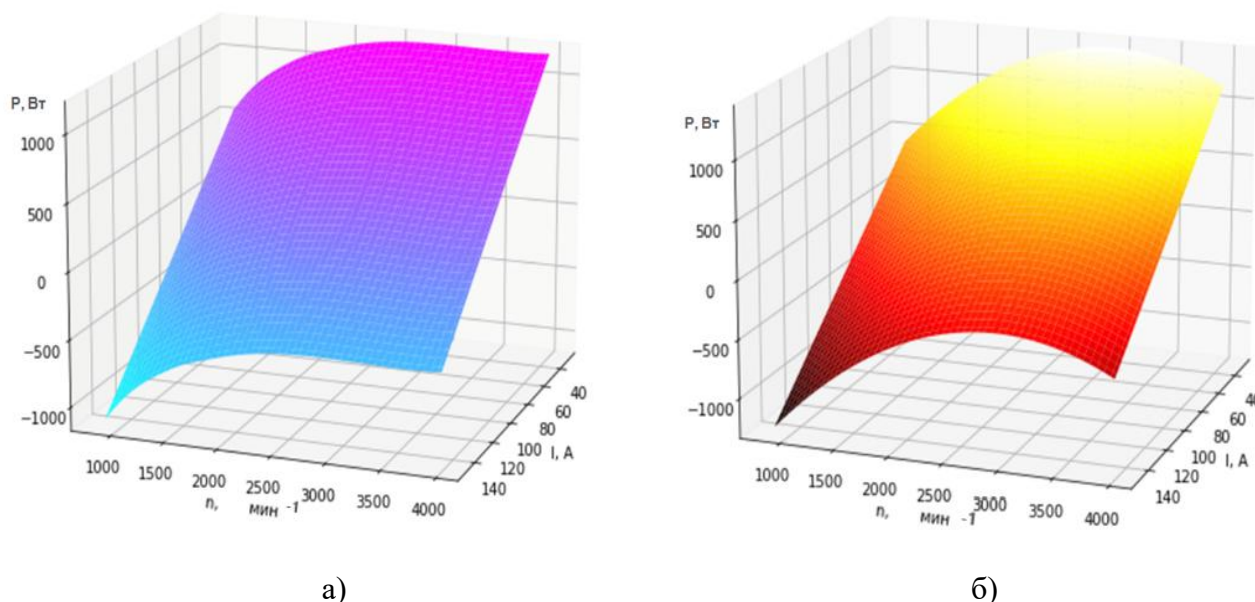


Рисунок 2.11 – Поверхности зарядного баланса: а) для полиномиальной регрессионной модели; б) для сплайн аппроксимации

2.3.3 Определение зоны отрицательного зарядного баланса

Для анализа зон отрицательного зарядного баланса требуется найти линию пересечения полученной поверхности зарядного баланса с нулевой плоскостью. Координаты кривой сечения поверхности находятся аналитически с помощью уравнения:

$$P_{ген} - P_{потр} = 0 \quad (2.15)$$

Раскрывая выражения мощности получена функция:

$$U_{ном} \cdot I_{ген}(n) - U_{ном} \cdot I_{потр} = 0 \quad (2.16)$$

То есть линия пересечения поверхности генерируемой мощности с нулевой плоскостью определяется равенством токов генератора и потребителей.

В случае использования сплайн аппроксимации в нашем распоряжении есть только закрытая функция, описывающая токоскоростную характеристику. В то время как получение линии пересечения двух поверхностей не представляет задачи с численной точки зрения, получить аналитическую зависимость не представляется возможным. Используя функцию полинома получение координат сводится к алгебраической задаче. Подставляя полученные аналитические выражения аппроксимации получим:

$$I_{потр} = u_2 \cdot n^2 + u_1 \cdot n + u_0 \quad (2.17)$$

где u – коэффициенты полинома; n – число оборотов генератора; $I_{потр}$ – ток потребителя.

Получим линии пересечения поверхностей мощности, полученных с помощью полиномиальной регрессии и сплайн аппроксимации, с нулевой плоскостью зарядного баланса (Листинг модели приведён в приложении 2.1). Полученные линии приведены на рисунке 2.12.

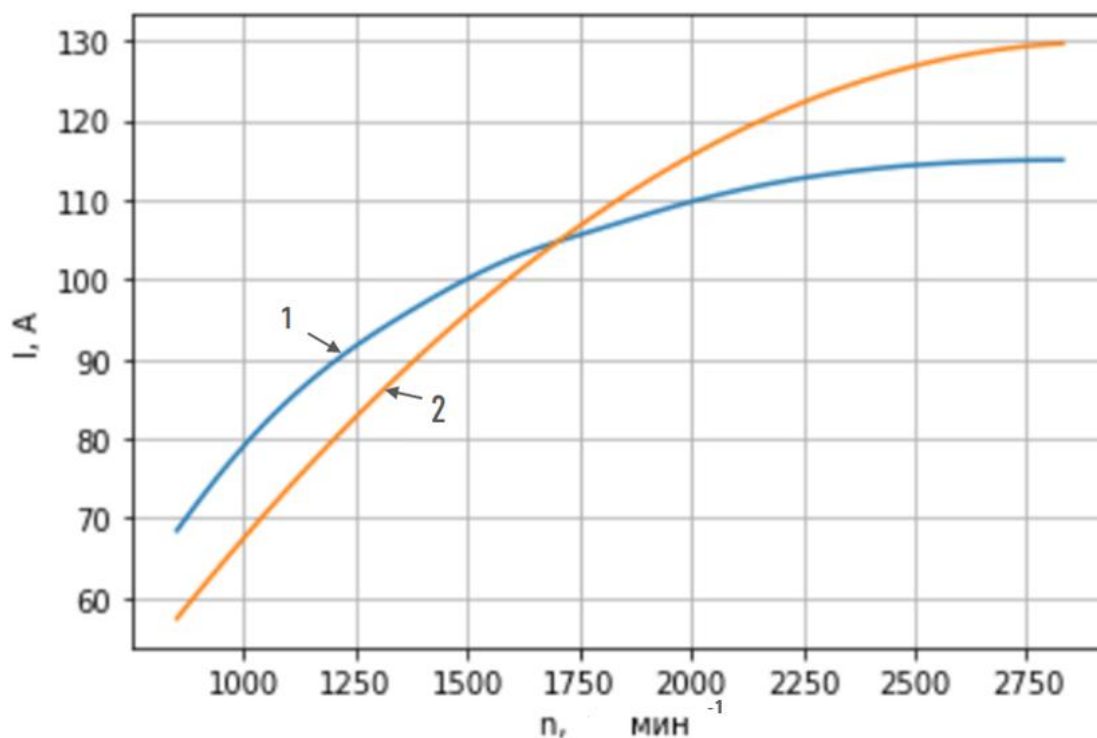


Рисунок 2.12 – Линии пересечения поверхности зарядного баланса и нулевой плоскости: 1 – на основе сплайн аппроксимации; 2 – на основе полиномиальной регрессии

Таким образом, получен инструментарий по определению зоны отрицательного зарядного баланса на основе токоскоростной характеристики и потребляемого бортовой сетью автомобиля тока. Использование полученных функций позволяет определить предел используемого генератора для обеспечения энергообеспеченности автотранспортного средства на всём диапазоне оборотов двигателя.

2.3.4 Модель оценки энергообеспеченности для различных уровней питающего напряжения бортовой сети автомобиля

Проведём анализ электрических потребителей автомобиля с точки зрения потребляемой энергии и периода работы по отношению к периоду движения автомобиля в зависимости от времени года и режима эксплуатации автомобиля. Здесь важно указать, что в виду психологических различий водителей, систем оснащения автомобиля и различных стилей вождения, указанные режимы

являются условными. На рисунке 2.13 представлена карта режимов работы автомобиля с нанесёнными линиями, определяющими зоны отрицательного зарядного баланса.

Цвета проецируемой плоскости условно определяют режимы работы автомобиля:

- автозапуск двигателя автомобиля характеризуется минимальным потреблением энергии и оборотами холостого хода (маленький голубой квадрат);

- движение на малых скоростях с частыми остановками (движение в пробке) характеризуется низким уровнем оборотов двигателя вблизи значений холостого хода и высоким уровнем потребления электроэнергии (все системы эксплуатируются);

- движение в городе (с учетом остановок на светофорах и пешеходных переходах) характеризуется постоянно плавающим значением оборотов ДВС в диапазоне от значений холостого хода до 3000 мин^{-1} (данное значение достигается достаточно редко и, как правило предшествует переключению передачи) и интенсивной работой коробки переключения передач, а также высоким уровнем электропотребления;

- движение по междугородней трассе характеризуется наилучшим КПД двигателя, достаточно стабильным уровнем оборотов в области высокого крутящего момента ($2500 - 4000 \text{ мин}^{-1}$), и сравнительно меньшим уровнем электропотребления (усилитель руля, усилители педалей, дополнительные помощники задействуются реже).

Анализ графика показывает, что зона отрицательного зарядного баланса приходится на режим эксплуатации автомобиля в пробках и в городе при низких оборотах двигателя и уровне энергопотребления свыше 80 А, что эквивалентно 1120 Вт при уровне напряжения генератора 14 В. Заметим, что зона положительного зарядного баланса не гарантирует эффективный заряд аккумуляторной батареей, так как требуется обеспечить достаточный ток заряда АКБ.

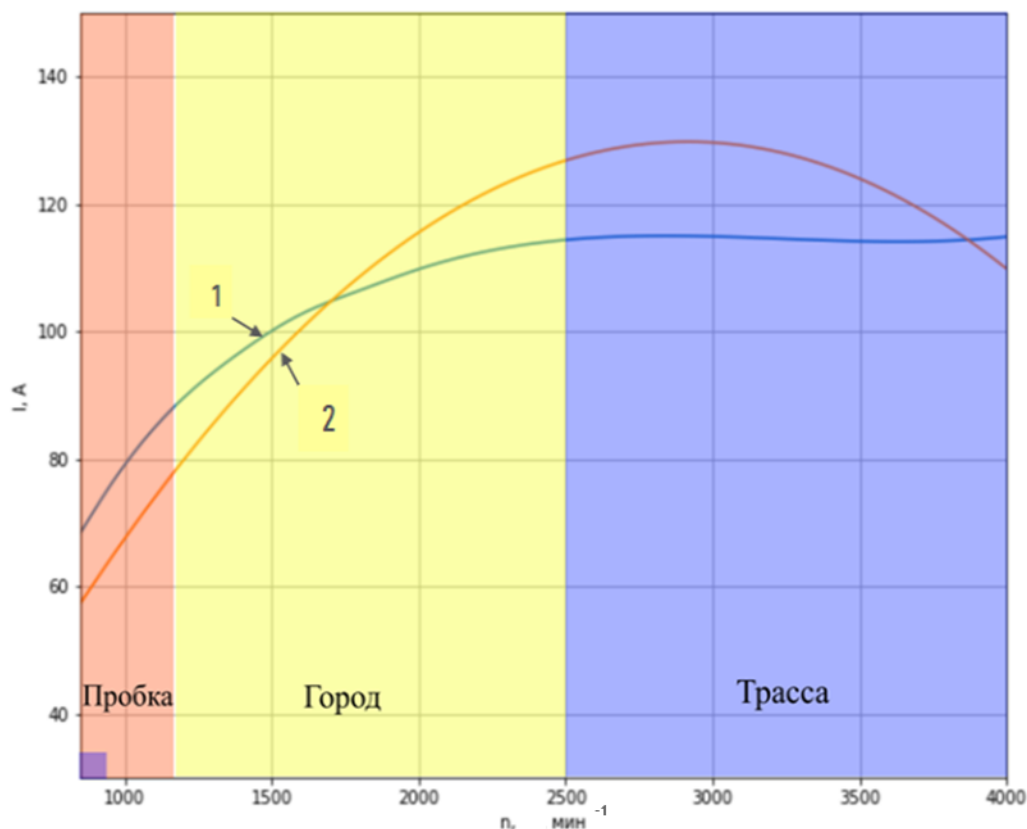


Рисунок 2.13 – Линии пересечения поверхности зарядного баланса и нулевой плоскости: 1 – на основе сплайн аппроксимации; 2 – на основе полиномиальной регрессии

Наибольшее энергопотребление приходится на летний и зимний период, так как из дополнительных функций, обладающих высоким энергопотреблением, являются функции охлаждения и обогрева салона и его элементов. При этом, в то время как подогрев салона в основном идёт за счёт энергии двигателя, а подогрев сидений и руля, отличающийся высоким электропотреблением, используется ограниченное время, наиболее энергозатратным является функция кондиционирования. В общем случае анализ режимов работы автомобиля с точки зрения усреднения параметров работы бортовых устройств рассматривается с помощью таблицы 2.1.

Предложенный подход не позволяет в полной мере решить задачу по построению модели энергопотребления при разных режимах эксплуатации автомобиля.

2.4 Оценка энергообеспеченности бортовой сети автомобиля.

Предлагаемый инструмент оценки энергообеспеченности на основе современных информационных технологий (рисунок 2.14) позволяет построить с применением базовых законов электротехники (закон Ома, баланс мощностей), учитывая ток потребителей бортовой сети автомобиля и токоскоростную характеристику генератора, наиболее полную модель энергообеспеченности работы СЭС.

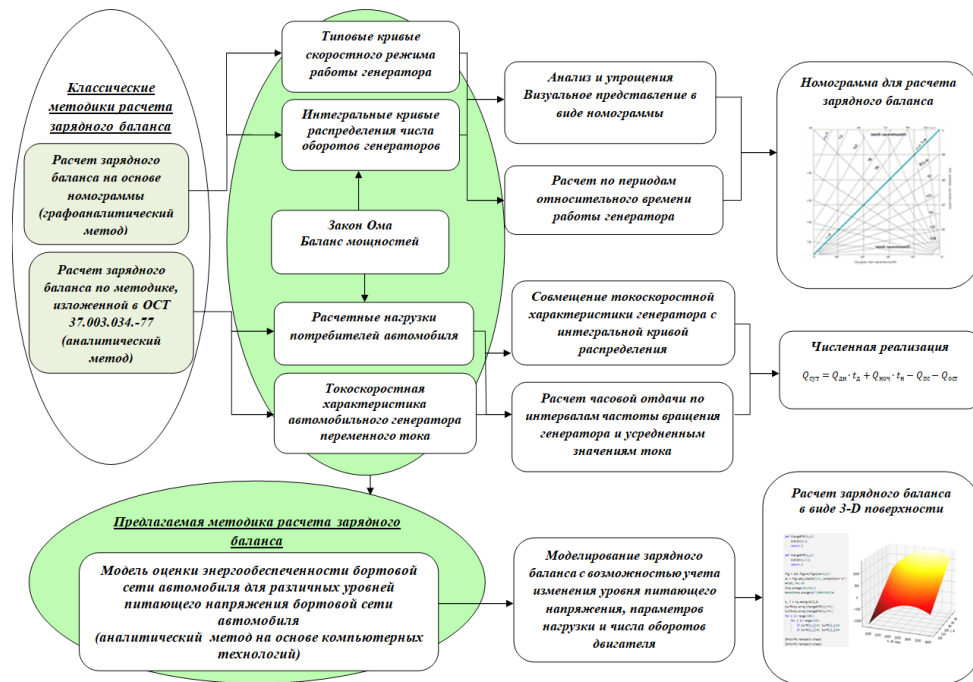


Рисунок 2.14 – Научная концепция решения задачи модернизации модели оценки энергообеспеченности работы электротехнического комплекса автомобиля.

Разработанная модель построена на основе аналитического метода и позволяет решить задачу определения зарядного баланса при различных уровнях питающего напряжения с учетом параметров нагрузки и числа оборотов двигателя. Таким образом, при различной нагрузке возможно вычислить зоны отрицательного баланса, когда АКБ вместо заряда начинает отдавать ток потребителям, постоянно разряжаясь.

2.5 Выводы по главе

1) Для обоснования проблемы оценки энергообеспеченности БЭК автомобиля, на основе аппроксимации токоскоростных характеристик автомобильных генераторов, разработана математическая модель зарядного баланса автомобиля, позволяющая определить зоны положительного и отрицательного баланса с учетом изменений значений параметров нагрузки и числа оборотов двигателя.

2) В результате работы с программной реализацией модели зарядного баланса получены показатели, определяющие зоны отрицательного и положительного зарядных балансов. Зона отрицательного зарядного баланса приходится на режимы эксплуатации при низких оборотах ДВС и высоком уровне энергопотребления, например, для рассматриваемого автомобиля Lada Granta, при токе нагрузки свыше 80 А, что эквивалентно совокупной мощности потребителей равной 1120 Вт, и оборотах двигателя менее 2500 мин⁻¹, при уровне напряжения генератора 14 В.

3) Показано, что повышение энергообеспеченности бортовой сети за счет повышения тока генератора не обеспечивает рекомендуемый режим заряда АКБ ввиду значительного разброса тока заряда АКБ, при различных режимах эксплуатации автотранспортных средств.

4) Для определения влияния питающего напряжения на технические параметры и конструкцию основных систем требуется провести комплексное научное исследование по оценке влияния изменения уровня напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных ЭС и ЭК.

Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ НОМИНАЛЬНОГО ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ БОРТОВОЙ СЕТИ НА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И КОМПОНЕНТОВ

3.1 Анализ основных систем бортового электротехнического комплекса автомобилей

3.1.1 Система зажигания

Система зажигания (СЗ) предназначена для генерации импульсов высокого напряжения, вызывающих воспламенение топливной смеси в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [2, 10, 11, 103, 114, 115].

Анализ влияния величины номинального напряжения бортовой сети на систему зажигания необходимо производить при условии обеспечения нормальной работы двигателя внутреннего сгорания во всех режимах эксплуатации автомобиля. Требования, предъявляемые к системе зажигания, возникающие из этого условия, следующие:

1) Величина энергии искры при увеличении напряжения бортовой сети должна обеспечивать бесперебойное искрообразование на всех режимах двигателя.

2) Вторичное напряжение СЗ должно быть больше напряжения пробоя искрового промежутка.

3) Искрообразование на всех частотах вращения ДВС должно быть бесперебойным.

1. Согласно теории электрического зажигания [104], величина вторичного напряжения пропорциональна величине тока разрыва и коэффициенту трансформации катушки зажигания (КЗ).

$$U_2 = K_T \cdot \sqrt{\frac{L_1}{C}} \cdot I_p \cdot N, \quad (3.1)$$

где U_2 – величина вторичного напряжения, В;

K_T – коэффициент трансформации КЗ,

$$K_T = \frac{W_2}{W_1};$$

L_1 – индуктивность первичной цепи, Гн;

C – приведенная емкость СЗ, Ф;

I_p – ток разрыва, А;

N – коэффициент затухания.

Изменение бортового напряжения автомобиля оказывает влияние на величину тока разрыва, который равен

$$I_p = \frac{U_6}{R_1} \left(1 - e^{-\frac{T_n}{T}} \right), \quad (3.2)$$

где U_6 – напряжение бортовой сети автомобиля, В;

R_1 – сопротивление первичной цепи СЗ, Ом;

T_n – время накопления энергии, с;

$T = \frac{L_1}{R_1}$ – постоянная времени первичной цепи.

С увеличением бортового напряжения, при неизменных остальных параметрах, ток разрыва возрастет, что потребует применения более мощных и дорогих полупроводниковых приборов. Уменьшение значения I_p приводит к необходимости увеличения коэффициента трансформации K_T , что, в свою очередь, может быть достигнуто за счёт:

- 1) увеличения числа витков вторичной обмотки W_2 ,
- 2) уменьшения числа витков первичной обмотки W_1 ,
- 3) сочетания двух этих способов.

Однако увеличение W_2 приведет к увеличению массы катушки зажигания, что нерационально.

Уменьшение W_1 повлечет за собой падение индуктивности первичной цепи [84], равной

$$L_1 = G \cdot W_1^2, \quad (3.3)$$

где G – проводимость магнитной цепи.

Снижение L_1 , в свою очередь, ведет к уменьшению величины энергии искры, что недопустимо. Энергия искрового разряда

$$Q = \frac{L_1 \cdot I_p^2}{2} \cdot K_{\Pi}, \quad (3.4)$$

где Q – энергия искры, Дж;

K_{Π} – коэффициент передачи энергии.

Таким образом, целесообразнее всего сохранить амплитуду тока разрыва при любых значениях питающего напряжения. Для этого есть два способа:

1. Увеличение сопротивления первичной цепи пропорционально росту напряжения.

2. Регулирование времени накопления энергии.

Первый способ, при всей своей простоте, является неудовлетворительным с точки зрения энергетики, так как в этом случае потери в первичной цепи растут пропорционально увеличению сопротивления и, следовательно, пропорционально напряжению питания первичной цепи,

$$P = I_{эф.}^2 \cdot R_1 \quad (3.5)$$

Второй способ широко применяется в цифровых системах зажигания [65,66], в аналоговых СЗ он в чистом виде применяется редко, что связано с трудностью регулирования момента открывания выходного транзистора при резком изменении частоты вращения ДВС. Для гарантированного достижения необходимого значения тока разрыва при резком изменении частоты вращения ДВС применяется сочетание этих двух способов (рисунок 3.1); время открытого состояния транзистора выходного каскада T чуть больше времени T_H , необходимого для накопления энергии, при достижении током величины $I_{огр}$, транзистор выходного каскада переходит в активное состояние, поддерживая ток разрыва на необходимом уровне, при этом не происходит прироста энергии в катушке, а на выходном транзисторе рассеивается мощность [65,66]

$$P_T = R_{эк} \cdot I_{огр}^2, \quad (3.6)$$

где $R_{эк} = \frac{U_6 \left(1 - e^{-\frac{T_{огр}}{T}} \right)}{I_{огр}}$ – сопротивление перехода эмиттер-коллектор

выходного транзистора;

$T_{огр}$ – время стабилизации тока.

Как видно из (3.6), для сохранения теплового режима транзистора при переходе на более высокое напряжение необходимо уменьшать время активного состояния выходного транзистора $T_{огр}$ (рисунок 3.1).

Для обеспечения требуемой величины вторичного напряжения необходимо, чтобы ток достигал величины $I_{огр}$ за время меньшее, чем "время замкнутого состояния контактов".

$$T_3 = \frac{120 \cdot 2/3}{z \cdot n}, \quad (3.7)$$

где T_3 – "время замкнутого состояния контактов";

z – число цилиндров ДВС;

n – частота вращения коленвала ДВС.

При напряжении бортсети автомобиля 12 В и ниже, время накопления энергии соизмеримо с временем T_3 и поэтому на максимальных частотах вращения ДВС наблюдается снижение величины вторичного напряжения (рисунок 3.2).

С увеличением напряжения бортсети автомобиля время накопления энергии значительно сокращается

$$T_H = \ln \left(1 - \frac{I_{огр} \cdot R_1}{U_6} \right) \cdot \frac{L_1}{R_1} \quad (3.8)$$

и, таким образом обеспечивается высокое вторичное напряжение СЗ во всех режимах эксплуатации двигателя (рисунок 3.2). Необходимо отметить еще один аспект увеличения напряжения автомобиля. Как известно, потери в первичной

цепи пропорциональны квадрату эффективного значения тока (3.5), который в свою очередь определяется выражением [34].

$$I_{\text{эф}} = \frac{U_{\text{б}}}{R_1} \cdot \sqrt{\frac{T_H}{T'}} \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{2a} \cdot (e^{-a} - 3) \cdot (e^{-a} - 1)}, \quad (3.9)$$

где, $a = \frac{R_1}{L_1} \cdot T_H$,

$T' = \frac{120}{n \cdot z}$ – период искрообразования.

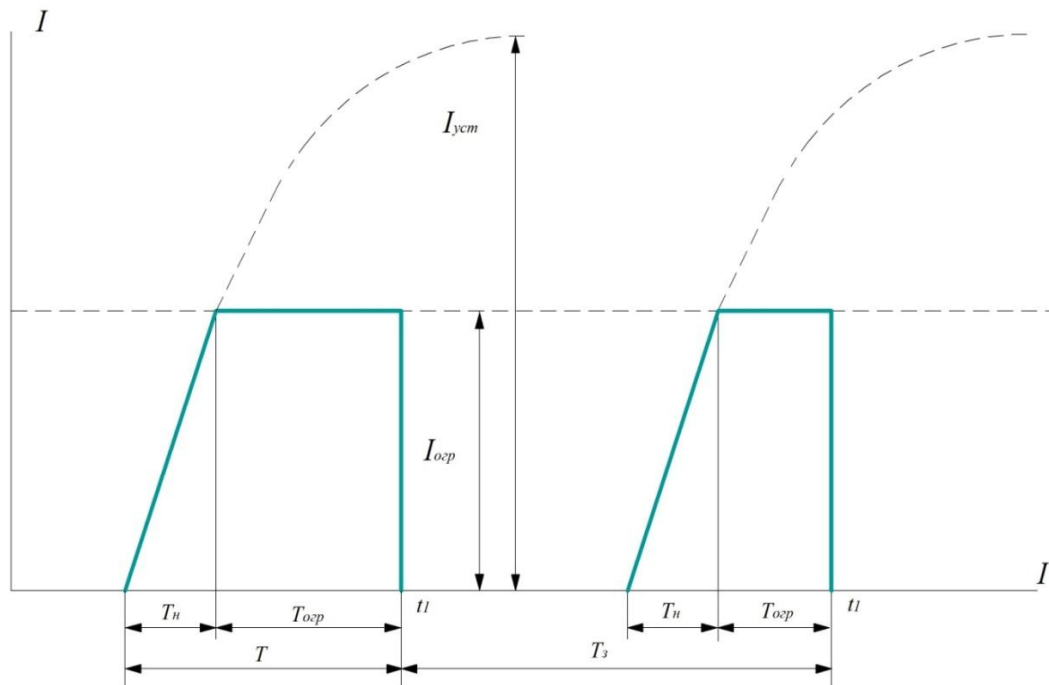


Рисунок – 3.1 Ток первичной цепи

I_{opr} – амплитуда тока стабилизации выходного каскада СЗ;

$I_{уст}$ – установившееся значение тока первичной цепи;

T_n – время накопления энергии;

T_{opr} – время стабилизации тока;

T – время открытого состояния выходного транзистора СЗ;

t_I – момент искрообразования;

T_3 – период искрообразования.

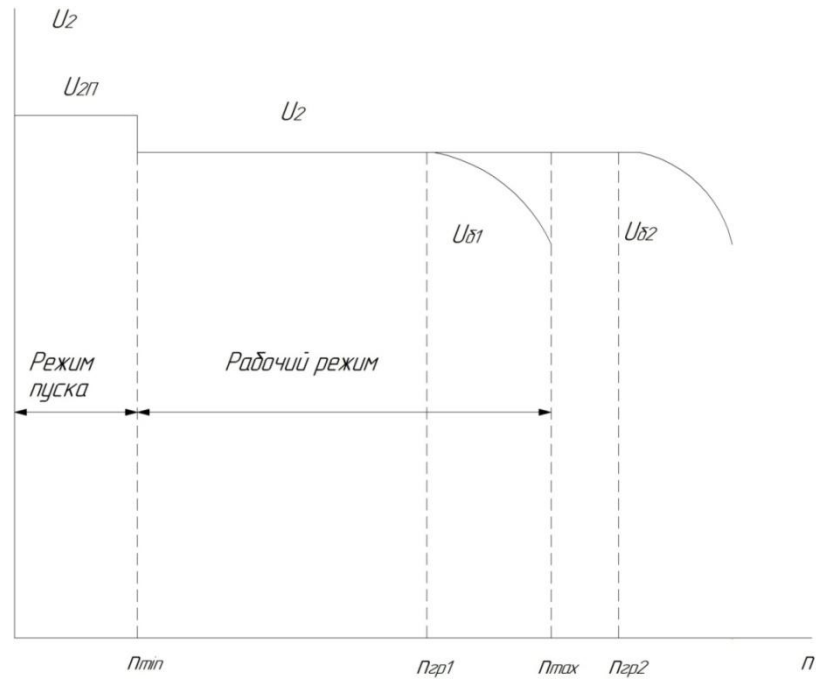


Рисунок 3.2 – Рабочие характеристики СЗ при различном напряжении

n_{per1} – граничная частота уменьшения вторичного напряжения
 n_{min} – пусковые обороты ДВС
 n_{max} – максимальные обороты ДВС
 U_{21} – вторичное напряжение СЗ в режиме пуска
 U_{δ} – напряжение питания первичной цепи СЗ

Таким образом, при значительном снижении времени накопления, что происходит при увеличении U_{δ} , значение эффективного тока и потери первичной цепи уменьшаются (рисунок 3.3, таблица 3.1). Если исходить из условия равенства потерь для различных значений номинального напряжения, то очевидно, что с увеличением напряжения можно несколько увеличить сопротивление первичной обмотки КЗ, т.е. намотать её проводом меньшего сечения, что позволит снизить массу КЗ.

Расчет параметров и рабочих характеристик СЗ, выполненный с учетом вышеизложенных ограничений на разные уровни напряжения (таблица 3.2), иллюстрирует приведенный анализ. Расчет произведен для исходных данных, приведенных в таблице 3.1.

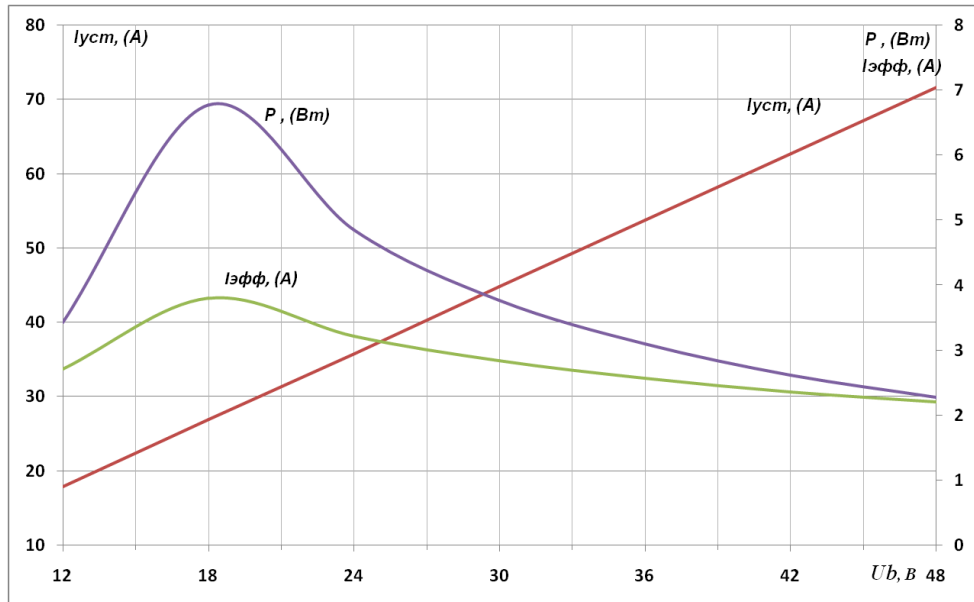


Рисунок 3.3– Зависимости параметров системы зажигания от номинального напряжения ($I_{уст}$ – установившееся значение тока первичной цепи, $I_{эфф}$ – эффективное значение тока, P – мощность потерь первичной цепи)

Таблица 3.1 – Исходные данные расчета параметров системы зажигания

| Вторичное напряжение СЗ | Значение тока разрыва | Индуктивность первичной цепи СЗ | Коэффициент трансформации СЗ | Коэффициент связи | Коэффициент передачи энергии | Шунтирующее сопротивление вторичной цепи | Емкость шунтирующего конденсатора вторичной цепи | Пусковые обороты ДВС | Максимальные обороты ДВС |
|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|--|--|----------------------|--------------------------|
| U_2 | I_p | L_1 | K_T | K | K_{II} | R_{III} | C_{III} | n_n | n_{max} |
| кВ | А | мГн | – | – | – | Мом | пФ | мин ⁻¹ | мин ⁻¹ |
| 28 | 8 | 5,5 | 69,6 | 0,95 | 0,46 | 1 | 50 | 50 | 7000 |

При расчете рассмотрен идеальный случай, т.е. время открытого состояния выходного транзистора совпадает со временем накопления энергии. В реальном случае время накопления меньше времени открытого состояния транзистора, в связи с чем транзистор рассеивает мощность (3.6). Коэффициент полезного действия СЗ будет зависеть от параметров системы управления СЗ.

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Высокое напряжение питания первичной цепи дает возможность обеспечения высокого вторичного напряжения во всех режимах эксплуатации ДВС.

2. При переходе на повышенное напряжение перенапряжения в системе зажигания останутся на прежнем уровне, так как значение индуктивности первичной цепи и ток разрыва неизменны.

Таблица 3.2 – Зависимость параметров системы зажигания от номинального напряжения бортовой сети автомобиля

| Номинальное напряжение $U_{\text{б}}$ (В) | Сопротивление первичной обмотки КЗ R_1 (Ом) | Установившееся значение тока $I_{\text{уст}}$ (А) | Время накопления энергии T_n ($\times 10^{-3}$ с) | Эффективное значение тока $I_{\text{эф}}$ (А) | Мощность потерь первичной цепи P (Вт) | Запасенная энергия КЗ на максимальных оборотах ДВС Q_3 (мДж) | Энергия разряда на максимальных оборотах ДВС Q (мДж) | Граничная частота вращения ДВС без снижения $n_{\text{гр}}$ (мин^{-1}) |
|---|---|---|--|---|---|--|--|---|
| 12 | 0,52 | 17,90 | 3,89 | 2,71 | 3,43 | 85 | 39 | 5140 |
| 18 | 0,52 | 26,90 | 2,42 | 3,80 | 6,77 | 176 | 81 | 8300 |
| 24 | 0,52 | 35,80 | 1,76 | 3,22 | 4,85 | 176 | 81 | 11400 |
| 30 | 0,52 | 44,80 | 1,37 | 2,84 | 3,77 | 176 | 81 | 14600 |
| 36 | 0,52 | 53,73 | 1,14 | 2,57 | 3,10 | 176 | 81 | 17500 |
| 42 | 0,52 | 62,70 | 0,97 | 2,36 | 2,62 | 176 | 81 | 20600 |
| 48 | 0,52 | 71,60 | 0,85 | 2,20 | 2,27 | 176 | 81 | 23500 |

3. Для систем зажигания с повышенным уровнем силовая часть электронных приборов не претерпит значительных изменений.

4. При переходе на повышенное напряжение необходима разработка новой системы управления СЗ с более точным регулированием момента отпирания транзистора выходного каскада.

5. Должны быть ужесточены требования к системе защиты СЗ, так как при выходе из строя коммутатора установившееся значение тока первичной цепи возрастает пропорционально напряжению (таблица 3.2).

3.1.2 Генераторная установка

Эксплуатационные качества генератора определяются токоскоростной характеристикой (ТСХ), представляющей зависимость тока, отдаваемого генератором I_d , от частоты вращения n при неизменном максимальном токе возбуждения I_{em} и неизменном напряжении на нагрузке U_d [100,104]. Токоскоростную характеристику $I_d = f(n)$ (рисунок 3.4) строят на основе расчета баланса электроэнергии бортовых систем автомобиля для различных условий эксплуатации и задают в числе других исходных данных в техническом задании на проектирование генератора.

Главными размерами генератора принято считать диаметр расточки статора D_i и длину пакета статора l_i , которые определяют объем активных материалов и мощность генератора при заданных электромагнитных нагрузках.

Главные размеры автомобильного генератора должны быть рассчитаны таким образом, чтобы реальная токоскоростная характеристика соответствовала заданной во всех условиях эксплуатации, а габариты и масса активных материалов были минимальными.

Для того, чтобы обеспечить эти требования, выбирают несколько характерных точек заданной ТСХ, составляют для каждой из них уравнение, связывающее основные размеры с параметрами и электромагнитными нагрузками машины, и решают полученную систему уравнений относительно D_i и l_i . Вычисленные таким образом размеры соответствуют каждой из выбранных точек и в целом всей ТСХ.

В качестве характерных точек выбирают режимы (рисунок 3.4):

- начала токоотдачи, соответствующий холостому ходу генератора при минимальной частоте вращения n_0 (точка 1);
- расчетный рабочий ($I_{dp}; n_p$), соответствующий максимальному электромагнитному моменту генератора (точка 2);
- максимального тока нагрузки I_{dm} , соответствующий максимальной частоте вращения n_m (точка 3).

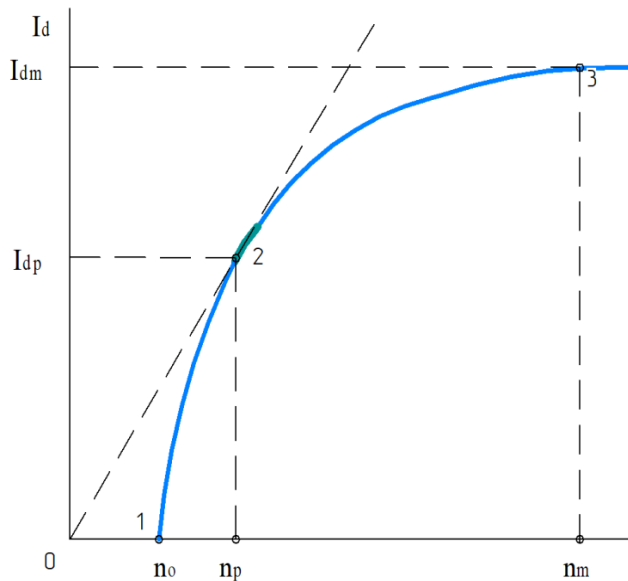


Рисунок 3.4 – Токоскоростная характеристика автомобильного генератора

Уравнения связи для каждого из этих режимов выводятся на основе общей теории электрических машин с учетом особенностей эксплуатации бортовых генераторов.

Очевидно, что анализ зависимости главных размеров и активного объема генератора от уровня номинального напряжения бортовой сети целесообразно провести исходя именно из этих уравнений.

Уравнения связи для указанных режимов генератора имеют следующий вид.

1. Режим начала токоотдачи

$$D_i L_i = \frac{9,56 \cdot U_{\phi 0}}{\alpha_i \cdot K_{\phi} \cdot K_o \cdot n_o \cdot W_{\phi} \cdot B_{\delta o}}, \quad (3.10)$$

где $U_{\phi 0}$ – фазное напряжение генератора при $n=n_0$; $I_d=0$;

- α_i - коэффициент полюсного перекрытия;
 K_ϕ - коэффициент формы поля возбуждения;
 K_o - обмоточный коэффициент;
 W_ϕ - число последовательных витков в фазе;
 B_∞ - индукция в рабочем зазоре на холостом ходу.

2. Режим максимального момента ($I_{dp}; n_p$)

$$D_i^2 I_i = \frac{6,1 \cdot K_{IB} \cdot K_{UB} \cdot P_{dp}}{K_\phi \cdot K_o \cdot d_i \cdot B_\infty \cdot A_p \cdot n_o \cdot \eta_B}, \quad (3.11)$$

где K_{IB} - коэффициент, учитывающий долю тока возбуждения в полном токе генератора;

K_{UB} - коэффициент, учитывающий изменение фазного напряжения от тока нагрузки;

A_p - линейная нагрузка;

η_B - коэффициент схемы выпрямления по мощности.

3. Режим максимального тока (I_{dm}, n_m).

$$X_d = \frac{U_{\phi o} \cdot n_m}{n_o \cdot I_{\phi m}} = \frac{n_m \cdot \mu_o \cdot l_i \cdot W_\phi^2}{30} \left[\frac{2\pi \sum \lambda}{q} + \frac{m \cdot D_i \cdot K_o^2 \cdot K_d}{\delta \cdot K_\delta \cdot K_\mu \cdot p} \right], \quad (3.12)$$

где $I_{\phi m}$ - максимальный ток фазы;

μ_o - магнитная проницаемость воздуха;

$\sum \lambda$ - суммарный коэффициент удельной магнитной проводимости рассеяния фазы обмотки статора;

q - число пазов на полюс и фазу;

m - число фаз генератора;

δ - величина рабочего воздушного зазора;

K_δ - коэффициент воздушного зазора;

K_μ - коэффициент насыщения магнитной цепи;

p - число пар полюсов;

X_d - синхронное индуктивное сопротивление генератора по продольной оси.

Решая совместно уравнения (3.10) и (3.11), находим диаметр расточки статора

$$D_i = \frac{0,64 \cdot K_{IB} \cdot K_{UB} \cdot P_{dp} \cdot W_\phi}{\eta_B \cdot A_p \cdot U_{\phi o}} = C'_1 \frac{W_\phi}{U_{\phi o}}, \quad (3.13)$$

где $C'_1 = \frac{0,64 \cdot K_{IB} \cdot K_{UB} \cdot P_{dp}}{\eta_B \cdot A_p}$

длину пакета статора

$$l_i = \frac{15 \cdot U_{\phi o}^2 \cdot A_p \cdot \mu_B}{d_i \cdot K_\phi \cdot K_o \cdot K_{IB} \cdot K_{UB} \cdot n_o \cdot B_{\phi o} \cdot P_{dp} \cdot W_\phi^2} = C'_2 \frac{U_{\phi o}^2}{W_\phi^2}, \quad (3.14)$$

где $C'_2 = \frac{15 \cdot A_p \cdot \eta_B}{d_i \cdot K_\phi \cdot K_o \cdot K_{IB} \cdot K_{UB} \cdot n_o \cdot B_{\phi o} \cdot P_{dp}}$.

Подставляя полученные значения D_i и l_i в уравнение (3.12), получим

$$\frac{U_{\phi o}}{W_\phi} = \frac{30 \cdot q}{2\pi \cdot \sum \lambda \cdot n_o \cdot I_{\phi m} \cdot \mu_o \cdot C'_2} - \frac{q \cdot m \cdot K_o \cdot K_d \cdot C'_1}{2\pi \cdot \sum \lambda \cdot \delta \cdot K_\delta \cdot K_\mu \cdot \rho} = \frac{C'_3 - C'_1 \cdot C'_2 \cdot C'_4}{C'_2}, \quad (3.15)$$

где $C'_3 = \frac{30 \cdot q}{2\pi \cdot \sum \lambda \cdot \mu_o \cdot n \cdot I_{\phi m}}$; $C'_4 = \frac{q \cdot m \cdot K_o \cdot K_d}{2\pi \cdot \sum \lambda \cdot \delta \cdot K_\delta \cdot K_\mu \cdot \rho}$. (3.16)

В уравнениях (3.13) и (3.14) главные размеры выражены через фазное напряжение, отнесенное к числу последовательных витков в фазе $\left(\frac{U_{\phi o}}{W_\phi}\right)$. Из

теории электрических машин известно, что зависимость между фазным напряжением на холостом ходу и числом витков в фазе имеет следующий вид:

$$U_{\phi o} = 4 \cdot K_\phi \cdot K_o \cdot W_\phi \cdot f_o \cdot \Phi_{\phi o}, \text{ В} \quad (3.17)$$

где $f_o = p \cdot n_o / 60$ - частота электродвижущей силы (ЭДС) при $n = n_o$;

$\Phi_{\phi o}$ - магнитный поток в рабочем зазоре на холостом ходу.

При постоянной частоте вращения формулу (3.17) можно представить в виде:

$$U_{\phi o} = K'_E \cdot W_\phi \cdot \Phi_{\phi o}$$

При постоянном токе возбуждения поток $\Phi_{\delta 0}$ тоже будет постоянным, поэтому можно записать

$$U_{\phi 0} = K_E \cdot W_{\phi} \text{ или } \frac{U_{\phi 0}}{W_{\phi}} = K_E = const \quad (3.18)$$

Таким образом, при $n=const$ и $\Phi_{\delta 0} = const$ для изменения фазного напряжения генератора в K_E раз необходимо во столько же раз изменить число последовательных витков в фазе. В связи с этим при постоянных значениях коэффициентов C'_1 и C'_2 главные размеры генератора не зависят от величины фазного напряжения. Активный объем генератора V_a пропорционален произведению $D_i^2 l_i$, т.е.

$$V_a = C_v \cdot D_i^2 \cdot l_i \quad (3.19)$$

где C_v - коэффициент, учитывающий конструктивные особенности генератора. Если D_i и l_i не зависят от фазного напряжения, то и объем генератора сохранится неизменным при любом напряжении.

Это утверждение справедливо в том случае, если будут независимыми от напряжения все величины, входящие в (3.13) и (3.14).

Рассмотрим насколько это соответствует действительности.

Сравнение генераторов, рассчитанных на различные уровни выходного напряжения, будем производить при условии постоянства выходной мощности и неизменных электромагнитных нагрузках, т.е.:

$$P_{dp}; \Phi_{\delta 0}; A; j_a; j_B = const,$$

где j_a и j_B - плотность тока в обмотке якоря и обмотке возбуждения соответственно.

Анализ выражений (3.10...3.12) с учетом условий сравнения показывает, что изменение главных размеров машины с ростом выходного напряжения возможно, если меняются коэффициенты, входящие в эти зависимости. Таких коэффициентов шесть:

$$\text{а) } \alpha_i = b_p / \tau, \quad (3.20)$$

где b_p - средняя ширина клювообразного полюса;

$\tau = \pi \cdot D_i / 2p$ - полюсное давление;

$$\text{б) } K_\phi = B_{\delta 01} / B_{\delta 0}, \quad (3.21)$$

где $B_{\delta 01}$ - первая гармоническая составляющая индукции после возбуждения в рабочем зазоре;

$$\text{в) } K_0 = K_p \cdot K_y \cdot K_{ск}, \quad (3.22)$$

где K_p - коэффициент распределения;

K_y - коэффициент укорочения;

$K_{ск}$ - коэффициент скоса.

$$\text{г) } K_{IB} = 1 + I_{bm} / I_{dp} \quad (3.23)$$

$$\text{д) } K_{UB} = U_{\phi 0} / U_{\phi p}, \quad (3.24)$$

где $U_{\phi p}$ - фазное напряжение при расчетном токе нагрузки (I_{dp});

$$\text{е) } \eta_B = U_d \cdot I_{dp} \cdot K_{IB} / m \cdot U_{\phi p} \cdot I_{\phi p}. \quad (3.25)$$

Так как магнитный поток машины по условиям сравнения не меняется, магнитная загрузка цепи остается неизменной, постоянными будут и коэффициенты α_i и K_ϕ .

Обмоточный коэффициент K_0 не меняется, так как тип и схема обмотки остаются одними и теми же для всех напряжений. Меняется число витков в фазе W_ϕ , но этот параметр на обмоточный коэффициент влияния не оказывает.

Коэффициент схемы выпрямления по мощности можно представить в виде:

$$\eta_B = \frac{U_d \cdot I_{dp} \cdot K_{IB}}{m \cdot U_{\phi p} \cdot I_{\phi p}} = \frac{K_{IB} \cdot K_{UB} \cdot K_I \cdot K_U}{m}, \quad (3.25)$$

где K_{UB} - коэффициент выпрямления схемы по напряжению.

Таким образом, величина η_B определяется следующим набором коэффициентов: K_{IB}, K_{UB}, K_I, K_U . В этот набор входят и два последних коэффициента (в) и (г).

Рассмотрим отдельно значение каждого из них в зависимости от уровня выходного напряжения генератора.

Коэффициент $K_{IB} = 1 + I_{bm}/I_{dp}$. Его величина может оставаться неизменной или меняться в зависимости от того как будет изменяться принципиальная схема генератора с ростом U_d . Здесь возможно несколько вариантов:

1. Использование одного и того же регулятора для всех уровней U_d . Это осуществимо, если питание регулятора осуществляется от отпаек фазных обмоток генератора или от специальных обмоток, размещенных в тех же или отдельных пазах статора. Обмотка возбуждения остается в этом случае без изменения. Ток возбуждения I_{bm} так же неизменен.

Коэффициент K_{IB} будет меняться по закону:

$$K_{IB} = \frac{I_{dp} + k \cdot I_{bm}}{P_{dp}} \cdot U_d, \quad (3.26)$$

где $k = \frac{U_{di}}{U_{d1}}$ - кратность изменения напряжения генератора;

U_{d1} - выходное напряжение базового генератора;

U_{di} - повышенное выходное напряжение генератора.

Для генераторной установки на 55 А, принятой для анализа, коэффициент K_{IB} будет меняться в пределах

$$K_{IB} = 1,09 \dots 1,37.$$

Мощность возбуждения $P_b = const$. Конструкция статора генератора существенно усложняется за счет отпаек или дополнительных обмоток.

2. Для каждого уровня напряжения U_d используется регулятор на соответствующее напряжение питания. Параметры обмотки возбуждения при этом изменяются, по мере увеличения U_d . Число витков W_b растет, а ток I_{bm} уменьшается пропорционально напряжению (таблица 3.3). Коэффициент K_{IB} и мощность возбуждения и в этом случае остаются неизменными.

$$K_{UB} = U_{\phi\delta} / U_{\phi\rho} \quad (3.27)$$

С увеличением U_d растут индуктивные сопротивления генератора (X_s , X_{ad} , X_{aq}), так как пропорционально U_d должно увеличиваться число последовательных

витков в фазе W_ϕ , а индуктивные сопротивления, в свою очередь, пропорциональны квадрату числа витков [89].

Падения напряжения на индуктивных сопротивлениях равны: $U_{ad} = I_{\phi d} \cdot X_{ad}$; $U_{aq} = I_{\phi q} \cdot X_{aq}$; $U_s = I_\phi \cdot X_s$ (рисунок 3.5). При увеличении напряжения U_d ток в фазе уменьшится (из условия $P_{dp} = const$) обратно пропорционально напряжению, т.е.

$$I_{\phi i} = I_{\phi 1} \cdot \frac{U_{\phi 1}}{U_{\phi i}}, \quad (3.28)$$

где индекс "1" относится к току и напряжению базового генератора, а индекс "i" - к измененным напряжению и току. Но так как W пропорционально U_ϕ , то

$$I_{\phi i} = I_{\phi 1} \frac{W_{\phi 1}}{W_{i1}}, \quad (3.29)$$

или $I_\phi = C_I / W_\phi$, то есть ток фазы обратно пропорционален числу последовательных витков в фазе (C_I - коэффициент пропорциональности). Отсюда получим:

$$U_s = C_{Is} \cdot W_\phi;$$

$$U_{ad} = C_{Iad} \cdot W_\phi;$$

$$U_{aq} = C_{Iaq} \cdot W_\phi.$$

То есть индуктивные падения напряжения пропорциональны числу витков в фазе.

Активное сопротивление фазы

$$r_a = \rho \cdot \frac{W_\phi \cdot l_{cp}}{q}, \quad (3.30)$$

где ρ – удельное сопротивление меди обмоток;

l_{cp} – средняя длина витка обмотки;

q – сечение эффективного проводника обмотки.

Число витков W_ϕ пропорционально U_d . Средняя длина витка при неизменной конструкции обмотки остается постоянной ($l_{cp} = const$). Из условий сравнения знаем, что $j_a = const$ и, следовательно, по мере уменьшения I_d и I_ϕ с ростом U_d и U_ϕ сечение q изменяется обратно пропорционально напряжению, то есть

$$q = \frac{C_q}{W_\phi} = \frac{C_u}{U_d}, \quad (3.31)$$

Учитывая сказанное, получим:

$$r_a = C'_R \cdot U_d^2 = C''_R \cdot W_\phi^2, \quad (3.32)$$

где C'_R, C''_R, C_W, C_u - коэффициенты пропорциональности.

Следовательно, активное сопротивление фазы пропорционально числу витков в фазе или напряжению генератора, возведенному в квадрат, а падение напряжения на активном сопротивлении, равное

$$U_R = I_\phi \cdot r_a = C_R \cdot W_\phi \quad (3.33)$$

пропорционально, как и падения напряжения на индуктивных сопротивлениях, числу витков в фазе или напряжению генератора в первой степени.

Рассмотрим, меняется ли при изменении U_d коэффициент мощности генератора.

Угол ϕ сдвига между током и напряжением фазы генератора определяется характером внешней нагрузки. Кроме сопротивлений, включенных на стороне постоянного тока, к внешней нагрузке генератора можно отнести и схему выпрямления. Режим работы этой схемы зависит от величины тока, проходящего через вентили, и индуктивных сопротивлений как на стороне переменного, так и на стороне постоянного токов.

Режимы работы выпрямителя характеризуют обычно, так называемым углом коммутации γ или углом перекрытия анодов, имеющем место при переключении тока из одной группы вентилях в другую (процесс коммутации).

Связь между углом сдвига ϕ и углом коммутации γ различные авторы выражают по разному. Для трехфазных мостовых схем выпрямителя имеем [74]:

$$\operatorname{tg} \phi = \frac{\gamma - \sin \gamma \cdot \cos \gamma}{\sin^2 \gamma}, \quad (3.34)$$

Из [74] известно:

$$1 - \cos \gamma = \frac{2 \cdot I_d \cdot x_s}{\sqrt{6} \cdot U_{\phi p}}, \quad (3.35)$$

$$\text{или } \gamma = \arccos \left[1 - \frac{2 I_d \cdot x_s}{\sqrt{6} \cdot U_{\phi p}} \right] \quad (3.36)$$

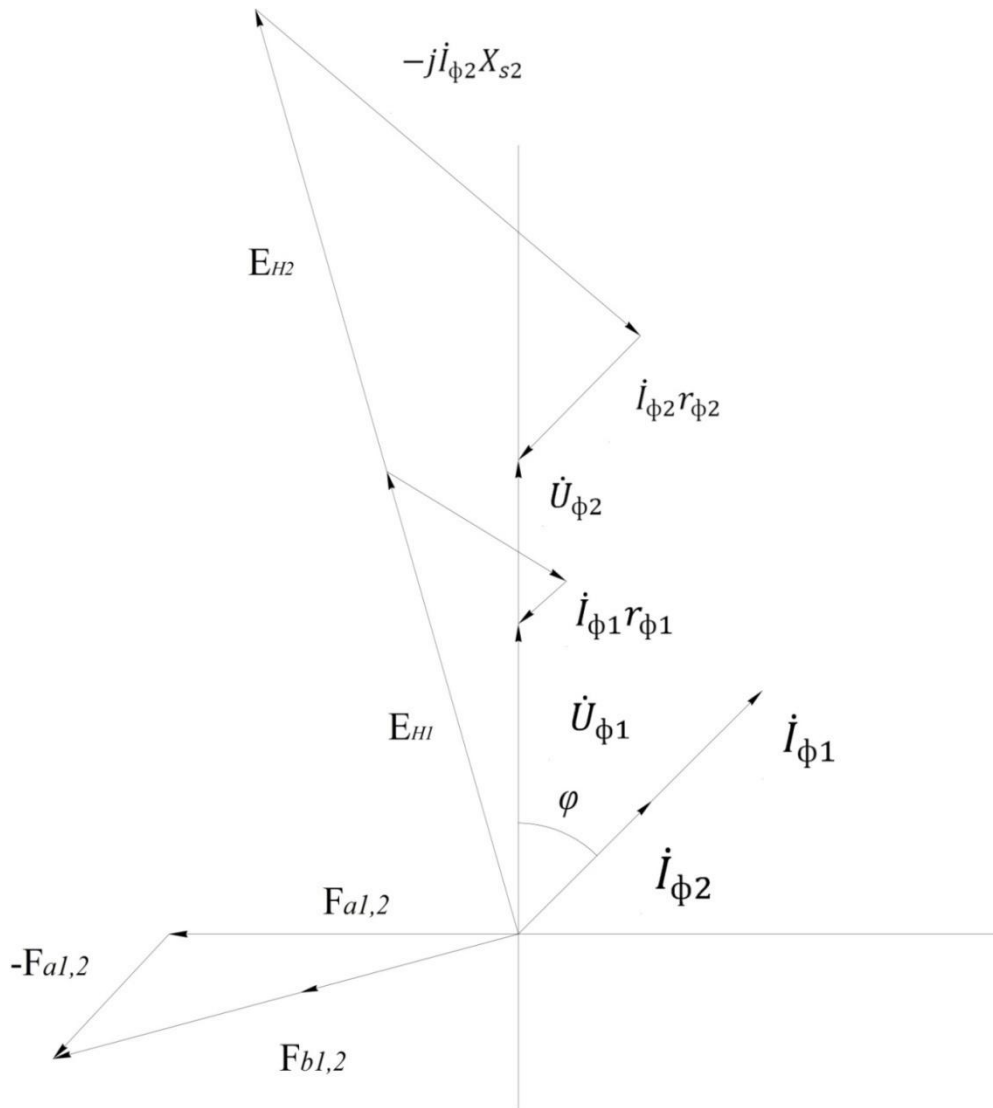


Рисунок 3.5 – Векторная диаграмма автомобильного генератора
 Индекс (1) соответствует исходной величине номинального напряжения.
 Индекс (2) соответствует удвоенной величине номинального напряжения.

Учитывая, что

$$I_d = \frac{C_I}{U_d}; X_s = C_S \cdot U_d^2; U_{\text{фр}} = K_U \cdot U_d \quad (3.37)$$

Получим

$$\gamma = \arccos \left[1 - \frac{2C_\gamma}{\sqrt{6}K_U} \right] = \text{const} \quad (3.38)$$

Из (3.35) с учетом (3.38) имеем $\text{tg} \varphi = \text{const}$; $\varphi = \text{const}$.

В связи с этим векторные диаграммы генераторов на различные уровни выходного напряжения будут подобными. Отношение величин одноименных

векторов будет равно отношению напряжений или чисел витков в фазе (рисунок 3.5).

Рассмотрим влияние напряжения на потери и КПД генератора.

1. Потери в меди обмотки статора

$$P_a = I_{\phi}^2 \cdot r_a \quad (3.39)$$

Используя зависимости фазного тока и активного сопротивления от напряжения, получим:

$$P_a = m \left(\frac{c_l}{W_{\phi}} \right) \cdot C_R'' \cdot W_{\phi}^2 = const \quad (3.40)$$

То есть потери в меди обмотки статора при выполнении условий сравнения не зависят от уровня номинального напряжения генератора и остаются постоянными.

2. Потери в меди обмотки возбуждения.

Согласно рисунку 3.5 при изменении выходного напряжения генератора н.с. обмотки возбуждения остается постоянной

$$F_B = I_B \cdot W_B = const \quad (3.41)$$

Принимая во внимание выражение для мощности $\left(P_B = \frac{U_B^2}{R_B} \right)$ и тока возбуждения $\left(I_B = \frac{U_B}{R_B} \right)$, получим

$$F_B = \frac{P_B \cdot W_B}{U_B} = const \quad (3.42)$$

Отсюда следует, что при постоянной величине F_B число витков обмотки возбуждения должно меняться пропорционально напряжению U_B или выходному напряжению генератора U_d . При этом мощность возбуждения остается неизменной, так как сопротивление.

Соотношения справедливы, если напряжение на обмотке возбуждения равно напряжению бортсети, т.е. $U_B \approx U_d$.

3. Потери в стали ярма статора [89]

$$P_{cc} = K_d \cdot p_{cc} \cdot G_c, Bm; \quad (3.43)$$

K_D – коэффициент, учитывающий дефекты обработки и неравномерность распределения индукции;

p_{cc} – коэффициент, учитывающий удельные потери и величину индукции в стали;

G_c – масса ярма.

При неизменных магнитных нагрузках и частоте вращения (условия сравнения) потери в ярме статора не зависят от напряжения.

4. Потери в стали зубцов статора

$$P_{cz} = K_D \cdot p_{cz} \cdot G_z, \text{ Вт}; \quad (3.44)$$

где p_{cz} – коэффициент, аналогичный p_{cc} , но для стали зубцов;

G_z – масса зубцов.

Как и в предыдущем случае, потери P_{cz} не зависят от напряжения U_d .

5. Добавочные потери.

В синхронных явнополюсных машинах добавочные потери холостого хода состоит в основном из поверхностных потерь в полюсных наконечниках

$$P_{пов} = 2p \cdot \tau \cdot \alpha_i \cdot l_p \cdot p_{пов}, \text{ Вт}; \quad (3.45)$$

где $\alpha_i = b_p / \tau$

b_p – ширина полюсов;

l_p – длина полюса;

$p_{пов}$ – удельные поверхностные потери.

Удельные потери

$$p_{пов} = K_{oc} \left(\frac{z \cdot n}{10000} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{B_0 \cdot t}{1000} \right)^2, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.46)$$

где K_{oc} – коэффициент, зависящий от сорта стали;

t – зубцовое деление статора;

z – число зубцов статора;

B_0 – амплитуда колебания индукции.

$$B_0 = \beta_0 \cdot K_\delta \cdot B_{\delta 0} \quad (3.47)$$

где β_0 – коэффициент, зависящий от конфигурации активной зоны.

Как следует из приведенных выражений, поверхностные потери определяются индукцией в зазоре и геометрическими размерами индуктора. При неизменном потоке в зазоре поверхностные поверхности холостого хода не зависят от напряжения генератора.

6. Кроме рассмотренных потерь в стали в синхронных явнополюсных машинах существуют еще добавочные сопротивления при нагрузке. В маломощных генераторах они невелики и обычно учитываются как доля (1...2 %) от номинальной мощности, т.е. не зависят от номинального напряжения.

7. Величина механических потерь не меняется, т.к. неизменной остается конструкция генератора и частота вращения ротора.

8. Потери в переходном контакте щеток зависят от марки щеток и плотности тока под ней. Если напряжение возбуждения генератора оставить неизменным, то ток возбуждения также будет постоянным ($I_{em} = \text{const}$) и потери в обмотке останутся на прежнем уровне.

При увеличении напряжения $U_B \equiv U_d$ ток возбуждения будет уменьшаться, но пропорционально U_B^2 будет увеличиваться сопротивление обмотки. Следовательно, если принять, что $U_e \approx U_d$, мощность возбуждения также останется неизменной ($P_e \approx \text{const}$).

9. Потери в выпрямителе по мере увеличения U_d будут уменьшаться. При сохранении элементной базы (диоды ВА20) уменьшение потерь будет происходить за счет снижения среднего тока через диод.

Таким образом, анализ показывает, что суммарные потери генератора при выполнении условий сравнения не зависят от U_d . Следовательно, коэффициент полезного действия генератора остается неизменным при всех уровнях напряжения в рассматриваемом диапазоне. КПД генераторной установки несколько увеличится за счет снижения потерь в выпрямителе.

Из всего сказанного выше можно сделать вывод, что при выполнении условий сравнения главные размеры и главный объем генератора при изменении

выходного напряжения в рассматриваемом диапазоне практически не изменяются.

Из всех рассмотренных коэффициентов, входящих в уравнения связи, напряжение U_d влияет только на коэффициент K_{I_6} . Рассмотрим изменение параметров цепи возбуждения в зависимости от номинального напряжения генератора.

В условиях эксплуатации напряжение на обмотке возбуждения меньше выходного напряжения за счет потерь напряжения на различных элементах цепи возбуждения.

Баланс напряжений в цепи возбуждения можно записать в следующем виде:

$$U_v = U_d - \Delta U_{д1} - \Delta U_{д2} - \Delta U_{рег} - \Delta U_{щ}, \quad (3.48)$$

где $\Delta U_{д1}$ и $\Delta U_{д2}$ - падение напряжения на двух последовательно включенных диодах схемы выпрямления;

$\Delta U_{рег}$ – падение напряжения в выходном каскаде регулятора напряжения;

$\Delta U_{щ}$ – падение напряжения в щеточном контакте.

Падением напряжения в подводящих проводах и теле щетки пренебрегаем.

Значения $\Delta U_{д1}$ и $\Delta U_{д2}$ зависят от типа вентиля и величины протекающего через него тока. Согласно [74,100,104], падение напряжения на диоде определяется уравнением:

$$\Delta U_{д} = U_0 + R_{д} \cdot i_{в}, \quad (3.49)$$

где U_0 – пороговое напряжение;

$R_{д}$ – динамическое сопротивление диода;

$i_{в}$ – ток диода.

Для вентилях ВА20 $U_0=1$ В, $R_{д}=0,003$ Ома [101]. Расчеты $\Delta U_{д}$ для различных напряжений и типов даны в таблице 3.3. Для анализа используем данные регулятора 17.3702 генератора 37.3701.

Падение напряжения в регуляторе определяется режимом работы выходного транзистора. В режиме отсечки сопротивление транзистора оставляет

несколько тысяч Ом, в режиме насыщения - оно минимально и составляет доли Ома. В среднем принимают [91] падение напряжения в регуляторе при использовании в выходных каскадах кремниевых транзисторов равными $\Delta U_{\text{рег}} = 1,7$ В, при использовании германиевых транзисторов [100,104] $\Delta U_{\text{рег}} \approx 0,9$ В.

Согласно техническим условиям ТУ 37.459.053-84, на регулятор 17.3702 падение напряжения между клеммой "Ш" и крышкой генератора, т.е. на двух параллельно включенных транзисторах выходного каскада в режиме насыщения транзисторов составляет $\Delta U_{\text{рег}} = 1,3$ В. Эту цифру принимаем для анализа, считая ее неизменной.

Падение напряжения в щёточном контакте $\Delta U_{\text{щ}}$ зависит от плотности тока под щёткой $j_{\text{щ}}$ и марки щётки. Зависимость $\Delta U_{\text{щ}} = f(j_{\text{щ}})$ нелинейна и индивидуальна для каждой марки щётки. Примем неизменной мощность потерь в обмотке возбуждения, тогда по мере увеличения напряжения U_d ток возбуждения должен пропорционально уменьшаться. При этом представляется целесообразным из условий обеспечения механической прочности щетки и всего узла токосъема не менять размеры щетки. В этом случае плотность под щёткой будет уменьшаться по мере увеличения U_d , соответственно будет меняться и $\Delta U_{\text{щ}}$. В таблице 3.3 представлены значения $\Delta U_{\text{щ}}$ для щетки марки ЭГ51, применяемой в генераторе 37.3701, определенные для различных U_d по ее статической вольт-амперной характеристике [105]. Если не изменять размеры щеточного аппарата так, чтобы $j_{\text{щ}} = \text{const}$, значение $\Delta U_{\text{щ}}$ будет неизменным.

В таблицах 3.3, 3.4 представлены результаты расчета параметров цепи возбуждения для различных значений выходного напряжения генератора. В начале (таблица 3.3) принималось, что мощность возбуждения $P_{\text{в}} = \text{const}$ и напряжение на обмотке возбуждения $U_{\text{в}} = U_d$. С увеличением U_d сечение и диаметр обмоточного провода уменьшается. В связи с этим [56] уменьшается коэффициент заполнения межполюсного окна медью обмотки возбуждения (K_{32}). Площадь S , необходимая для размещения обмотки возбуждения, увеличивается

(при $U_d = 48$ В примерно на 29% $S/S_1 = 1,29$). Для неизменной площади межполюсного окна S , т.е. при неизменных главных размерах генератора, число витков обмотки возбуждения приходится уменьшать пропорционально уменьшению K_{32} . При этом также уменьшается (по сравнению с данными таблицы 4.3) сопротивление обмотки возбуждения R_B .

Таблица 3.3 – Параметры цепи возбуждения при $U_B = U_d$ и $P_B = \text{const}$

| U_d , В | I_B , А | P_B , Вт | R_B , Ом | W_B | диаметр, мм | сечение, мм ² | K_{32} | S , мм ² | F_B , А | $\frac{S}{S_1}$ |
|--------------|--------------|---------------|---------------|-------|----------------|-----------------------------|----------|--------------------------|--------------|-----------------|
| 12 | 4 | 41,6 | 2,6 | 420 | 0,8 | 0,5026 | 0,52 | 406 | 1680 | 1 |
| 24 | 2 | 41,6 | 10,4 | 840 | 0,565 | 0,2513 | 0,46 | 459 | 1680 | 1,13 |
| 36 | 1,33 | 41,6 | 23,4 | 1260 | 0,462 | 0,1675 | 0,425 | 496 | 1680 | 1,22 |
| 48 | 1,0 | 41,6 | 41,6 | 1680 | 0,398 | 0,1246 | 0,41 | 526 | 1680 | 1,29 |

Одновременно с увеличением U_d растет напряжение на обмотке возбуждения U_B , причем растет быстрее, чем U_d .

Данные расчета параметров цепи возбуждения с учетом этих особенностей представлены в таблице 3.4.

Как следует из таблицы 3.4, с увеличением U_d намагничивающая сила обмотки возбуждения может быть увеличена (на 22,06 % при изменении U_d от 14 до 48 В), однако при этом растут потери в обмотке возбуждения почти в два раза (на 96 %). Целесообразность увеличения P_B должна быть определена тепловым расчетом.

Таблица 3.4 – Параметры цепи возбуждения при $U_B = f(U_d)$ и $P_B = \text{var}$

| U_d , В | I_d , А | $R_D \cdot I_d / 3$, В | $2\Delta U_D$, В | $j_{ш}$, А/см ² | $2\Delta U_{ш}$, В | $\Delta U_{пер}$, В | U_B , В | I_B , А | W_B | F_B , А | P_B , Вт |
|--------------|--------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|--------------|-------|--------------|---------------|
| 12 | 55 | 0,055 | 2,11 | 13 | 1,8 | 1,3 | 8,79 | 3,38 | 420 | 1419 | 29,7 |
| 24 | 32,1 | 0,032 | 2,064 | 7,58 | 1,58 | 1,3 | 19,06 | 2,07 | 743 | 1538 | 39,46 |
| 36 | 21,4 | 0,021 | 2,042 | 5,06 | 1,44 | 1,3 | 31,22 | 1,626 | 1032 | 1678 | 50,76 |
| 48 | 16 | 0,016 | 0,032 | 3,8 | 1,2 | 1,3 | 43,47 | 1,34 | 1302 | 1741 | 58,24 |

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. При выполнении условий сравнения изменение выходного напряжения генератора практически не влияет на его главные размеры и объем активных материалов.
2. Блок выпрямителя остается без изменения при любом уровне выходного напряжения в заданном диапазоне
3. КПД генераторной установки увеличится за счет снижения потерь в выпрямителе.
4. Векторные диаграммы ЭДС генераторов на различные уровни выходного напряжения подобны.
5. Параметры цепи возбуждения генератора зависят от уровня напряжения в цепи. При увеличении U_d максимальное значение намагничивающей силы обмотки возбуждения растет (при $U_d = 48$ В на 22,6%). Благодаря этому можно увеличить рабочий поток и мощность генератора, отдаваемую в нагрузку. Степень увеличения мощности зависит от параметров генератора и может быть определена электромагнитным расчетом.
6. При увеличении н.с. возбуждения с ростом U_d будут увеличиваться потери в обмотке возбуждения и, соответственно, нагрев активных частей генератора. В частности, при увеличении U_d от 14 В до 48 В потери в обмотке возбуждения увеличатся примерно вдвое.

3.1.3 Электропусковая система

Электропусковая система (ЭПС) автомобиля состоит из нескольких компонентов, таких как АКБ, стартерный электродвигатель, втягивающее реле стартера и т.п. Работа ЭПС происходит в значительно изменяющихся внешних климатических условиях, при широком диапазоне изменения момента сопротивления ДВС, частоты вращения коленвала, заряженности АКБ и т.д. Был

выбран расчетный анализ ЭПС для наиболее характерных её режимов. Рассматривались два режима работы ЭПС.

1. Режим, соответствующий холодному запуску ДВС автомобиля Lada Granta (момент сопротивления прокручивания коленвала ДВС $M_{\text{ДВС}} = 50$ нм, пусковая частота вращения коленвала $N_{\text{ДВС}} = 50$ мин⁻¹, минимальная температура пуска $T = -25^{\circ}\text{C}$, разряженность АБ $C_p = 25\%$).

2. Режим, соответствующий номинальной мощности стартера, установленного на автомобиле Lada Granta (номинальный момент на валу стартера $M_{\text{СТ}} = 10,5$ нм, номинальная частота вращения выходного вала стартера $N_{\text{СТ}} = 1125$ мин⁻¹, окружающая температура $T = +25^{\circ}\text{C}$, степень разряженности АБ $C_p = 0\%$).

Для анализа была разработана программа расчета ЭПС. Исходными данными служили:

1. Пусковая частота вращения ДВС,
2. момент сопротивления прокручиванию коленвала ДВС,
3. минимальная температура пуска,
4. число попыток пуска,
5. продолжительность одной попытки пуска,
6. степень разряженности АКБ,
7. передаточное отношение стартер-ДВС,
8. передаточное отношение редуктора стартера,
9. число полюсов электродвигателя стартера,
10. конструктивный коэффициент, характеризующий отношение полной массы стартера к массе активных материалов стартерного электродвигателя,
11. номинальное напряжение пуска.

Расчет проводился при одинаковых магнитных нагрузках электродвигателей, что позволило исключить влияние изменения магнитной нагрузки на результаты расчета, учитывалось снижение мощности стартера при

работе за счет увеличения сопротивления стартера в результате нагрева. Вольтамперные характеристики АКБ рассчитывались по методике, изложенной в [15].

Необходимая емкость АКБ подбиралась исходя из условия обеспечения заданной мощности ЭПС при определенной частоте вращения стартера. Для исключения влияния фактора неоптимальности параметров ЭПС при изменении номинального напряжения проводилась оптимизация пусковой системы по минимуму массы. Параметрами оптимизации были выбраны:

- емкость АКБ,
- число пазов электродвигателя стартера,
- число витков секции обмотки якоря электродвигателя,
- диаметр пакета якоря электродвигателя стартера.

В качестве независимых величин были приняты:

- конструктивный коэффициент,
- магнитная индукция в зазоре стартерного электродвигателя,
- коэффициент полезного действия электродвигателя,
- коэффициент заполнения паза электродвигателя медью обмотки.

Целевой функцией оптимизации являлась суммарная масса аккумуляторной батареи и стартера. Масса АКБ определялась по аппроксимирующей эмпирической зависимости веса батареи от её ёмкости и напряжения [44]. Полученная формула позволяет приближенно вычислить массу АКБ любой емкости и напряжения.

Результаты расчета электропусковой системы двигателя на различные уровни напряжения сведены в таблицах 3.4, 3.5. Необходимо отметить, что результаты расчета первого и второго режимов работы ЭПС существенно различаются, что говорит о том, что каждому режиму работы ЭПС соответствует свое оптимальное сочетание параметров системы, и расчет ЭПС необходимо проводить для наиболее тяжелого режима работы системы.

По результатам расчета ЭПС на различные номиналы напряжения можно проследить следующие закономерности:

1. Масса электродвигателя стартера практически не зависит от номинального напряжения. Вариация массы в пределах $\pm 5\%$ может быть вызвана:

а) изменением теплового режима работы стартера (изменение плотности тока в обмотке якоря);

б) дискретностью изменения параметров оптимизации;

в) погрешностью расчета.

2. С ростом номинального значения напряжения пуска увеличивается число активных проводников обмотки якоря.

3. Так как ток якоря стартера с ростом номинального напряжения снижается, то при сохранении размеров щеточно-контактного узла плотность тока под щетками уменьшается, что должно несколько компенсировать ухудшения коммутации, вызванное ростом числа активных проводников обмотки якоря.

4. С увеличением напряжения емкость, необходимая для обеспечения заданной мощности ЭПС, уменьшается, причем это уменьшение происходит наиболее быстро при изменении напряжения до 18 В (рисунок 3.6).

5. Наибольшее снижение массы аккумуляторной батареи наблюдается при увеличении номинального напряжения до 24 В, при дальнейшем увеличении напряжения масса АКБ меняется незначительно.

6. Рациональное значение номинального напряжения зависит от режима работы, на который рассчитывалась ЭПС, так для первого режима система достигает оптимума уже при 18 В, а для второго режима - при 30 В.

Таким образом, можно констатировать, что увеличение номинального напряжения до определенного уровня (18 В для первого режима и 20 В - для второго) приведет к снижению массы ЭПС на (12...18)%. При дальнейшем увеличении номинального напряжения выигрыша в массе системы не будет.

Таблица 3.5 – Зависимость параметров электропусковой системы от номинального напряжения для режима холодного запуска ДВС

| Номинальное напряжение пуска (В) | Емкость АКБ (А·ч) | Ток стартера (А) | Напряжение АКБ в режиме пуска (В) | Плотность тока в обмотке стартера (А/мм ²) | Число пазов якоря стартера | Число витков в секции обмотки якоря | Масса АКБ (кг) | Масса стартера (кг) | Масса ЭПС (кг) |
|----------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| 12 | 24 | 83 | 7,2 | 3,6 | 17 | 1 | 7,0 | 3,5 | 10,5 |
| 18 | 14 | 51 | 10,4 | 4,4 | 9 | 3 | 6,0 | 3,4 | 9,4 |
| 24 | 10 | 38 | 13,6 | 4,4 | 19 | 2 | 5,8 | 3,4 | 9,2 |
| 30 | 8 | 30 | 17,2 | 5,4 | 9 | 5 | 5,8 | 3,5 | 9,3 |
| 36 | 7 | 25 | 21,4 | 7,5 | 19 | 3 | 6,0 | 3,3 | 9,3 |
| 42 | 6 | 21 | 25,0 | 7,6 | 17 | 4 | 6,0 | 3,3 | 9,3 |
| 48 | 5 | 18 | 27,7 | 6,1 | 13 | 6 | 6,0 | 3,3 | 9,3 |

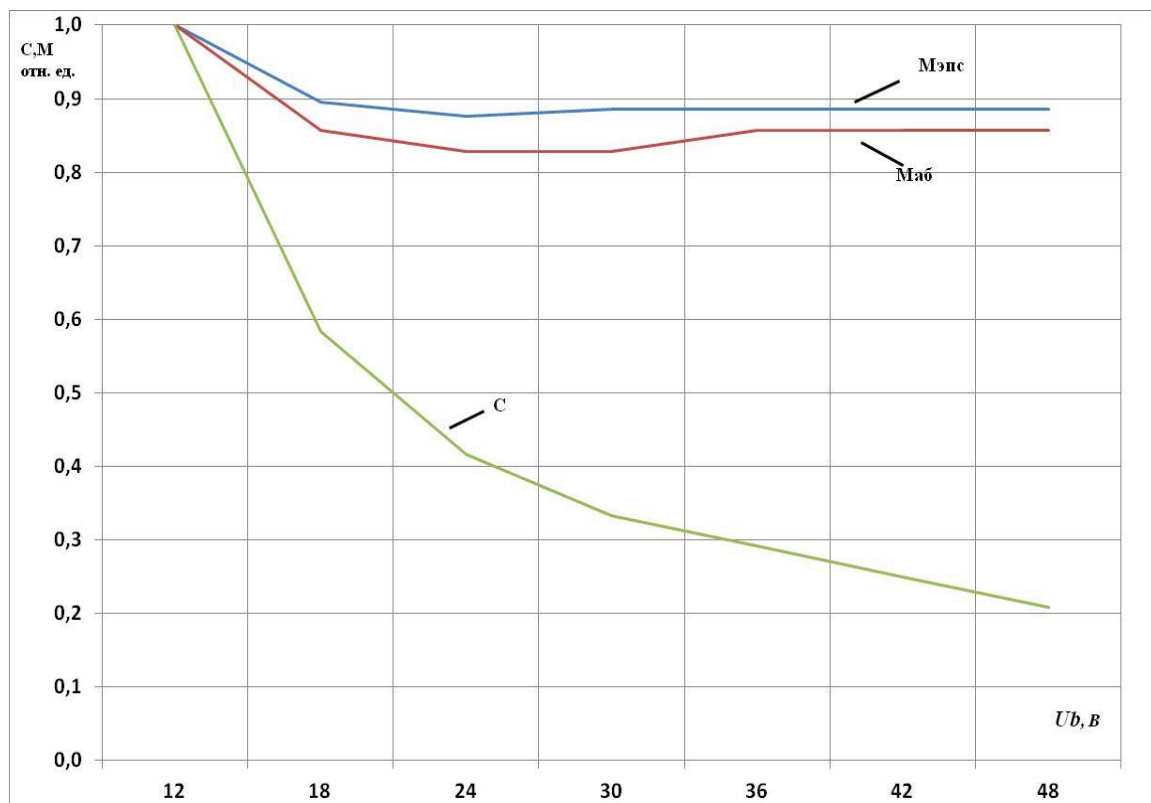


Рисунок 3.6 – Зависимость параметров ЭПС от номинального напряжения для режима холодного запуска ДВС

(Мэпс – масса ЭПС, Маб – масса АКБ, С – емкость АКБ)

Таблица 3.6 – Зависимость параметров электропусковой системы от номинального напряжения для номинального режима работы стартера

| Номинальное напряжение пуска (В) | Емкость АКБ (А·ч) | Ток стартера (А) | Напряжение АКБ в режиме пуска (В) | Плотность тока в обмотке стартера (А/мм ²) | Число пазов якоря стартера | Число витков в секции обмотки якоря | Масса АКБ (кг) | Масса стартера (кг) | Масса ЭПС (кг) |
|----------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|----------------|---------------------|----------------|
| 12 | 44 | 390 | 7,5 | 8,4 | 17 | 1 | 14,0 | 3,8 | 17,8 |
| 18 | 25 | 240 | 10,6 | 8,9 | 7 | 3 | 12,0 | 3,8 | 15,8 |
| 24 | 18 | 180 | 14,0 | 8,1 | 19 | 2 | 11,5 | 3,8 | 15,3 |
| 30 | 14 | 140 | 17,2 | 7,7 | 7 | 7 | 11,0 | 3,8 | 14,8 |
| 36 | 12 | 120 | 21,0 | 10,9 | 7 | 7 | 11,5 | 3,5 | 15,0 |
| 42 | 10 | 100 | 24,0 | 9,8 | 7 | 8 | 11,0 | 3,6 | 14,6 |
| 48 | 9 | 85 | 28,4 | 11,6 | 11 | 6 | 11,5 | 3,5 | 15,0 |

3.2 Вспомогательное оборудование

3.2.1 Электродвигатели вспомогательных систем

Номенклатура электродвигателей, применяемых в настоящее время в бортовых системах автомобилей, достаточно велика. Она включает в себя двигатели мощностью от нескольких Вт до нескольких сотен Вт, причем работают они как в длительных, так и в кратковременных режимах. В подавляющем большинстве это коллекторные машины с возбуждением от постоянных магнитов или от электромагнитов с серийным или шунтовым включением обмоток.

Примем для анализа, что при любом напряжении питания должны оставаться постоянными:

- мощность на валу электродвигателя (P_2);
- частота вращения в номинальном режиме (n_H);
- момент на валу электродвигателя (M_2).

Объем активной части коллекторных электродвигателей определяется так называемой машинной постоянной [31]

$$C = \frac{D_i^2 \cdot l_i \cdot n}{P_{\text{Э}}} = \frac{6,1 \cdot 10^6}{\alpha_i \cdot A_a \cdot B_{\delta}}, \quad (3.50)$$

где D_i – диаметр якоря,

l_i – расчетная длина якоря,

n – скорость вращения (частота вращения в пространстве),

$P_{\text{Э}}$ – электромагнитная мощность двигателя,

α_i – коэффициент полюсной дуги,

A_a – линейная токовая нагрузка в якоре,

B_{δ} – магнитная индукция в воздушном зазоре.

В уравнение непосредственно не входит напряжение питания.

Для выявления влияния напряжения питания на эксплуатационные характеристики двигателей проведена серия расчетов характеристик и геометрических расчетов электродвигателей на разное напряжение питания с одинаковыми номинальными значениями выходных параметров.

Были выполнены электромагнитные расчеты электродвигателей мощностью 5, 35 и 110 Вт. Электродвигатель на 5 Вт рассчитывался с возбуждением от постоянных магнитов с серийным электромагнитным возбуждением. Остальные – только с возбуждением от постоянных магнитов.

В таблицах 3.7, 3.8 представлены данные расчета двигателей мощностью 35 Вт с возбуждением от постоянных магнитов при шести значениях номинального напряжения питания в диапазоне 12...48 В. На рисунках 3.7, 3.8 построены рабочие характеристики этих двигателей.

Как показывают расчеты, зависимость эксплуатационных показателей двигателей от напряжения незначительна. С повышением напряжения наблюдается монотонное и очень небольшое уменьшение удельного объема, не превышающее во всем диапазоне 7% от значения при напряжении 12 В, в том же соотношении увеличиваются с повышением напряжения частота вращения и КПД двигателя. Внешние габариты двигателей остаются неизменными.

Таблица 3.7 – Расчетные параметры электродвигателей

| Наименование параметра | Значение параметра при напряжении, В | | | | | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 |
| Мощность P_2 , Вт | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| ЭДС якоря E , В | 9 | 13,5 | 18 | 18 | 27 | 31,5 | 35 |
| Индукция в зазоре B_6 , Тл | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| Рабочая индукция магнита B_m , Тл | 0,308 | 0,308 | 0,308 | 0,308 | 0,308 | 0,308 | 0,308 |
| Число проводников якоря | 543 | 814 | 1086 | 1086 | 1629 | 1901 | 2073 |
| Площадь паза, m^2 | $49 \cdot 10^{-6}$ | $47 \cdot 10^{-6}$ | $49 \cdot 10^{-6}$ | $49 \cdot 10^{-6}$ | $48 \cdot 10^{-6}$ | $50 \cdot 10^{-6}$ | $51 \cdot 10^{-6}$ |
| Сопротивление обмотки якоря, Ом | 0,479 | 1,078 | 1,918 | 1,918 | 4,314 | 5,874 | 7,675 |
| Ширина зоны коммутации B_k , м | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 |
| Плотность тока под щетками, A/m^2 | 96619 | 64412 | 48309 | 48309 | 32206 | 27605 | 24154 |
| Диаметр якоря D_a , м | 0,0418 | 0,0418 | 0,0418 | 0,0418 | 0,0418 | 0,0418 | 0,0418 |
| Длина пакета якоря, м | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| Полюсное деление, м | 0,0657 | 0,0657 | 0,0657 | 0,0657 | 0,0657 | 0,0657 | 0,0657 |
| Длина корпуса эл. двигателя, м | 0,0886 | 0,0886 | 0,0886 | 0,0886 | 0,0886 | 0,0886 | 0,0886 |
| Толщина корпуса эл. двигателя, м | 0,0018 | 0,0018 | 0,0018 | 0,0018 | 0,0018 | 0,0018 | 0,0018 |
| Диаметр изолир. провода якоря, м | $77 \cdot 10^{-5}$ | $61,5 \cdot 10^{-5}$ | $54,5 \cdot 10^{-5}$ | $54,5 \cdot 10^{-5}$ | $44 \cdot 10^{-5}$ | $41,5 \cdot 10^{-5}$ | $39,5 \cdot 10^{-5}$ |
| Зубцовое деление, м | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 | 0,0109 |
| Диаметр коллектора, м | 0,0188 | 0,0188 | 0,0188 | 0,0188 | 0,0188 | 0,0188 | 0,0188 |
| Шаг обмотки якоря | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 |
| Длина коллектора, м | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 | 0,0095 |
| Осевая длина магнита, м | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,029 | 0,029 |
| Масса стали сердечника якоря, кг | 0,047 | 0,0528 | 0,047 | 0,047 | 0,049 | 0,045 | 0,0408 |
| Масса стали зубцов якоря, кг | 0,113 | 0,109 | 0,1135 | 0,1135 | 0,111 | 0,1147 | 0,1177 |
| Масса меди обмотки якоря, кг | 0,153 | 0,146 | 0,153 | 0,153 | 0,149 | 0,1555 | 0,161 |
| Масса коллектора, кг | 0,0225 | 0,0225 | 0,0225 | 0,0225 | 0,0225 | 0,0225 | 0,0225 |
| Масса якоря, кг | 0,336 | 0,331 | 0,336 | 0,336 | 0,333 | 0,338 | 0,342 |
| Потери в сердечнике, Вт | 0,228 | 0,237 | 0,242 | 0,242 | 0,247 | 0,248 | 0,249 |
| Потери в зубцах, Вт | 0,907 | 0,917 | 0,969 | 0,969 | 0,974 | 1,007 | 1,037 |
| Потери в щетках, Вт | 0,757 | 0,778 | 0,789 | 0,789 | 0,8005 | 0,8036 | 0,806 |
| Потери в подшипниках, Вт | 3,137 | 3,181 | 3,27 | 3,27 | 3,294 | 3,348 | 3,4 |
| Потери на трение о воздух, Вт | 0,11 | 0,12 | 0,125 | 0,125 | 0,131 | 0,132 | 0,133 |
| Удельный объем | 8,5809 | 8,282 | 8,176 | 8,176 | 8,0372 | 8,0221 | 8,0156 |

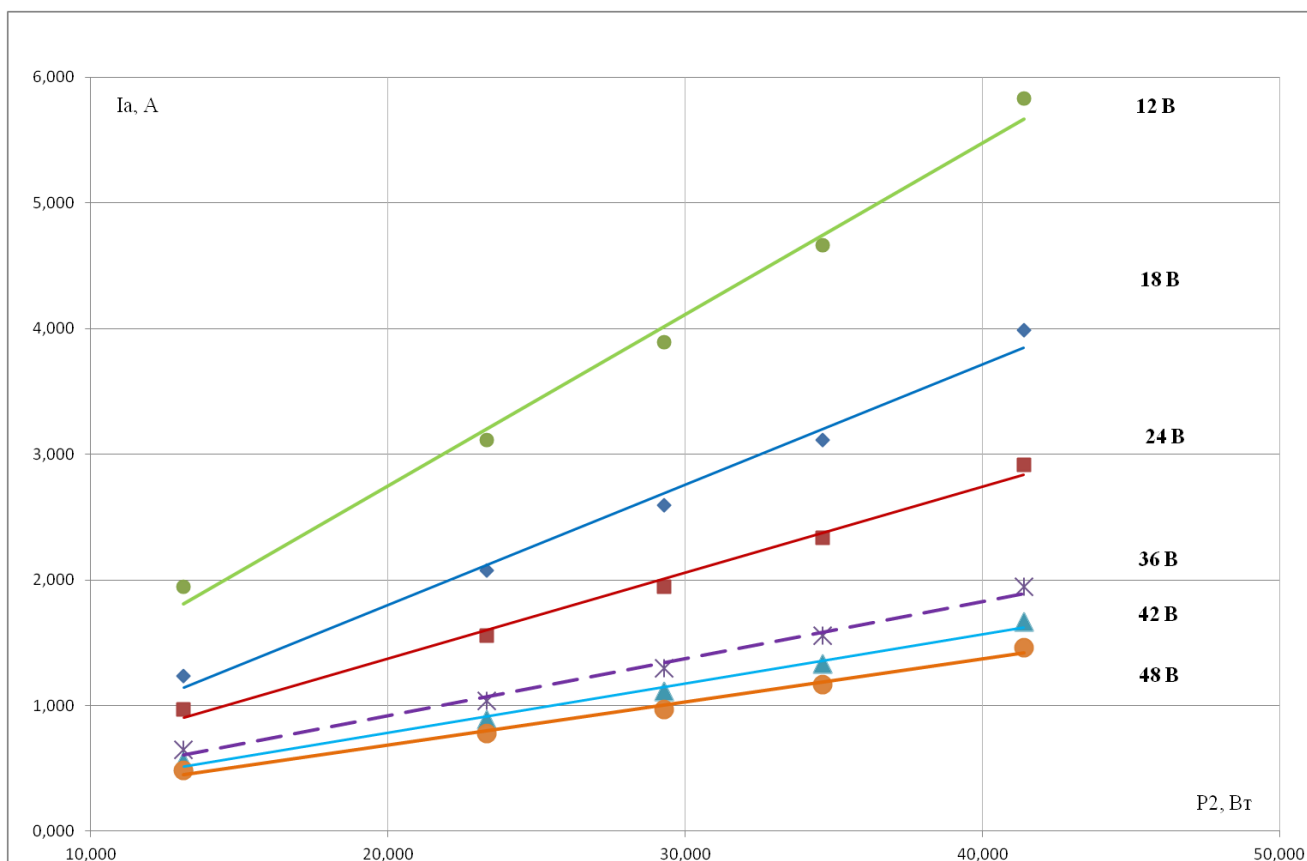


Рисунок 3.7 – Рабочие характеристики электродвигателей мощностью 35 Вт с возбуждением от постоянных магнитов при шести значениях номинального напряжения питания в диапазоне 12...48 В

Нужно отметить, что для электродвигателей с различным напряжением питания щеточно-коллекторный узел принимался неизменным. Это вносит погрешность в анализ, но оправдано на наш взгляд тем, что в реальном производстве эти узлы, как правило, унифицированы для двигателей нескольких номиналов. Основная же причина заключается в том, что уменьшение габаритов контактного узла с повышением напряжения нецелесообразно из условий обеспечения коммутационной надежности. С повышением напряжения условия коммутации ухудшаются, так как растет суммарная ЭДС самоиндукции секции из-за увеличения числа ее витков [39]. Следовательно, повышается износ щеток и уменьшается ресурс их работы. Это в определенной степени может быть скомпенсировано уменьшением плотности тока под щеткой, что и происходит, если при разных напряжениях сечение щетки оставить неизменным.

Таблица 3.8 – Рабочие характеристики электродвигателей

| U = 12 В | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| I _a | А | 1,944 | 3,111 | 3,889 | 4,667 | 5,833 |
| U _a | В | 0,932 | 1,492 | 1,865 | 2,238 | 2,797 |
| U _ш | В | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| U _a + U _ш | В | 1,732 | 2,292 | 2,665 | 3,038 | 3,597 |
| Е | В | 10,270 | 9,708 | 9,335 | 8,962 | 8,403 |
| Φ _б | Вб | 3,314E-04 | 3,314E-04 | 3,314E-04 | 3,314E-04 | 3,314E-04 |
| n | МИН ⁻¹ | 3423,000 | 3236,000 | 3112,000 | 2987,000 | 2801,000 |
| P _{эл} | Вт | 3,369 | 7,130 | 10,360 | 14,180 | 20,980 |
| P _{ст} | Вт | 1,314 | 1,206 | 1,136 | 1,068 | 0,970 |
| P _{мех} | Вт | 4,432 | 4,175 | 4,006 | 3,838 | 3,587 |
| P | Вт | 10,210 | 14,010 | 17,370 | 21,370 | 28,600 |
| P ₁ | Вт | 23,330 | 37,330 | 46,670 | 56,000 | 70,000 |
| P ₂ | Вт | 1,313 | 23,320 | 29,300 | 34,630 | 41,400 |
| КПД | | 0,525 | 0,628 | 0,628 | 0,618 | 0,591 |
| U = 18 В | | | | | | |
| I _a | А | 1,236 | 2,074 | 2,593 | 3,111 | 3,989 |
| U _a | В | 1,398 | 2,237 | 2,796 | 3,355 | 4,194 |
| U _ш | В | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| U _a + U _ш | В | 2,198 | 3,037 | 3,596 | 4,155 | 4,994 |
| Е | В | 15,800 | 14,960 | 14,400 | 13,340 | 13,010 |
| Φ _б | Вб | 3,315E-04 | 3,315E-04 | 3,315E-04 | 3,315E-04 | 3,315E-04 |
| n | МИН ⁻¹ | 3512,000 | 3325,000 | 3201,000 | 3077,000 | 2890,000 |
| P _{эл} | Вт | 2,849 | 6,299 | 9,323 | 12,930 | 19,420 |
| P _{ст} | Вт | 1,332 | 1,224 | 1,155 | 1,088 | 0,990 |
| P _{мех} | Вт | 4,504 | 4,249 | 4,081 | 3,914 | 3,665 |
| P | Вт | 9,727 | 13,190 | 16,310 | 20,080 | 26,970 |
| P ₁ | Вт | 23,330 | 37,330 | 46,670 | 56,000 | 70,000 |
| P ₂ | Вт | 13,610 | 24,150 | 30,360 | 35,920 | 43,030 |
| КПД | | 0,583 | 0,647 | 0,651 | 0,641 | 0,615 |
| U = 24 В | | | | | | |
| I _a | А | 0,972 | 1,556 | 1,944 | 2,333 | 2,917 |
| U _a | В | 1,865 | 2,984 | 3,730 | 4,476 | 5,594 |
| U _ш | В | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| U _a + U _ш | В | 2,665 | 3,784 | 4,530 | 5,276 | 6,394 |
| Е | В | 21,340 | 20,220 | 19,470 | 18,720 | 17,610 |
| Φ _б | Вб | 3,313E-04 | 3,313E-04 | 3,313E-04 | 3,313E-04 | 3,313E-04 |
| n | МИН ⁻¹ | 3556,000 | 3369,000 | 3245,000 | 3121,000 | 2934,000 |
| P _{эл} | Вт | 2,591 | 5,886 | 8,808 | 12,310 | 18,650 |
| P _{ст} | Вт | 1,395 | 1,284 | 1,212 | 1,142 | 1,041 |

| | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $P_{\text{мех}}$ | Вт | 4,619 | 4,361 | 4,190 | 4,020 | 3,768 |
| P | Вт | 9,638 | 12,910 | 15,910 | 19,570 | 26,270 |
| P_1 | Вт | 23,330 | 37,330 | 46,670 | 56,000 | 70,000 |
| P_2 | Вт | 13,700 | 24,420 | 37,500 | 36,430 | 43,730 |
| КПД | | 0,587 | 0,654 | 0,659 | 0,651 | 0,625 |
| $U = 36 \text{ В}$ | | | | | | |
| I_a | А | 0,648 | 1,037 | 1,296 | 1,556 | 1,944 |
| U_a | В | 2,797 | 4,475 | 5,593 | 6,712 | 8,390 |
| $U_{\text{ш}}$ | В | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| $U_a + U_{\text{ш}}$ | В | 3,597 | 5,275 | 6,393 | 7,512 | 9,190 |
| E | В | 32,400 | 30,730 | 29,610 | 28,490 | 26,810 |
| Φ_6 | Вб | 3,314E-04 | 3,314E-04 | 3,314E-04 | 3,314E-04 | 3,314E-04 |
| n | мин ⁻¹ | 3600,000 | 3414,000 | 3290,000 | 3165,000 | 2979,000 |
| $P_{\text{эл}}$ | Вт | 2,331 | 5,470 | 8,288 | 11,690 | 17,870 |
| $P_{\text{ст}}$ | Вт | 1,404 | 1,293 | 1,221 | 1,152 | 1,051 |
| $P_{\text{мех}}$ | Вт | 4,654 | 4,396 | 4,226 | 4,057 | 3,805 |
| P | Вт | 9,395 | 1,250 | 1,538 | 1,892 | 2,545 |
| P_1 | Вт | 23,330 | 37,330 | 46,670 | 56,000 | 70,000 |
| P_2 | Вт | 13,940 | 24,840 | 31,280 | 37,080 | 44,550 |
| КПД | | 0,597 | 0,654 | 0,659 | 0,651 | 0,625 |
| $U = 42 \text{ В}$ | | | | | | |
| I_a | А | 0,556 | 0,889 | 1,111 | 1,333 | 1,667 |
| U_a | В | 3,264 | 5,222 | 6,528 | 7,833 | 9,791 |
| $U_{\text{ш}}$ | В | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| $U_a + U_{\text{ш}}$ | В | 4,064 | 6,022 | 7,328 | 8,633 | 10,591 |
| E | В | 37,940 | 35,980 | 34,670 | 33,370 | 31,410 |
| Φ_6 | Вб | 3,313E-04 | 3,313E-04 | 3,313E-04 | 3,313E-04 | 3,313E-04 |
| n | мин ⁻¹ | 3613,000 | 3426,000 | 3302,000 | 3178,000 | 2991,000 |
| $P_{\text{эл}}$ | Вт | 2,258 | 5,353 | 8,142 | 1,151 | 1,765 |
| $P_{\text{ст}}$ | Вт | 1,443 | 1,329 | 1,256 | 1,184 | 1,080 |
| $P_{\text{мех}}$ | Вт | 4,717 | 4,457 | 4,285 | 4,114 | 3,860 |
| P | Вт | 9,427 | 12,480 | 15,320 | 18,830 | 25,300 |
| P_1 | Вт | 23,330 | 37,330 | 46,670 | 56,000 | 70,000 |
| P_2 | Вт | 13,910 | 24,860 | 31,340 | 37,170 | 44,700 |
| КПД | | 0,596 | 0,666 | 0,672 | 0,664 | 0,639 |
| $U = 48 \text{ В}$ | | | | | | |
| I_a | А | 0,486 | 0,778 | 0,972 | 1,167 | 1,458 |
| U_a | В | 3,731 | 5,970 | 7,462 | 8,955 | 11,190 |
| $U_{\text{ш}}$ | В | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 | 0,800 |
| $U_a + U_{\text{ш}}$ | В | 4,531 | 6,770 | 8,262 | 9,755 | 11,990 |
| E | В | 43,470 | 41,230 | 39,740 | 38,250 | 36,010 |

| | | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Φ_6 | Вб | 3,312E-04 | 3,312E-04 | 3,312E-04 | 3,312E-04 | 3,312E-04 |
| n | мин ⁻¹ | 3622,000 | 3436,000 | 3311,000 | 3187,000 | 3001,000 |
| $P_{эл}$ | Вт | 2,203 | 5,266 | 8,033 | 11,380 | 17,490 |
| $P_{ст}$ | Вт | 1,478 | 1,362 | 1,287 | 1,214 | 1,108 |
| $P_{мех}$ | Вт | 4,776 | 4,514 | 4,340 | 4,168 | 3,911 |
| P | Вт | 9,472 | 12,480 | 15,300 | 18,770 | 25,210 |
| P_1 | Вт | 23,330 | 37,330 | 46,670 | 56,000 | 70,000 |
| P_2 | Вт | 13,860 | 24,860 | 31,370 | 37,230 | 44,790 |
| КПД | | 0,594 | 0,666 | 0,672 | 0,665 | 0,640 |

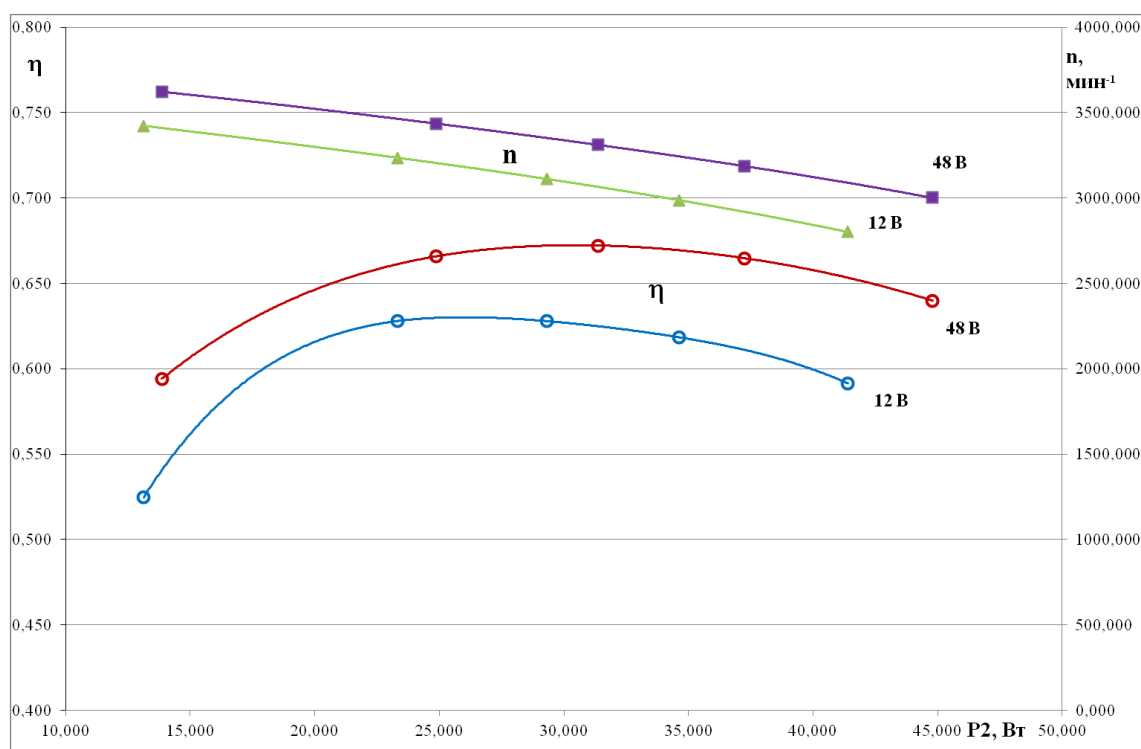


Рисунок 3.8 – Рабочие характеристики электродвигателей

В таблице 3.9 представлены результаты расчетов двигателей мощностью 5 Вт с возбуждением от постоянных магнитов и серийным электромагнитным возбуждением, а также двигателя мощностью 110 Вт с возбуждением от постоянных магнитов. Данные таблицы 3.9 подтверждают несущественность влияния напряжения на массу и габариты двигателей. В последнем столбце таблицы 3.9 даны значения объема активной части двигателей при различных напряжениях. Колебания объемов для магнитоэлектрических двигателей объясняется несколько разными значениями электромагнитных нагрузок.

Таблица 3.9 – Расчетные параметры электродвигателей

| U _н , В | P _н , Вт | n _н , мин ⁻¹ | 2 р | возбужд | D _i , мм | l _i , мм | δ, мм | n | Z | j, A мм ² | r ₂ , Ом | B _z , Тл | B _{сз} , Тл | B _{с1} , Тл | η | M ₂ , Н·м | V _{акт} , см ³ |
|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|-------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|----------------------|---------------------|----------------|----------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| 24 48 | 5 5 | 4000 4000 | 2 2 | ПМ ПМ | 24 25 | 24 25 | 0,25 0,25 | 1600 2503 | 9 9 | 8,52 6,5 | 14,5 31,8 | 1,4 1,14 | 0,87 1,71 | 1,29 1,04 | 0,38 0,368 | 1,28 0,87 | 14,0 15,5 |
| 12 24 48 | 110 110 110 | 1600 1600 1600 | 2 2 2 | ПМ ПМ ПМ | 65 65 65 | 65 70 65 | 0,25 0,25 1,0 | 336 546 1357 | 21 21 21 | 2,8 3,23 2,89 | 0,11 0,45 1,86 | 1,25 1,56 1,45 | 1,2 1,28 1,59 | 1,44 1,0 1,12 | 0,68 0,697 0,744 | 0,65 0,649 0,7 | 216 225 216 |
| 12 24 48 | 5 5 5 | 4000 4000 4000 | 2 2 2 | сериес. сериес. сериес. | 32 28 26 | 29 28 26 | 0,25 0,25 0,25 | 533 1080 2433 | 9 9 9 | 7,2 7,0 5,57 | 1,8 5,05 23,8 | 1,48 1,41 1,47 | 1,1 0,56 0,88 | 1,0 1,02 1,19 | 0,3 0,58 0,327 | 1,45 1,29 1,32 | 29,8 22,0 17,5 |

Для двигателей с сериесным возбуждением заметна устойчивая тенденция снижения активного объема при повышении напряжения, хотя и здесь электромагнитные загрузки электродвигателей несколько различны.

Таким образом, расчеты показывают, что активные размеры электродвигателей с возбуждением от постоянных магнитов практически мало зависят от уровня номинального напряжения. У двигателей с сериесным электромагнитным возбуждением объем активных материалов при повышении напряжения снижается. Однако с ростом напряжения коммутационная надежность коллекторно-щеточного узла становится ниже.

3.2.2 Коммутационная аппаратура

Катушки реле. Анализ влияния величины номинального напряжения на массо-габаритные показатели электромагнитов был проведен на примере тягового реле статора. Исходными параметрами при расчете были выбраны:

- начальное тяговое усилие;
- ход якоря электромагнита;
- относительное время включения реле;
- максимально допустимая температура обмотки реле.

Неизменным был выбран тип магнитной системы, тепловой режим. Расчет параметров реле был проведен классическим методом [9] с элементами оптимизации. Результаты расчета электромагнитов на различные уровни напряжения приведены в таблице 3.10.

Исходя из результатов расчета, можно сделать вывод о том, что масса реле с увеличением напряжения растет вследствие уменьшения коэффициента заполнения окна катушки, но так как при изменении напряжения с 6 до 48 В коэффициент заполнения уменьшается лишь на 5 %, можно констатировать, что величина напряжения в рассматриваемом диапазоне практически мало влияет на массу реле.

Таблица 3.10 – Зависимость параметров втягивающего реле от номинального напряжения

| Номинальное напряжение (В) | Магнитная индукция в зазоре, (Тл) | Количество витков катушки | Коэффициент заполнения обмотки | Ток реле, (А) | Масса реле, (кг) |
|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------|------------------|
| 12 | 1,35 | 268 | 0,44 | 16,2 | 0,40 |
| 18 | 1,35 | 398 | 0,44 | 10,9 | 0,41 |
| 24 | 1,35 | 527 | 0,43 | 8,2 | 0,41 |
| 30 | 1,35 | 654 | 0,42 | 6,6 | 0,41 |
| 36 | 1,35 | 780 | 0,42 | 5,6 | 0,41 |
| 42 | 1,35 | 906 | 0,41 | 4,8 | 0,41 |
| 48 | 1,35 | 1030 | 0,41 | 4,2 | 0,41 |

По таблице 3.10 видно, что с повышением напряжения пропорционально увеличивается число витков обмотки реле и, соответственно, уменьшается диаметр провода обмотки. Для маломощных реле, катушки которых намотаны проводом малого диаметра, повышение номинала напряжения приведет к увеличению габаритов и массы катушек.

Контакты. В современном автомобиле число электрических контактов измеряется многими десятками. Принято различать [96, 97] соединительные, служащие только для проведения тока, и коммутирующие контакты, на которые дополнительно возлагается задача отключения или переключения электрических цепей.

Для соединительных контактов характерно разделение на взаимно неподвижные неразъемные (пайка, сварка, болтовые соединения), взаимно

подвижные (скользящие и катящиеся) и разъемные (штепсельные гнезда, разъемы и т.п.).

Коммутирующие (или разрывные) контакты составляют основную, наиболее многочисленную группу электрических соединений. Они используются в различного рода аппаратах (реле, контакторы, выключатели и т.п.) с механическим или электрическим приводом в маломощных и силовых цепях постоянного и переменного тока.

В автомобильных бортовых системах насчитываются десятки различных типов реле, переключателей с одной или несколькими контактными парами, рассчитанными на токи от долей ампера до нескольких десятков и сотен ампер. Надежность их работы во многом определяет эксплуатационные показатели всей бортовой сети автомобиля.

Электрические коммутационные контакты должны обеспечивать:

- высокую износостойкость;
- надежное размыкание и замыкание электрической цепи;
- требуемый ресурс работы в заданных условиях эксплуатации.

Рассмотрим влияние изменения номинального напряжения бортовой сети на работу коммутирующих контактов.

Работоспособность контактов определяется физическими процессами, происходящими в межконтактном промежутке. Процессы эти весьма сложны и зависят от многих факторов [80].

Электрические разряды, которые возникают на контактах при замыкании и размыкании, являются главной причиной двух основных видов разрушения контактов: химического (коррозия) связанного с окислением и другими реакциями материала контактов с окружающей газовой средой при высокой температуре контактных площадок, и физического (эрозии), вызванного плавлением, испарением, распылением материала контактов [82].

Коррозия контактов обычно приводит к образованию на их поверхности непроводящих или обладающих большим сопротивлением пленок (оксидные,

полимерные, сульфидные, углеродистые и др.), которые вызывают частичное или полное нарушение электрической проводимости контактов.

Эрозия обычно сопровождается переносом металла с одного контакта на другой и особенно заметно проявляется при коммутации постоянного тока.

Наличие тех или иных видов износа во многом определяется стадией газового разряда в межэлектродном промежутке, которая, в свою очередь, зависит от величины коммутирующей мощности, тока, протекающего через контакты в данный момент времени, и от напряжения на контактах.

На рисинке 3.9 а представлена диаграмма областей коммутации различных нагрузок [82].

Участок, заключенный между предельной вольтамперной характеристикой контакта и осями координат, разбит на ряд областей, обозначенных цифрами 0...VII, в которых происходят разного рода физические явления, приводящие к разному износу поверхностей контактов.

Область I ограничена сверху напряжением пробоя ($U_{пр}$), при котором напряженность поля достаточна для ударной ионизации в газе и происходит пробой газового промежутка. Справа область ограничена предельными значениями так называемых токов низкого уровня [30], величина которых ориентировочно колеблется в пределах

$$I_{00} \approx 10^{-8} \dots 6 \cdot 10^{-2}.$$

Снизу область ограничена минимальным напряжением возникновения дуги U_0 . Величина этого напряжения зависит от материала контактов [82] и колеблется в пределах $U_0=11\dots 20$ В.

В области I эрозия контактов отсутствует.

При коммутации низких уровней токов и напряжения надежность контактов обычно меньше, чем при коммутации обычных нагрузок [30, 82] вследствие образования на поверхности контактов изоляционных пленок (коррозии), которые не пробиваются и не прожигаются напряжениями и токами низких уровней. Кроме того в этих режимах коммутации наблюдается холодное сваривание

контактов, обусловленное их притиркой при проскальзывании и повышенным падением напряжения на контактах (из-за наличия пленки), превышающим напряжение размягчения (рекомбинации) или плавления материала контактов.

В автомобильных цепях коммутации низких уровней тока и напряжения встречаются редко и не являются определяющими при проведении анализа.

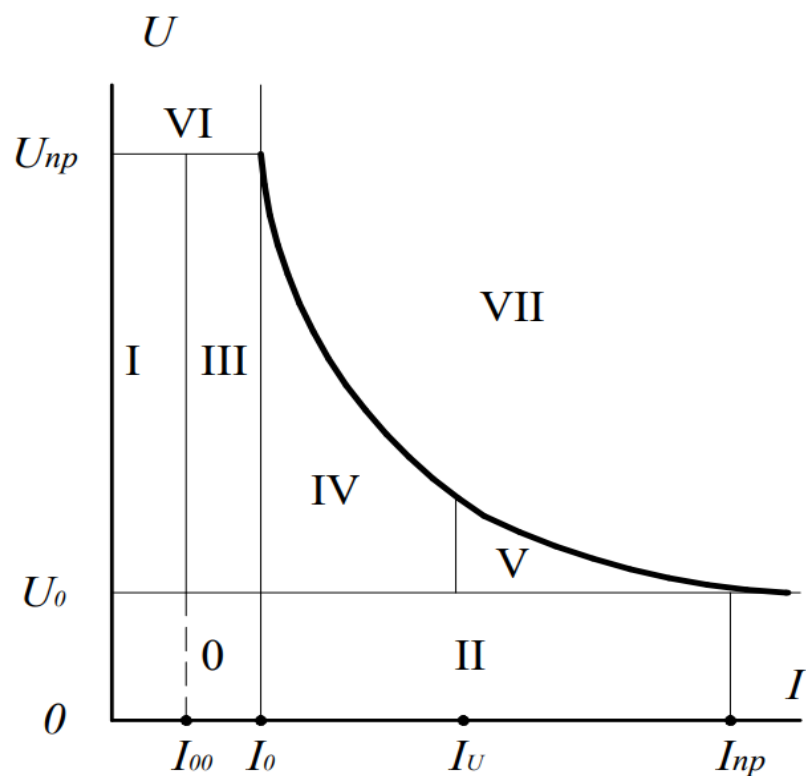
Область II характеризуется низкими напряжениями и токами в пределах от I_0 - тока возникновения дуги до предельно допустимого тока ($I_{пр}$). Ток I_0 также, как и U_0 , индивидуален для каждой контактной пары и находится в пределах $I_0=0,38...1,0$ А для наиболее употребительных контактных материалов [82]. Предельный ток является предельно допустимым током для данного контакта из условий его допустимого нагрева [95].

Он зависит от конкретных условий эксплуатации, параметров нагрузки и конструктивных особенностей коммутационного аппарата.

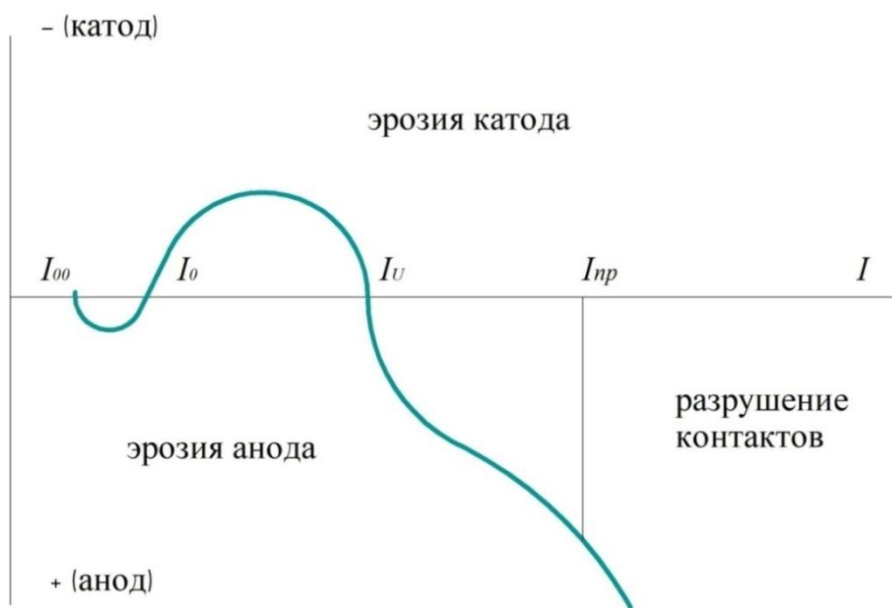
В области II наблюдается перешейковый (мостиковый) перенос материала контактов.

При коммутации активной нагрузки, тока ниже I_0 и напряжении выше U_0 эрозия обусловлено в основном плавлением контактных точек и вытягиванием жидких перешейков при размыкании контактов с последующим разрывом или испарением перешейков в виде взрыва с образованием пара, положительных ионов и электронов. Перешейки образуются при токе более 10 мА. При перешейковой эрозии на катоде образуется нарост, на аноде – кратер.

Область III ($I_0 < I < I_{пр}$; $U < U_0$) также характеризуется мостиковой формой коммутации, кроме того в этой области наблюдаются так называемые короткие дуги. Это кратковременные переходные дуговые разряды длительностью примерно 10^{-5} с, вызывающие перенос металла с анода на катод. Дуга малой продолжительности может возникнуть и при токе ниже I_0 , если поверхность контактов «активирована» пленками органического происхождения типа сажи. Предельный ток дугообразования при этом снижается до $0,1...0,03$ А.



а)



б)

Рисунок 3.9 – Диаграмма областей коммутации различных нагрузок (а) и характер износа контактов (б)

В области IV ($U_0 < U < U_{np}$; $I_0 < I < I_N$) между контактами наряду с явлением мостикового переноса наблюдается дуговой разряд, т.к. электроны, вырванные электрическим полем с катода, имеют достаточную энергию для интенсивной

ионизации молекул газа между электродами. Ионы газа бомбардируют катод, вызывая эрозию. Потери металла пропорциональны количеству электричества, протекающего через дугу, т.е. примерно пропорциональны коммутирующему току. Термическое действие дуги дает дополнительную эрозию, материал контактов разбрызгивается и испаряется. На контактах возникают значительные наросты и кратеры, их форма резко изменяется.

Длительность горения дуги зависит от коммутируемых токов и напряжений, индуктивности нагрузки, материала контактов, расстояния между ними и скорости их расхождения. Минимальный ток дугообразования I_0 – в значительной мере условная величина, так как зависит от состояния газовой среды (влажность, температура) поверхности контактов и ее «активации».

В области V ($I_n < I < I_{пр}$; $U_0 < U < U_{пр}$) также происходит дуговой разряд между электродами. Это область мощной дуги, развивающейся из жидкого металлического перешейка. I_n – ток инверсии. Он соответствует изменению напряжения переноса металла. При токе более I_n наблюдается термическое воздействие плазмы дуги на анод, что приводит к его преимущественному износу (по сравнению с катодом).

Область VI ($U > U_{пр}$; $I < I_0$) характерна искровым разрядом между электродами. Искровой разряд возникает в результате пробоя междуэлектронного промежутка при напряжении $U_n > 300$ В, давлении порядка атмосферного и тока ниже I_0 . Высокое напряжение при искровом разряде разрушает пленки на поверхности контактов, способствует их самозачистке. Отказы контактирования при очень малых коммутируемых токах и значительном напряжении носят единичный характер.

Область VII. Между контактами горит мощная негаснущая дуга. При $I > I_n$ – износ анода, при $I > I_0$ – износ катода. На рисунке 3.9 б показан характер эрозии контактов в зависимости от тока при $U > U_0$. При токах низких уровней (ниже I_{00}) эрозия контактов практически отсутствует. При коммутации токов в пределах от I_{00} до I_0 (область перешейкового переноса) наблюдается износ анода. При токе I_0

происходит инверсия переноса металла контактов. Это значение тока соответствует переходу области перешейкового переноса в область дуговых разрядов, при которых происходит износ катода. Эта точка инверсии является границей разделения маломощных контактов на слаботочные и среднезагруженные. При дальнейшем увеличении тока преобладающее действие термической дуги на анод приводит к новому изменению направления переноса металла. Эта вторая точка инверсии соответствует току $I_n = 10 \dots 20$ А и является границей разделения контактов на средне- и высокозагруженные (сильноточные). При коммутации тока $I \geq I_{пр}$ (предельного) происходит полное разрушение контактов.

Наиболее вероятными режимами работы бортовой коммутирующей аппаратуры являются режимы, соответствующие областям коммутации II, III, IV, V.

Работоспособность контактов определяется в первую очередь их износостойкостью. Под износостойкостью понимают число коммутаций, которые могут выполнить контакты без отказов при допустимом числе сбоев и номинальной нагрузке.

Отказом считается любое нарушение функций контактов (незамыкание или незамыкание).

Износостойкость контактов реле определяется в основном степенью и характером их эрозии, которая зависит как от конструктивных параметров реле и окружающих условий, так и от характера и величины нагрузки.

Для определения износостойкости проводят испытания большой выборки реле с последующей математической обработкой результатов.

Износостойкость контактов реле в сильной степени зависит от разрывной мощности. По мере увеличения этой мощности износостойкость резко уменьшается. На рисунке 3.10 представлены кривые зависимости минимальной (N_{min}), наиболее вероятной (N_{cp}) и максимальной (N_{max}) износостойкости контактов реле РЭС 9 и РЭС10 от величины коммутируемой мощности.

Технические характеристики реле даны в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Технические характеристики реле

| Тип | Число контактов | Мощность срабатывания, Вт | коммутируемые | | | Число коммутаций |
|-------|-----------------|---------------------------|---------------|---------------|--------------|------------------|
| | | | Ток, А | Напряжение, В | Мощность, Вт | |
| РЭС9 | 2 | 0,45 | 2,0 | 32,0 | 64,0 | 10^5 |
| РЭС10 | 1 | 0,31 | 2,0 | 36,0 | 72,0 | 10^5 |
| РЭС47 | 2 | 0,35 | 1,0 | 34,0 | 34,0 | $5 \cdot 10^4$ |
| РЭС48 | 2 | 0,32 | 2,0 | 36,0 | 72,0 | 10^5 |
| РЭС49 | 1 | 0,12 | 1,0 | 36,0 | 36,0 | 10^5 |
| РПС32 | 2 | 0,51 | 2,0 | 34,0 | 68,0 | 10^5 |

При увеличении коммутируемой мощности от 10 до 150 Вт, т.е. примерно от 15 до 23% номинального значения, износостойкость реле уменьшается на 3...4 порядка.

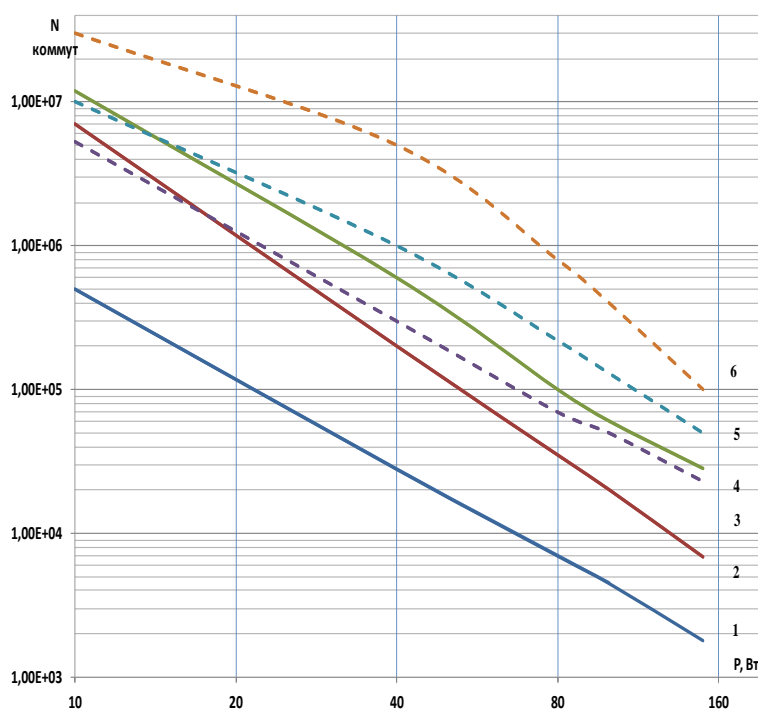


Рисунок 3.10 – Зависимость износостойкости контактов реле типов РЭС9 и РЭС10 от величины коммутируемой мощности

- 1 - N_{\min} РЭС9, 2 - N_{cp} РЭС9,
 3 - N_{\max} РЭС9, 4 - N_{\min} РЭС10,
 5 - N_{cp} РЭС10, 6 - N_{\max} РЭС10.

При неизменной разрывной мощности связь между током и напряжением контактной пары носит примерно гиперболический характер [95]. Гипербола имеет ограничения, определяемые значениями: U_m – предельно допустимого для данной контактной пары напряжения сети, $I_{пр}$ – предельно допустимого из условия нагрева контактов значения тока.

Износостойкость контактов может быть определена по приближенным формулам:

$$N \approx \frac{N_0}{p^\beta}; N_{min} \approx \frac{5.2 \cdot 10^8}{p^2}; N_{ср} \approx \frac{1.3 \cdot 10^{10}}{p^{\frac{5}{2}}}. \quad (3.51)$$

Формулы действительны для одного уровня напряжения (30 В). При других напряжениях характер эрозии будет изменяться, что, конечно, отразится на износостойкости контактов.

Увеличивая напряжение при данной контактной системе, мы приближаемся к напряжению пробоя $U_{пр}$. При этом возможен переход из одной области контактирования в другую, например, из области V в область IV, из области IV в область III (рисунок 3.9 а). Это ведет к изменению процессов в межэлектродном промежутке и изменению характера эрозионных процессов в связи с инверсией переноса металла электродов.

В режимах коммутации, связанных с перешейковым износом, и коммутации токов и напряжений низких уровней число отказов контактов, по данным [82], невелико. Причиной ограничения износостойкости в этих областях является не столько эрозия контактов, сколько снижение сопротивления изоляции реле по следующим причинам:

- распыление металла контактов и осаждение его на изоляционных промежутках;
- неполное сгорание летучих органических веществ, выделяемых изоляцией, наблюдаемое обычно при токах 0,1...0,5 А и напряжении 30...36 В для указанных в таблице 3.11. типов реле.

Обильное стгорание органических летучих и термическое распыление материалов контактов при токах обычно более 0,5 А.

В дуговых режимах коммутации (области IV иV) стгорание органических летучих в пламени дуги увеличивает интенсивность отказов. Это объясняется снижением предельных значений токов и напряжений дугообразования при «активации» поверхности контактов, усилением процессов эрозии и распыления материала контактов.

Таким образом, износостойкость понижается с увеличением коммутирующего тока. Для указанных реле она характеризуется зависимостями типа:

$$N = \frac{N_1}{I^\alpha}, \quad (3.52)$$

где N_1 – износостойкость при нормальном токе;

I – ток через контакты;

α - показатель степени, определяемый экспериментальным путем. Для реле РЭС9 и РЭС10 $\alpha \approx 3$.

Для ряда реле зарубежного производства коэффициент $\alpha \approx 2 \dots 3,3$.

На рисунке 3.11 показана зависимость износостойкости от кратности тока для различных значений α [30].

Кривые построены для герметичных миниатюрных реле при активной нагрузке, напряжении 28 В и частоте коммутаций 29 имп/мин по данным зарубежных фирм.

Из этих кривых следует, что при уменьшении номинального коммутируемого тока в два раза износостойкость может увеличиваться в десять или пять раз, при таком же увеличении тока получим соответственно десяти или пятикратное снижение износостойкости.

Однако ряд фирм при увеличении номинального тока в два раза дает более значительное уменьшение износостойкости – до 100 коммутаций.

Нижний предел коммутируемого тока обычно равен 0,1 А, т.к. при токе менее 0,1 А количество сбоев значительно возрастает вследствие отложения углеродистых осадков на рабочей поверхности контактов [30].

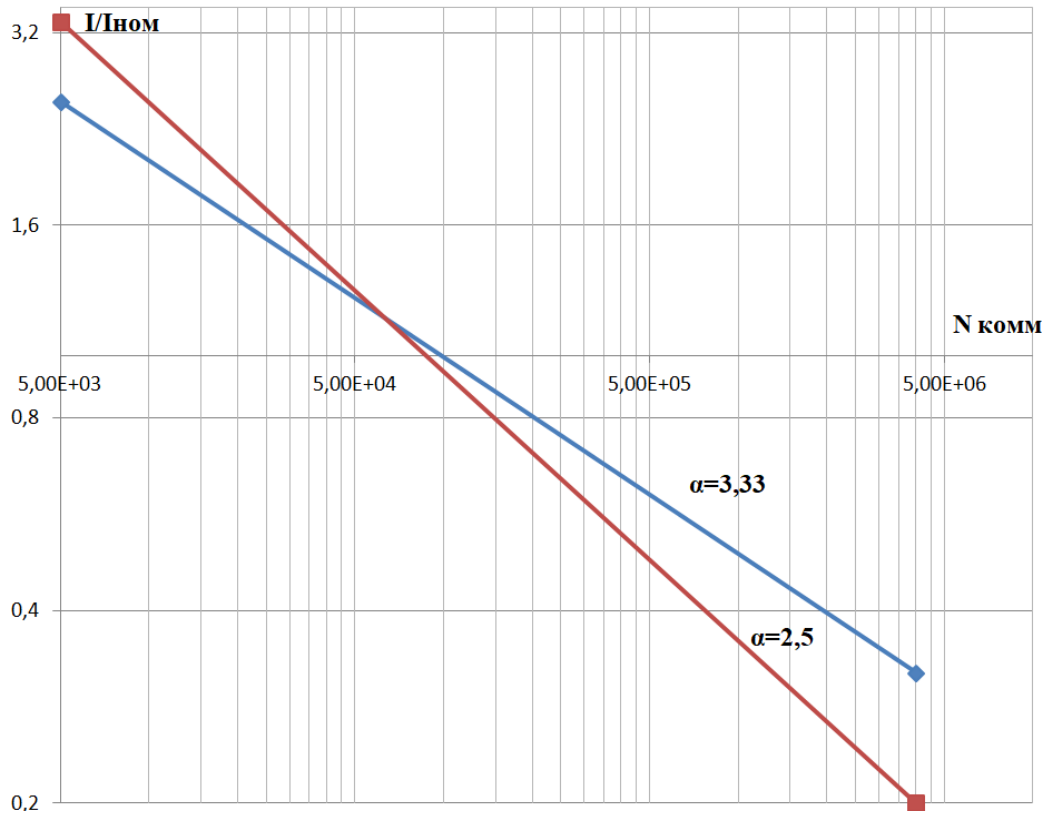


Рисунок 3.11 – Зависимость износостойкости контактов миниатюрных герметичных реле от кратности номинального тока нагрузки

Для сильноточных аппаратов износ контактов также увеличивается с ростом тока [29]. На рисунке 3.12 показана зависимость износа от тока для контактов, коммутирующих токи до 600 А при напряжении 220 В. В начале при токах до 100 А износ контактов возрастает быстро, при больших токах износ замедляется, что связано с действием собственного магнитного поля в контактах, выдувающего дугу из межконтактного промежутка.

При постоянной разрывной мощности по мере увеличения напряжения ток через контакты соответственно снижается. Несмотря на это, износостойкость контактов по мере увеличения напряжения уменьшается.

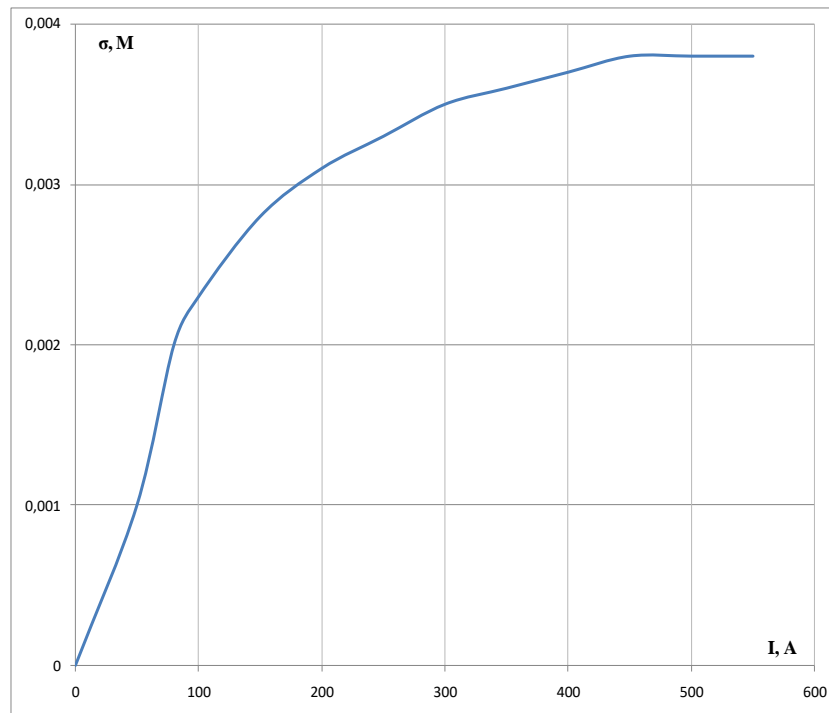


Рисунок 3.12 – Зависимость износа контактов от тока

На рисунке 3.13 показаны зависимости номинальных значений коммутируемого постоянного тока от величины напряжения при активной нагрузке по данным иностранных фирм [30]. Напряжение менялось от 28 до 300 В. Кривая 1 относится к микроминиатюрным герметичным реле на два переключателя 2 А 30 В с массой около 4 г, штриховая линия показана для нагрузки 1 А 30 В. Кривая 2 относится к миниатюрным герметичным реле на 2 А 28 В, имеющим массу около 20 г. Кривые 3, 4 относятся к реле на 2 и 4 переключения, 5 и 10 А, 30 В, имеющим массы 40 и 80 г.

Зависимость износа контактов от напряжения для мощных аппаратов показана на рисунке 3.14. Ток, протекающий через контакты, равен 100 А, напряжение менялось от 0 до 220 В. При напряжении примерно до 100 В износ быстро возрастает с увеличением напряжения. Затем этот рост несколько замедляется. Износ связан со значительно большим по мере увеличения напряжения временем пребывания дуги в щели между контактами [29].

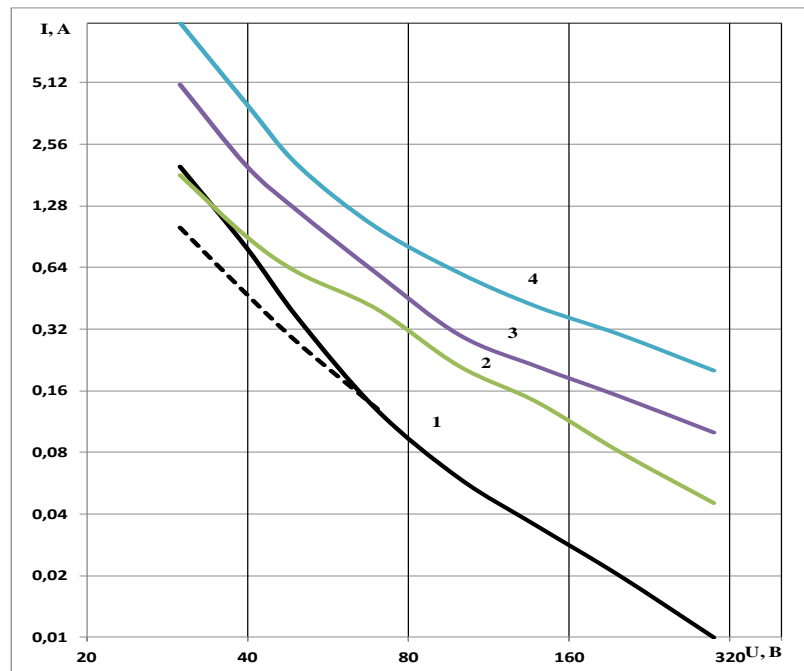


Рисунок 3.13 – Зависимость номинальных значений коммутируемого постоянного тока от величины напряжения

1 – микроминиатюрное реле массой около 4 г;

2- миниатюрное реле массой около 20 г;

3 – миниатюрное реле массой 30...40 г;

4 – миниатюрные и малогабаритные реле массой около 40 и 80 г.

С увеличением напряжения в сети при сохранении износостойкости контактов на заданном уровне размыкаемая мощность должна быть уменьшена. На рисунке 3.15 показана зависимость размыкаемой мощности от напряжения сети для реле, указанных на рисунке 3.13. Как следует, влияние напряжения на величину допустимой мощности размыкания весьма значительно. При увеличении напряжения от 30 до 60 В допустимая мощность для различных типов реле уменьшается в 3-5 раз.

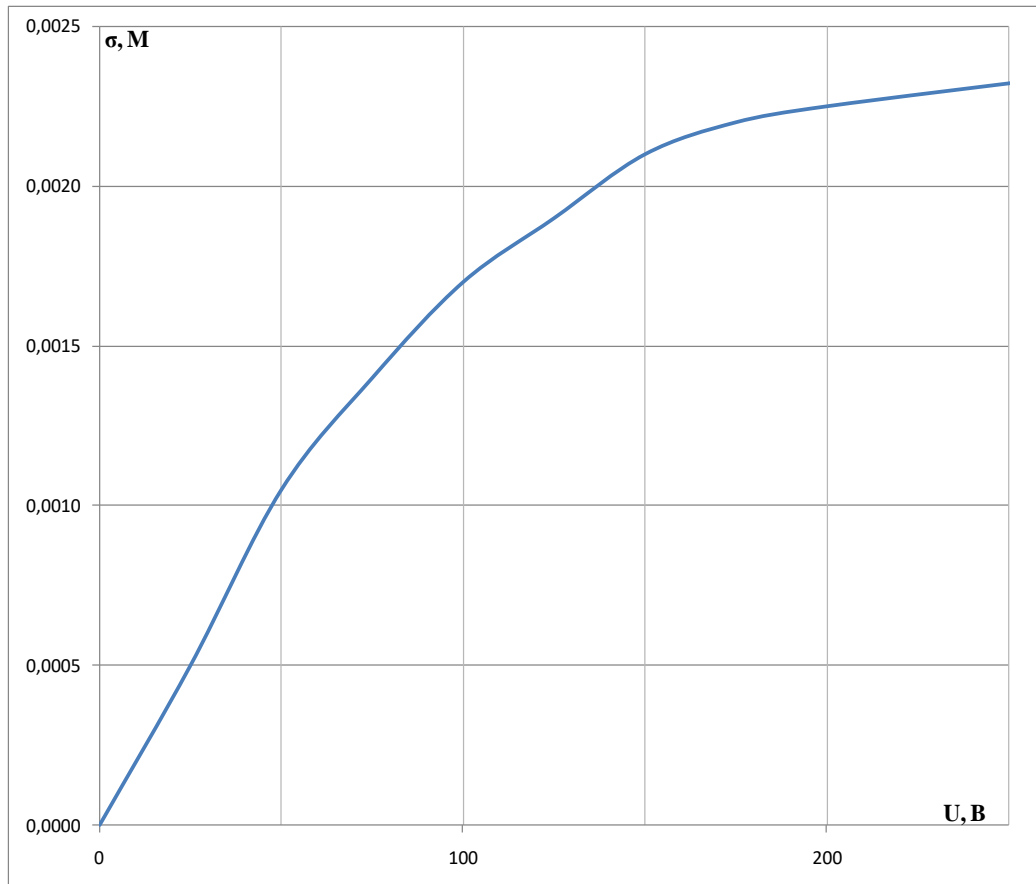


Рисунок 3.14 – Зависимость износов контактов от напряжения

Таким образом, износ коммутируемых контактов увеличивается как при увеличении тока, так и при увеличении напряжения. Исходя из этого, можно предположить, что существует рациональное значение как коммутируемого тока, так и напряжения цепи. Очевидно, что такими наиболее соответствующими являются номинальные значения тока и напряжения, определенные из минимальной величины эрозии в данных конкретных условиях.

Так как расчет эрозионных процессов с достаточной степенью достоверности пока невозможен, определение рациональных значений параметров цепи коммутации возможно только экспериментальным путем.

Если перенести приведенные здесь результаты экспериментальных исследований на автомобильные реле, то можно предположить следующее.

При повышении напряжения от 12 до 48 В, т.е. в 4 раза, допустимые токи контактов должны быть уменьшены (согласно рисунку 3.12) в 12...50 раз в зависимости от типа реле.

Размыкаемая мощность должна быть уменьшена (согласно рисунку 3.12) в 3...12 раз.

Повышение коммутируемого тока сверх номинального в 2,5...3,5 раза ведет к снижению износостойкости контактов более чем на порядок.

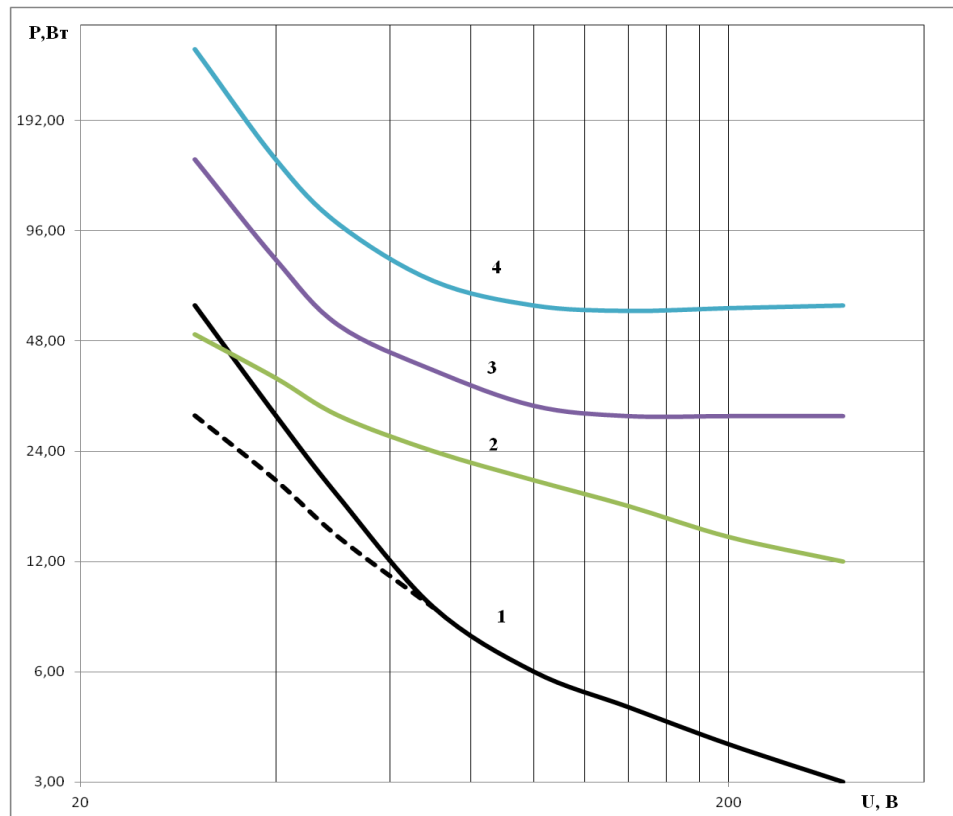


Рисунок 3.15 – Зависимость номинальных значений коммутируемой постоянной мощности от величины напряжения

- 1 – микроминиатюрное реле массой около 4 г;
- 2 – миниатюрное реле массой около 20 г;
- 3 – миниатюрное реле массой 30...40 г;
- 4 – миниатюрные и малогабаритные реле массой около 40 и 80 г.

При коммутации индуктивных нагрузок повышение тока оказывает еще большее влияние на снижение износостойкости контактов, т.к. растет длительность горения дуги и эрозия контактов. Рекомендуется [82] при коммутации индуктивных нагрузок уменьшать коммутируемый ток по сравнению с активной нагрузкой ориентировочно в 2...10 раз, причем коэффициент

снижения увеличивается по мере увеличения постоянной времени нагрузки и уменьшения массы реле.

Конструктивные параметры электрических контактов выбирают из условий надежного гашения дуги, возникающей при размыкании цепи. На рис. 3.16 изображено семейство вольт-амперных характеристик для различных длин дуги и характеристика внешней цепи ($U-IR$), где U – напряжение сети; IR – падение напряжения во внешней цепи. Согласно [85], точки пересечения 1...7 этих характеристик дают режимы устойчивого горения дуги с различными длинами. По мере удлинения дуги ее характеристика смещается вверх. В результате ток устойчивой дуги уменьшается до величины, соответствующей точке 7 касания характеристики с прямой $U-IR$. В следующий момент напряжение будет недостаточным для горения и дуга погаснет.

Таким образом, условие гашения дуги состоит в том, что характеристика внешней цепи должна проходить ниже вольт-амперной характеристики дуги при ее длине, соответствующей раствору контактов конкретного аппарата. Условие размыкания без дуги состоит в том, что характеристика внешней цепи должна проходить ниже вольт-амперной характеристики дуги с нулевой длиной.

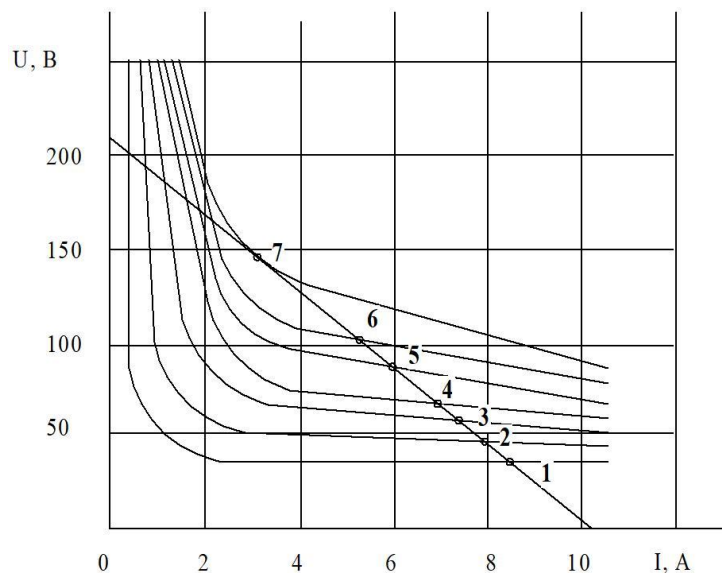


Рисунок 3.16 – Вольт-амперные характеристики для различных длин дуги и характеристика внешней цепи ($U - IR$)

Согласно [85] такое положение имеет место при напряжениях до 30 В, а при больших напряжениях – только в случае отключения сравнительно малых токов (не более 0,5 А при напряжении 110 В).

Таким образом, для надежного отключения цепи с конкретными параметрами необходим вполне определенный раствор контактов. Уменьшение раствора до величины ниже необходимой или изменение параметров внешней цепи может привести к нарушению условий гашения и неотключению цепи (возникновению при отключении устойчивой негаснущей дуги).

Для иллюстрации этого на рисунке 3.17 показана вольт-амперная характеристика дуги (1) и характеристика внешней цепи (2), взаимное расположение которых соответствует условиям гашения цепи. Если при неизменной мощности сети увеличить напряжение, то характеристика цепи будет изображаться прямой (3).

Прямая (3) пересекает вольт-амперную характеристику дуги 1 и в точке А будет существовать режим устойчивого горения дуги. Чтобы погасить дугу при повышенном напряжении сети, необходимо вольт-амперную характеристику дуги сместить вверх, т.е. удлинить дугу за счет увеличения раствора контактов (кривая 4).

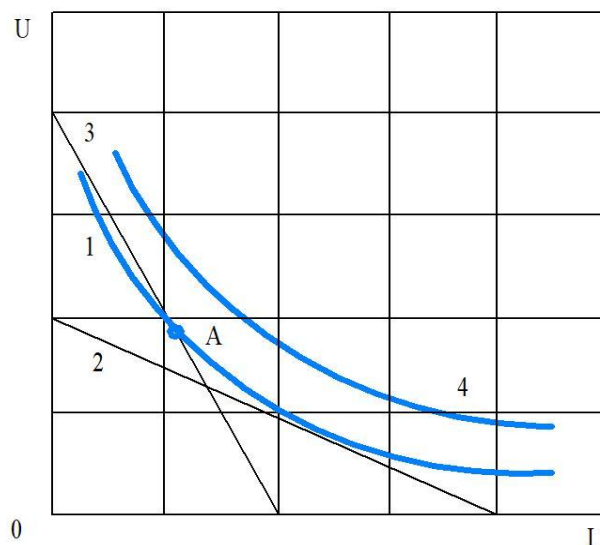


Рисунок 3.17 – Вольт-амперные характеристики дуги и характеристика внешней цепи, взаимное расположение которых соответствует условиям гашения дуги

Таким образом, увеличение бортового напряжения влияет на конструкцию контактной системы аппаратов, требует увеличения раствора контактов. Зависимость величины раствора контактов контактора КП-3 от напряжения [29] показана на рисунке 3.18.

Известны выражения для критической длины дуги, соответствующей точке касания вольт-амперной характеристики дуги и прямой $U-IR$ [29]. Для конкретных условий это выражение имеет вид

$$l_{кр} = 4,8 \cdot 10^{-3} \cdot I_0^{0.5} \cdot U, \quad (3.53)$$

где I_0 – ток, ограниченный собственным сопротивлением цепи (ток к.з.),
 U – напряжение источника.

Таким образом, критическая длина дуги прямо пропорциональна напряжению сети.

Величина раствора контактов зависит также от силы тока (рисунок 3.19).

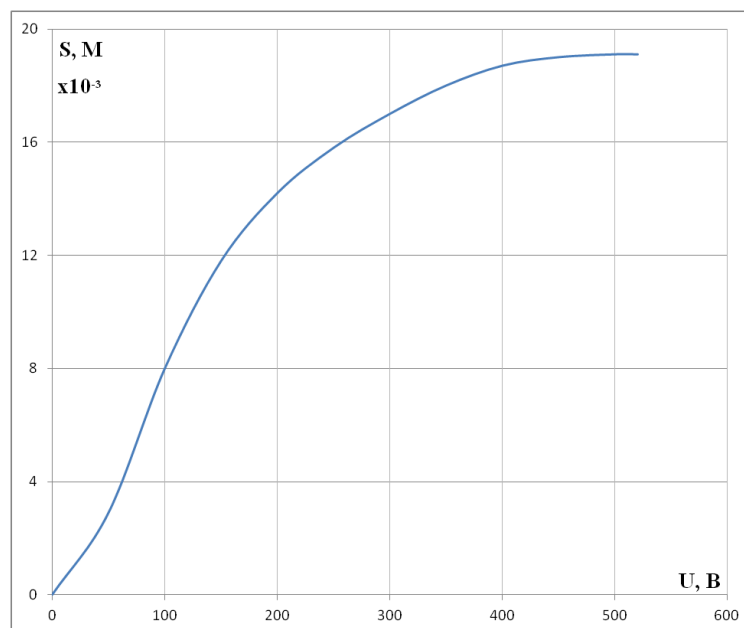


Рисунок 3.18 – Зависимость величины раствора контактов контактора КП-3 от напряжения

Для реле типа РЭС в целях обеспечения достаточной износостойкости контактов необходимо [30], чтобы расстояние между контактами было бы при токе 2А в 2,5 раза больше, при токе 5А в 1,9 раза больше, а при токе 10А в 1,5

раза больше длины дуги при заданной нагрузке для данного материала контактов. При индуктивных нагрузках малогабаритных и миниатюрных реле величина коммутируемого тока для определения расстояния между контактами должна быть увеличена в 2 раза.

В соответствии с выражением для длины дуги напряжение оказывает на раствор контактов большее влияние, чем ток. Для конкретных параметров бортовой сети должны разрабатываться свои конкретные конструкции контактных аппаратов.

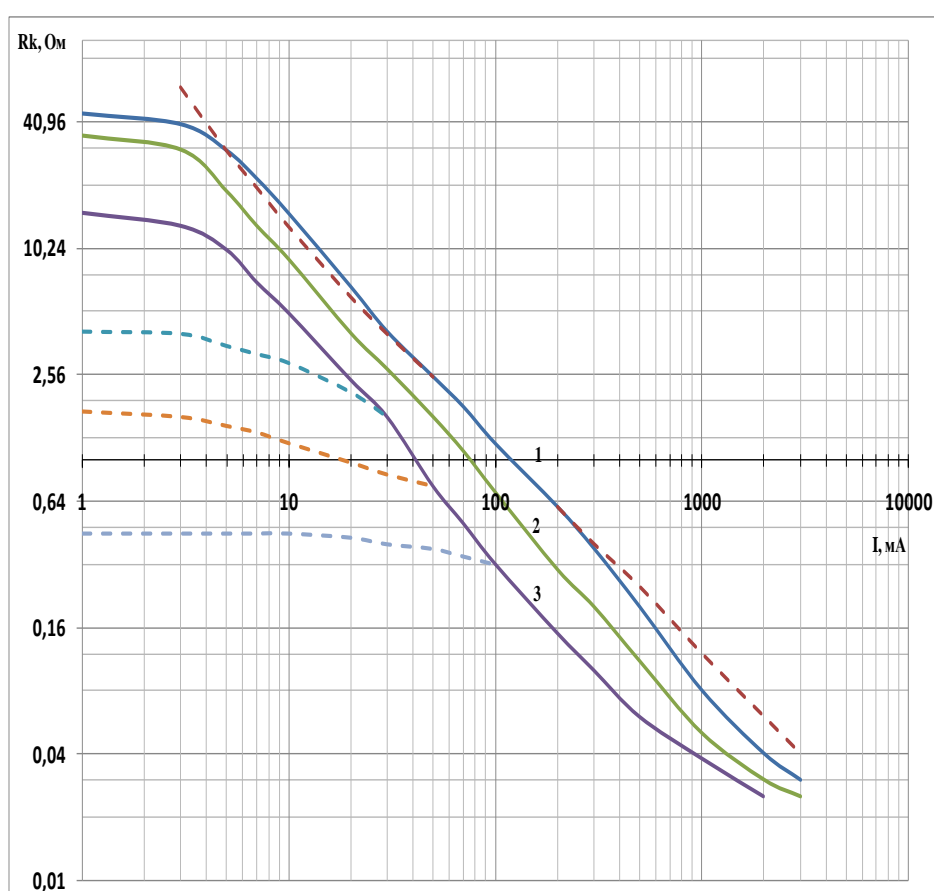


Рисунок 3.19 – Зависимость наибольших значений сопротивления размыкающих серебряных контактов реле типа РЭС9 от тока

1 – через 2 с после включения; 2 – через 10 с после включения; 3 – при последовательном увеличении силы тока (штриховыми линиями показаны повторные измерения).

Использование переключателей, реле и т.д. в условиях, на которые они не рассчитаны, может привести к сбоям или отказу в работе, т.е. использование бортовой коммутационной аппаратуры, рассчитанной на номинальное напряжение 12 В при повышенном напряжении (например, при 48 В), возможно только при существенном снижении требований к износостойкости контактов и ресурсу коммутирующего аппарата.

При этом неизбежно вырастет число сбоев и отказов реле, выключателей и т.п. в связи с несоответствием раскрытия контактов рабочему напряжению. Возможны случаи неотключения цепи.

Таким образом, анализ показывает, что при повышенном номинальном напряжении бортсети режимы работы коммутирующих контактов, рассчитанных на 12 В, существенно ухудшаются. Для обеспечения необходимого ресурса работы надежной коммутации цепей при повышенном напряжении требуется разработка новой конструкции узла контактов или всесторонние испытания старых (низковольтных) конструкций с соответствующей корректировкой требований к надежности и долговечности.

3.2.3 Система распределения электроэнергии

В качестве базового объекта при определении влияния номинального напряжения бортсети на параметры системы распределения электроэнергии (СРЭ) была выбрана электросеть автомобиля Lada Granta.

Анализ СРЭ автомобиля проводился при следующих допущениях:

- конфигурация сети неизменна,
- мощность источников и потребителей электроэнергии не зависит от номинального напряжения бортсети.

Как известно [2, 3], в автомобильной электросети существуют провода, расчет которых ведется:

1. По допустимой температуре изоляции проводов.
2. По допустимым потерям напряжения в проводах.

Исходя из этого, рассмотрим, как повлияет изменение номинального напряжения бортсети на провода СРЭ. Очевидно, что эксплуатационные показатели СРЭ ухудшатся при этом не должны, т.е. не должна меняться тепловая загруженность провода и потеря напряжения в проводах не должна оказывать отрицательное воздействие на потребителей электроэнергии. Исходя из условия постоянства мощности электропотребителей, можно записать:

$$P = I_1 \cdot U_1 = I_2 \cdot U_2, \quad (3.54)$$

где P - мощность электропотребителей,

I_1, I_2 - токи потребителей соответственно при номинальном напряжении U_1 и U_2 .

Из (3.54) получаем:

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2} \quad (3.55)$$

Как показано в [60], температура провода определяется из выражения:

$$T = \frac{I^2 \cdot R}{K \cdot S_{\Pi}}, \quad (3.56)$$

где T - установившаяся температура провода;

I - ток нагрузки провода;

R - сопротивление провода;

ρ - удельное сопротивление материала проводника;

l - длина проводника;

S - сечение проводника;

K - коэффициент теплоотдачи провода;

$S_{\Pi} = \pi \cdot d \cdot K_{\text{ИЗ}}$ - поверхность охлаждения провода;

где d - диаметр проводника;

$K_{\text{ИЗ}}$ - отношение диаметра изолированного провода к диаметру проводника.

Исходя из условия равенства температуры проводника при изменении номинального напряжения, имеем:

$$\frac{I_1^2 \cdot \rho \cdot l}{K_{\text{ИЗ}} \cdot S_{\Pi 1} \cdot S_1} = \frac{I_2^2 \cdot \rho \cdot l}{K_{\text{ИЗ}} \cdot S_{\Pi 2} \cdot S_2} \quad (3.57)$$

Откуда, полагая, что условия охлаждения неизменны, и принимая $K_{\text{ИЗ}} = \text{const}$ [28], подставляя (3.56), получаем:

$$d_2 = d_1 \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2}, \quad (3.58)$$

где d_1 - диаметр проводника при напряжении U_1 ;

d_2 - диаметр проводника при напряжении U_2 .

В этом случае масса проводов, рассчитанных исходя из тепловой загрузки, при изменении напряжения будет равна:

$$M_2 = M_1 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^{\frac{4}{3}}, \quad (3.59)$$

где M_2 – масса проводов, рассчитанных для номинального напряжения U_2 ;

M_1 – масса проводов, рассчитанных для номинального U_1 .

Для проводов, рассчитанных по допустимому падению напряжения, коэффициент потери напряжения

$$K_{\text{П}} = \frac{\Delta U}{U}, \quad (3.60)$$

где $K_{\text{П}}$ - коэффициент потери напряжения, равный (2,5...4)% [15] ;

ΔU - потеря напряжения в проводах;

U - номинальное напряжение бортсети.

При переходе от напряжения U_1 к напряжению U_2 можно записать:

$$\frac{\Delta U_1}{U_1} = \frac{\Delta U_2}{U_2} \quad (3.61)$$

Подставляя в (3.61) (3.55) и $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$, получаем после преобразования, что масса проводов, рассчитанных по допустимому значению напряжения, обратно пропорциональна квадрату изменения номинального напряжения [42, 60].

$$M_2 = M_1 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^2. \quad (3.62)$$

Таким образом, общая масса проводов СРЭ при изменении напряжения меняется следующим образом:

$$M_2 = M_1 \cdot \left(A + B \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{\frac{4}{3}} + C \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^2 \right), \quad (3.63)$$

где A – отношение массы проводов с минимальным сечением к общей массе проводов;

B - отношение массы проводов, рассчитанных по допустимой температуре, к общей массе проводов;

C - отношение массы проводов, рассчитанных по допустимому падению напряжения, к общей массе проводов.

Вследствие того, что протяженность автомобильных проводов относительно невелика, большинство проводов рассчитываются исходя из условия максимальной тепловой нагрузки [42].

Поэтому примем, что коэффициент C много меньше коэффициента B , к тому же это условие предполагает уменьшение K_{Π} (3.60), что положительно скажется на потребителях электроэнергии.

Тогда (3.63):

$$M_2 = M_1 \cdot \left(A + (1 - A) \cdot \left(\frac{U_1}{U_2} \right)^{\frac{4}{3}} \right) \quad (3.64)$$

Результаты расчета массы проводов СРЭ автомобиля Lada Granta по формуле (3.64) сведены в таблицу 3.12. Изменение массы проводов СРЭ в зависимости от номинального напряжения электросистемы показано на рисунке 3.21.

Таблица 3.12 – Зависимость параметров распределительной сети автомобиля Lada Granta от номинального напряжения

| Напряжение бортсети (В) Наименование параметра | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|
| Коэф. А | 0,16 | 0,48 | 0,62 | 0,75 | 0,78 | 0,93 | 0,94 |
| 1-А | 0,84 | 0,52 | 0,38 | 0,25 | 0,22 | 0,07 | 0,06 |
| $(12/U_1)^{4/3}$ | 1 | 0,58 | 0,40 | 0,29 | 0,23 | 0,19 | 0,16 |
| Масса меди проводов (кг) | 3,57 | 2,58 | 2,22 | 1,96 | 1,88 | 1,77 | 1,74 |
| Общая масса проводов (кг) | 5,90 | 4,50 | 4,05 | 3,75 | 3,64 | 3,61 | 3,45 |

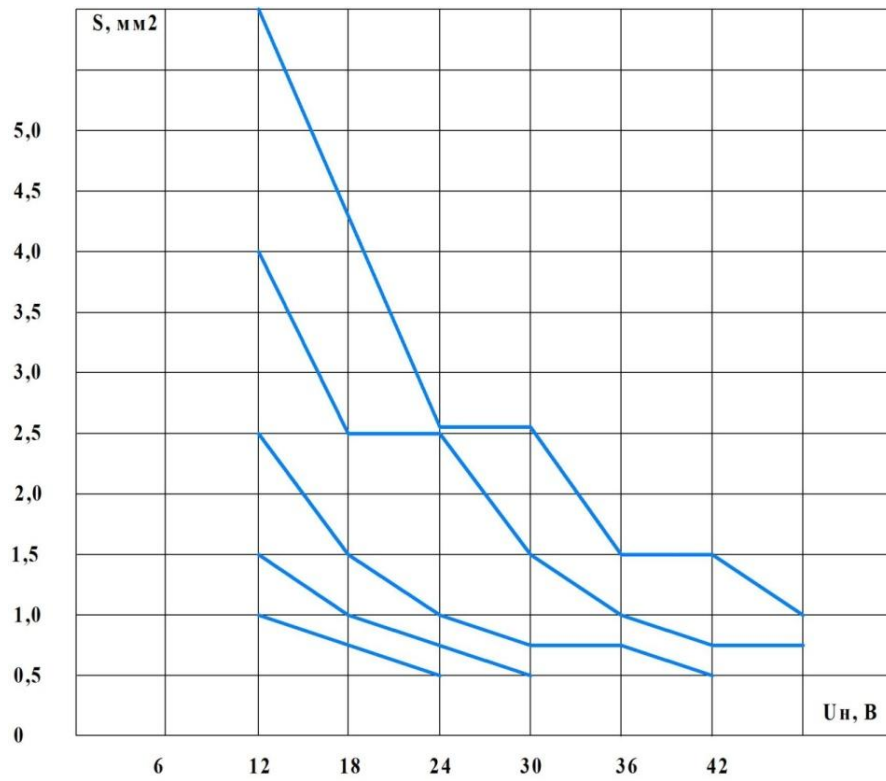


Рисунок 3.20– Изменения сечений проводов СРЭ при повышении номинального напряжения бортовой сети

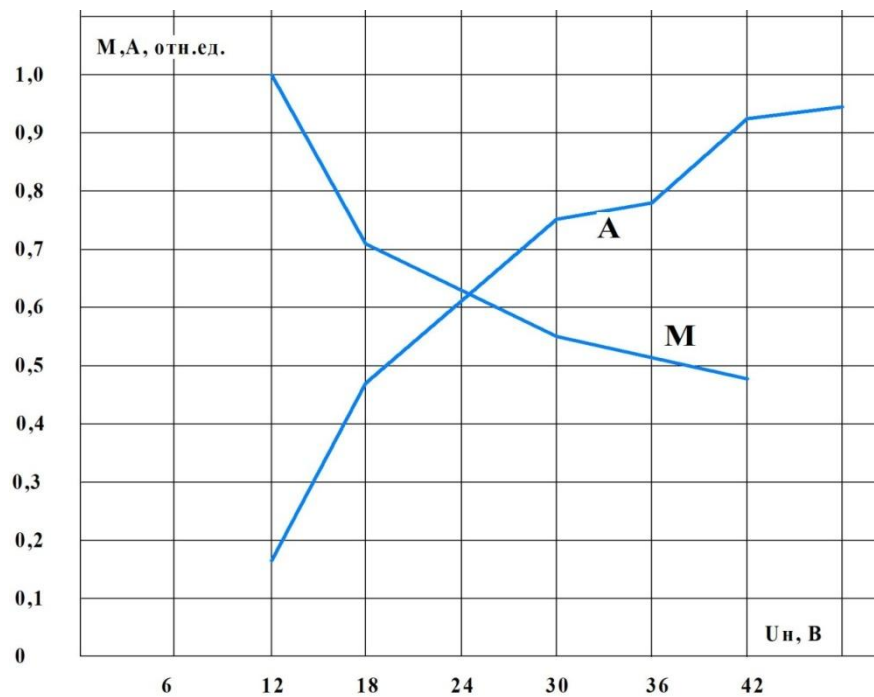


Рисунок 3.21 – Зависимость конструктивной массы проводов М СРЭ и относительной массы проводов с минимальным сечением А от номинального напряжения бортсети автомобиля Lada Granta.

Исходя из результатов расчета, можно сделать следующие выводы:

1. Повышение номинального напряжения бортсети автомобиля позволяют значительно снизить конструктивную массу проводов СРЭ.
2. Увеличение номинала напряжения дает возможность уменьшить тепловую нагруженность проводов, коэффициент падения напряжения и, следовательно, потери энергии в проводах.
3. Наибольшее снижение конструктивной массы проводов наблюдается при повышении напряжения до 18 В. Значение dM/dU достигает 4,7 % на В.
4. Рост напряжения выше 18 В ведет к уменьшению скорости снижения массы.
5. Повышение номинального напряжения позволяет уменьшить номенклатуру применяемых проводов (рис. 3.20).
6. При изменении напряжения в рассматриваемом диапазоне (12...48 В) требования к электрической прочности изоляции не изменяются.

3.2.4 Светосигнальная аппаратура

В качестве источника излучения в светотехнической аппаратуре автомобиля в настоящее время используются 4 основных типа ламп: обычные лампы накаливания (ЛН), галогенные (галогеновые) ЛН, ксеноновые и светодиодные лампы.

Классические лампы накаливания обладают низкими параметрами КПД и световой отдачи. Однако благодаря низкой стоимости, они достаточно широко применяются в подсветке салона, номерного знака, багажника, в указателях поворота и задних фонарях, реже в фарах головного освещения.

Галогенные лампы накаливания отличаются от классических тем, что колба лампы наполнена газом-галогеном, который позволяет повысить температуру нагрева спирали и соответственно светоотдачу, и продлить срок службы.

В ксеноновых (газоразрядных) лампах отсутствует спираль, а источником света является электрическая дуга между двумя электродами. Внутри стеклянной колбы находится смесь инертных газов, высоковольтный разряд на электродах вызывает свечение газов. Однако такие лампы достаточно дорогостоящие, так как для создания электрического разряда требуется дополнительное устройство. Кроме того, некорректная настройка головных фар может вызвать ослепление встречных водителей.

В настоящее время все чаще находят применение светодиодные (LED) лампы, обладающие высокой светоотдачей, малой потребляемой мощности, виброустойчивостью. Однако несмотря на высокую яркость света LED лампы, плотность и дальность светового пучка ниже, чем у галогенных ламп, кроме того необходимость использования радиаторов охлаждения повышает их стоимость.

Изменение бортового напряжения автомобиля непосредственным образом скажется на характеристиках ламп накаливания, т.к. номинальное напряжение является одной из исходных величин при проектировании и расчете тела накала ЛН.

К автомобильным ЛН предъявляются довольно противоречивые требования: с одной стороны, ЛН должны обладать большим сроком службы, с другой стороны, габаритные размеры ЛН должны быть невелики для обеспечения хорошей вибро- и ударопрочности и приемлимых удельных параметров.

В автомобильных ЛН используют различные конструкции тела накаливания, но преимущественное применение нашли ЛН со спирализованным телом накала, что позволило сделать конструкцию лампы более компактной, уменьшить длину и увеличить диаметр светового тела и тем самым увеличить световой КПД источника излучения. Таким образом, для анализа влияния величины номинального напряжения на параметры ЛН принята к рассмотрению

лампа со спиралевидным телом накала (ТН). Анализ носит качественный характер, т.к. теоретически учесть все аспекты влияния напряжения на ЛН невозможно.

Для анализа необходимо задаться начальными условиями:

1. Электрическая мощность, потребляемая ЛН, не зависит от величины номинального напряжения.
2. Тело накала имеет форму спирали.
3. Температура ТН одинакова во всем диапазоне номинальных напряжений.
4. Свойства материала ТН не зависят от номинального напряжения лампы.

Исходя из заданных условий, можно записать

$$I_2 = I_1 \cdot \frac{U_1}{U_2}, \quad (3.65)$$

где I_1, I_2 – значения номинального тока лампы при напряжении U_1 и U_2 , соответственно.

Как известно из теории электрических источников света [71], диаметр нити спирали находится из выражения:

$$d = I^{2/3} \cdot \left(\frac{4 \cdot \rho_T}{\pi \cdot M_{eT}} \right)^{1/3} \cdot (1/\delta)^{1/3}, \quad (3.66)$$

где d – диаметр нити спирали ТН,

I – номинальный ток ЛН,

ρ_T – удельное сопротивление материала нити при температуре T ,

M_{eT} – энергетическая светимость нити при температуре T ,

δ – коэффициент полного излучения ТН.

Длина нити спирали накала равна:

$$l = I^{1/3} \cdot U \cdot \left(\frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \rho_T \cdot M_{eT}^2} \right)^{1/3} \cdot (1/\delta)^{2/3}, \quad (3.67)$$

где U – номинальное напряжение ЛН (расчетное).

Так как удельное сопротивление материала и его энергетическая светимость зависят только от температуры ТН, которая постоянна, то, следовательно, параметры нити зависят только от электрических параметров ЛН и от значения коэффициента излучения. Принимая $\delta = \text{const}$ и подставляя (3.65) в (3.66) и (3.67), получим

$$d_2 = d_1 \cdot \left(\frac{U_1}{U_2}\right)^{2/3}, \quad (3.68)$$

где d_1 и d_2 – диаметры нитей спирали при напряжении U_1 и U_2 соответственно.

$$l_2 = l_1 \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^{2/3}, \quad (3.69)$$

где l_2 и l_1 длины нитей спирали при напряжении U_2 и U_1 соответственно.

Диаметр и длина спирали равны:

$$d_{cn} = d \cdot (k_c + 2), \quad (3.70)$$

$$l_{cn} = l \cdot K_{III} / (\pi \cdot (K_c + 1)), \quad (3.71)$$

где d_{cn} , l_{cn} – диаметр и длина спирали ЛН,

$k_c = d_c/d$ – коэффициент сердечника спирали ЛН,

$K_{III} = S/d$ – коэффициент шага спирали ЛН,

d_c – внутренний диаметр спирали ЛН,

S – шаг спирали ЛН.

Для оптимальных значений коэффициента шага и коэффициента сердечника длина спирали составляет приблизительно 10% [55] длины нитей из которых она свита, то есть размеры спирали пропорциональны размерам нити, поэтому можно записать

$$d_{cn2} = d_{cn1} \cdot \left(U_1/U_2\right)^{2/3} \quad (3.72)$$

$$l_{cn2} = l_{cn1} \cdot \left(U_2/U_1\right)^{2/3} \quad (3.73)$$

Как видно из (3.72), (3.73), повышение номинального напряжения лампы накаливания приводит к необходимости делать нить тела накала более длинной и тонкой. Так при увеличении напряжения в 2 раза диаметр спирали уменьшается в

1,6 раза, а её длина во столько же возрастает. При переходе с 12 на 48 В длина нити возрастет в 2,5 раза. Эти факторы отрицательно сказываются на эксплуатационных качествах ЛН [92]. Во-первых, в связи с увеличением длины спирали уменьшается световой КПД тела накала [71], если не придать телу накала форму биспирали, то световой КПД останется прежним, но уменьшится коэффициент излучения ТН, что потребует дальнейшего увеличения длины и температуры спирали для сохранения светового потока. Во-вторых, удлинением нити увеличивается расстояние между поддержками (промежуточными опорами), что снижает вибропрочность лампы, применение же дополнительных опор приводит к увеличению тепловых потерь и, следовательно, к уменьшению световой отдачи. Поэтому с повышением напряжения ЛН обеспечение ее динамического срока службы связано со все большими трудностями. В-третьих, при удлиненной нити накала ухудшается светораспределение, к которому в автомобильной светотехнике предъявляются особые требования. В-четвертых, с увеличением длины нити увеличивается вероятность наличия в ней дефектного участка, что приводит к сокращению срока службы.

Все вышеизложенное относится также и к галогенным лампам накаливания.

При повышении номинального напряжения выше 24 В потребуются создание новых ламп накаливания с увеличенной степенью спирализации. Все эти факторы приводят к усложнению конструкции ламп, значительному ухудшению их светотехнических и эксплуатационных характеристик.

3.2.5 Электронная аппаратура

Современная автомобильная электронная система управления является комплексом собственно электронной аппаратуры и управляемых ею вспомогательных устройств. В качестве исполнительных устройств чаще всего используют электромагнитную и электромеханическую аппаратуру различного вида. Для электронной аппаратуры повышение напряжения оказывает влияние на

выбор элементной базы и схемотехнических решений электронных систем. Из всех комплектующих элементов автомобильной электронной аппаратуры только такие сравнительно простые элементы, как резисторы, конденсаторы, маломощные диоды и транзисторы выпускаются отечественной промышленностью в большом разнообразии на максимальное допустимое напряжение выше 30÷50 В. Для силовых транзисторов, интегральных микросхем такой выбор весьма ограничен. В связи с этим целесообразно все комплектующие электронные элементы разбить на следующие пять условных групп:

1. резисторы, конденсаторы, маломощные полупроводниковые приборы;
2. аналоговые интегральные микросхемы;
3. цифровые интегральные микросхемы;
4. микропроцессоры и микропроцессорные комплекты;
5. мощные силовые управляющие электронные элементы (транзисторы, тиристоры).

Рассмотрим отдельно влияние повышения напряжения для каждой группы. Начнем рассмотрение с пятой группы, так как мощные силовые транзисторы применяют почти во всех электронных устройствах для управления исполнительными механизмами. Для бортовой сети в 12 В ток нагрузки силовых цепей составляет несколько ампер. С повышением напряжения в 3÷4 раза во столько же раз уменьшается ток, проходящий через транзистор, что в большинстве случаев благоприятно сказывается на его работе. Но при этом необходимо выбирать транзисторы с повышенным (во столько же раз) допустимым напряжением на коллекторе по сравнению с транзисторами, рассчитанными на 12 В, или применять специальные меры для снижения перенапряжения в силовых цепях.

Мощность, рассеиваемую на транзисторе, можно уменьшить только для транзисторов, работающих в ключевом режиме за счет уменьшения тока, а также за счет уменьшения напряжения насыщения $U_{КЭнас}$. Для транзисторов, работающих в линейном режиме, рассеиваемая мощность практически не меняется.

Для первой группы, как уже сказано, существует большой выбор элементов на напряжение более 40 В. Для электронной аппаратуры, выполненной на элементах этой группы, несколько изменятся схемотехнические решения отдельных узлов, снизится общий ток потребления устройства. Но в настоящее время их используют как вспомогательные элементы для согласования, развязки, настройки в устройствах, выполненных на аналоговых и цифровых интегральных микросхемах. Для устройств, где основными элементами являются аналоговые микросхемы, повышение напряжения позволяет выбирать микросхемы с требуемыми характеристиками почти из любой серии, выпускаемой промышленностью. Для большинства аналоговых микросхем напряжение питания равно 30 В (± 15 В) и поэтому их затруднительно было использовать раньше на автомобилях с бортовой сетью 12 В. Если учесть, что для стабильных характеристик, как правило, необходимо использовать источники стабилизированного напряжения, то с учетом режима работы минимальное напряжение бортовой сети должно быть не ниже 33÷35 В. Таким образом, при использовании напряжения бортовой сети в 48 В стабилизатор напряжения работает в наиболее оптимальном режиме, обеспечивая стабильность питания аналоговых микросхем при значительном колебании напряжения бортовой сети и сравнительно большим КПД стабилизатора ($\sim 70\%$). В случае использования микросхем с напряжением питания 10÷20 В рассеиваемая стабилизатором мощность будет незначительной только для микросхем с малым током потребления (общий ток стабилизатора 10÷50 мА). В этом случае, несмотря на низкий КПД (25%), не требуется больших радиаторов для отвода тепла от стабилизатора.

Наиболее перспективным все же является использование в электронной аппаратуре автомобиля цифровых интегральных микросхем и микропроцессоров. Большинство элементов третьей группы (цифровые интегральные микросхемы) можно разбить еще на три подгруппы по уровню питающего напряжения:

1. Микросхемы ТТЛ серий: 155, 555, 531 и т.д. ($U_{\text{п}} = 5$ В)
2. Микросхемы КМОП серий: 176, 561, 564 и т.д. ($U_{\text{п}} = 9\div 15$ В);

3. Микросхемы с высокопороговой логикой ($U_{\text{п}} = 20 \div 27 \text{ В}$).

Наибольшее распространение в электронной промышленности получили серии ТТЛ и микросхемы на КМОП структурах.

Серии с высокопороговой логикой практически не применяют из-за очень узкой номенклатуры микросхем, входящих в серию.

КМОП серии имеют небольшой ток потребления, поэтому для их питания можно использовать простые маломощные стабилитроны. Недостатки КМОП (по сравнению с ТТЛ): меньшее в несколько раз быстродействие, малая нагрузочная способность по выходу, малая степень интеграции.

Для последней четвертой группы (микропроцессоры) существуют те же проблемы, что и для ТТЛ серий (напряжение питания $U_{\text{п}} = 5 \text{ В}$ и приблизительно такой же ток потребления). В настоящее время на автомобилях с бортовой сетью 12 В в электронных блоках с цифровыми микросхемами (в каждом из них) применяют параметрические стабилизаторы, понижающие напряжение с 12 В до 5 В, выполненные в одном корпусе. В бортовой сети на 24 В и выше применение этих и подобных стабилизаторов невозможно по паспортным характеристикам и из-за низкого КПД (20%), а также из-за большой выделяемой мощности (общий ток на один электронный блок 0,5-1 А). Разработка специальных параметрических стабилизаторов на напряжение 48 В вряд ли имеет смысл. Если учесть, что разработка микросхем и микропроцессоров на повышенное напряжение требует значительных затрат, то остаются следующие возможности повышения бортового напряжения при существующей элементной базе:

1. Применение микромощных микросхем и микропроцессоров ТТЛ и КМОП серий ($U_{\text{п}} = 5 \div 15 \text{ В}$);
2. Последовательное соединение по питающему напряжению нескольких электронных блоков с приблизительно одинаковой мощностью;
3. Применение в каждом электронном блоке импульсных стабилизаторов напряжения или конвертеров (трансформаторные преобразователи).

Нужно заметить, что использовать эти методы (вместо параметрических стабилизаторов) можно и в устройствах, выполненных на обычных элементах и аналоговых микросхемах. Наиболее предпочтителен первый способ, но реализация его вызывает определенные затруднения, так как микромощные серии распространены пока не так широко. В настоящее время каждый электронный блок на перспективных автомобилях ВАЗа потребляет не менее 1 Вт ($U_{\Pi}=5$ В). Второй способ более простой, но при его использовании должны выполняться условия:

1. Полная потенциальная развязка между электронными блоками на разных уровнях питания относительно "земли" (использование оптронных пар);
2. Потребление тока в каждой цепи каждым электронным блоком должно быть в течение времени постоянным.

Следовательно, если какой-то блок необходимо "отключить", то он все равно должен остаться включенным в цепь питания (работающим на холостом ходу) или заменен какой-либо другой балластной нагрузкой. Возможно также последовательное соединение по питанию нескольких микросхем внутри каждого электронного блока, но это слишком усложнит конструкцию.

В заключении можно сделать выводы: наиболее перспективным решением при повышении напряжения бортсети является использование импульсных стабилизаторов. Это может осуществляться заменой импульсным стабилизатором в каждом электронном блоке параметрического стабилизатора. Необходимо заметить однако, что повышение питающего напряжения микросхем никаких преимуществ не дает. Увеличение КПД импульсных стабилизаторов по сравнению с параметрическими незначительное.

В целом для всей электронной аппаратуры автомобиля повышение напряжения бортсети до 48 В имеет ряд преимуществ:

- 1) уменьшение тока и, соответственно, потерь в цепи питания электронных устройств;

2) увеличение мощности исполнительных устройств электронной аппаратуры.

Но для реализации этих преимуществ необходимо выполнить ряд условий:

1) использовать транзисторы с повышенным в 3-4 раза максимальным напряжением на коллекторе, по сравнению с транзисторами рассчитанными на 12 В или применять специальные меры по защите от перенапряжения;

2) разработать малогабаритные импульсные стабилизаторы с малым уровнем шумов (звуковых и радиочастотных);

3) объединить электронные узлы в один блок и с одним источником питания (с целью повышения КПД источников питания).

3.3 Исследование вопросов перенапряжения в бортовом электротехническом комплексе современного автомобиля

Изменение уровня напряжения бортовой сети оказывает непосредственное влияние на величины перенапряжений, возникающих при различного рода коммутациях. Это связано с изменением параметров большинства потребителей электроэнергии и параметров системы электропитания.

Известно, что ЭДС самоиндукции, наведенная в индуктивном контуре с током при изменении последнего, определяется законом электромагнитной индукции

$$e = -L \frac{di}{dt}, \quad (3.74)$$

где L – индуктивность контура;

di/dt – скорость изменения тока.

При повышении напряжения бортсети в случае сохранения номинальной мощности потребителей ток его пропорционально уменьшается, а индуктивности потребителей растут. Для оценки роста индуктивности якорных обмоток двигателей постоянного тока можно воспользоваться приближенной формулой Уманского-Линвилля [5,111]

$$L_{Я} = \frac{\gamma \cdot U_H}{p \cdot \omega_H \cdot I_H}, \quad (3.75)$$

где $L_{Я}$ – индуктивность рассеяния якорной цепи электродвигателя;

$\omega_H = \frac{\pi \cdot n}{30}$ – угловая скорость ротора;

p – число пар полюсов;

$U_H; I_H$ – номинальное напряжение и ток электродвигателя;

n – номинальная частота вращения;

$\gamma = 0,6$ для некомпенсированных и $\gamma = 0,25$ – для компенсированных электродвигателей.

Так как подавляющее большинство электродвигателей современных автомобилей имеют возбуждение от постоянных магнитов, полная эквивалентная индуктивность двигателя L равна индуктивности якорной обмотки, т.е. $L = L_{Я}$.

Относительное изменение индуктивности электродвигателей при изменении номинального напряжения будет равно

$$L^* = \frac{L_1}{L_2} = \frac{\gamma \cdot U_{H2} \cdot p_2 \cdot \omega_{H2} \cdot I_{H2}}{p_1 \cdot \omega_{H1} \cdot I_{H1} \cdot \gamma \cdot U_{H2}} = \frac{U_{H1}/U_{H2}}{I_{H1}/I_{H2}} = \frac{U_H^*}{I_H^*}, \quad (3.76)$$

где L^*, U_H^*, I_H^* – относительные значения одноименных величин.

По условиям сравнения $p_1 = p_2; \omega_{H1} = \omega_{H2}$.

Так как потребляемый ток при неизменной мощности двигателя обратно пропорционален напряжению питания, то из формулы (3.76) следует, что индуктивность электродвигателя изменяется пропорционально квадрату изменения питающего напряжения ($L \equiv U_H^2$). Если увеличить номинальное напряжение бортовой сети в два раза, индуктивность двигателя будет равна

$$L_2 = L_1 \frac{\gamma \cdot U_{H2} \cdot p \cdot \omega_H \cdot I_{H1}}{p \cdot \omega_H \cdot I_{H2} \cdot \gamma \cdot U_{H1}} = 4L_1, \quad (3.77)$$

т.е. увеличится в 4 раза.

Для реле, втягивающих электромагнитов и т.п. условием сравнения является постоянство потребляемой мощности P , потерь в катушке P_K и намагничивающей силы F , т.е.

$$P_1 = P_2; P_{K1} = P_{K2}; F_1 = F_2.$$

Отсюда следует, что плотность тока в катушке должна быть неизменной ($j_1=j_2$), сечение проводника катушки q должно изменяться обратно пропорционально, а число витков в катушке W - прямо пропорционально, т.е.

$$q \equiv \frac{1}{U}; W \equiv U \quad (3.78)$$

Индуктивность многослойной цилиндрической катушки можно определить по формуле [96, 97]

$$L_K = \frac{0,16 \cdot r_c \cdot W^2}{10^3 \cdot [3r_c + 4,5 \cdot (l_K + h_K)]}, \quad (3.79)$$

где r_c - средний радиус катушки (см);

l_K - длина катушки (см);

h_K - толщина намотки (см).

Она пропорциональна квадрату витков катушки.

С учетом соотношений (3.79) можно записать

$$L_K \equiv U^2 \quad (3.80)$$

Таким образом, индуктивность катушек также как и индуктивность электродвигателей изменяется пропорционально квадрату изменения напряжения питания.

Бортсеть постоянного тока можно представить в виде последовательно включенных суммарной индуктивности потребителей L , суммарного их сопротивления R и напряжения на дуговых промежутках U_D , возникающих при размыкании цепи под током с помощью коммутационных реле.

$$R \cdot i + L \frac{di}{dt} + U_D = U_0 \quad (3.81)$$

Отсюда напряжение дуги равно:

$$U_D = (U_0 - I \cdot R) + L \cdot \left(\frac{di}{dt} \right). \quad (3.82)$$

Величина U_D есть величина перенапряжения коммутации, определяемая суммарной индуктивностью цепи и скоростью разрыва тока.

Если ток при гашении дуги разрыва изменяется во времени по линейному закону,

$$i_D = I_0 \left(1 - t/t_r \right), \quad (3.83)$$

где I_0 - установившееся значение тока в цепи до коммутации;

t_r - время гашения дуги, то перенапряжение, возникающее на коммутирующих контактах, будет равно [96, 97]:

$$U_M = U_0 \left[1 + \frac{L \cdot I_0}{U_0 \cdot t_r} \right] \quad (3.84)$$

При параболическом законе изменения тока

$$i_D = I_0 \cdot \left(1 - t^2/t_r^2 \right) \quad (3.85)$$

перенапряжение

$$U_M = U_0 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot L \cdot I_0}{U_0 \cdot t_r} \right]. \quad (3.86)$$

Примем, что время гашения дуги для различных уровней бортового напряжения одно и то же, амплитудные значения перенапряжений пропорциональны напряжению бортсети. Действительно, из (3.84) и (3.85) имеем

$$\frac{U_{M2}}{U_{M1}} = \frac{k \cdot U_1 \cdot \left[1 + \frac{k^2 \cdot L \cdot I_1 / k}{k \cdot U_1 \cdot t_r} \right]}{U_1 \cdot \left[1 + \frac{L \cdot I_1}{U_1 \cdot t_r} \right]} = k,$$

$$\frac{U_{M2}}{U_{M1}} = \frac{k \cdot U_1 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot k^2 \cdot L \cdot I_1 / k}{k \cdot U_1 \cdot t_r} \right]}{U_1 \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot L \cdot I_1}{U_1 \cdot t_r} \right]} = k, \quad (3.87)$$

где $k = \frac{U_2}{U_1}$ - кратность изменения номинального напряжения.

В реальном случае время гашения дуги не остается постоянным при изменении напряжения. При более высоком номинальном напряжении необходимо увеличить раскрытие контактов коммутационных аппаратов, в связи с чем скорость их расхождения должна увеличиться (при том же ходе якоря). Это ведет к увеличению скорости изменения тока и ещё большему росту перенапряжений (3.74).

Вторым существенным источником перенапряжений является генераторная установка. Индуктивность якорных обмоток генератора при повышении

напряжении растет в квадратичной зависимости, а емкость аккумуляторной батареи уменьшается линейно.

Перенапряжения на выходе генераторной установки могут возникнуть при отказе регулятора напряжения. В случае пробоя выходного каскада регулятора ток возбуждения увеличивается до величины, ограниченной только сопротивлением обмотки возбуждения, и при холостом ходе генератора будет иметь место так называемое напряжение сброса. Оно целиком определяется характеристикой холостого хода машины и уровнем насыщения магнитной цепи. При принятых условиях сравнения величина этого перенапряжения будет пропорциональна изменению номинального напряжения бортовой сети, т.е. $U_M \propto k$.

При разрыве цепи возбуждения перенапряжения будут определяться индуктивностью обмотки возбуждения и скоростью изменения тока. При сохранении прежней обмотки возбуждения (питания цепи возбуждения от отпаек фазных обмоток или от специальных обмоток, уложенных на статоре) перенапряжения не будут существенно зависеть от изменения номинального значения напряжения бортовой сети. В случае использования специальных высоковольтных регуляторов перенапряжения могут существенно возрасти (пропорционально квадрату отношения витков прежней и новой обмотки возбуждения).

При отключении аккумуляторной батареи перенапряжения зависят от коммутационных процессов в выпрямительном блоке и нагрузке. Они могут достигать 150...200 В [75] при длительности 100...200 мс. В этом случае воспользуемся выражениями (3.84) или (3.85), следовательно, величина перенапряжения будет также определяться кратностью изменения номинального напряжения.

Согласно [83], все автомобильные электронные изделия должны сохранять работоспособность при повышении допустимых значений напряжения в системе электроснабжения в аномальных режимах эксплуатации (перенапряжение).

Для системы с напряжением 12 В при отключенной аккумуляторной батарее в зависимости от длительности воздействия аппараты и элементы должны выдерживать импульсы перенапряжения, указанные в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Импульсы перенапряжения

| | | | | | |
|------------------------|------------------|--------------------|-----|----|-----|
| Имп. перенапряжения, В | 150 | 112 | 62 | 42 | 21 |
| Длительность, мс | $0,3 \cdot 10^3$ | $10 \cdot 10^{-3}$ | 0,3 | 10 | 300 |

Это требует, как использования различных специальных решений по защите полупроводниковых элементов, так и выбора элементов, рассчитанных на более точное напряжение (транзисторов, диодов и т.п.) [75]. При номинальном напряжении 12 В импульсное напряжение может достигать 42 В при длительности воздействия до 10 мкс, 28 В при длительности до 0,3 мс, 23 В при длительности воздействия до 10 мс.

Импульсы перенапряжений малой длительности (до 10 мс) обусловлены использованием источников малой мощности с полным внутренним сопротивлением в пределах 4...40 Ом [65, 66]. Основной возможный результат воздействия - электрический пробой электронных изделий и сбой в работе цифровых систем. Импульсы большой длительности обусловлены переходными процессами в системе электроснабжения и характеризуются внутренним сопротивлением около 1 Ом.

Обычно для обеспечения работоспособности электронных систем зажигания выбирают элементную базу, работоспособную по ТУ при напряжениях до 150 В. В тех случаях, когда это по тем или иным причинам выполнить невозможно, принимают стабилизированные с помощью, например, низковольтных стабилизаторов системы питания.

Выходные каскады транзисторных систем (системы с накоплением энергии в магнитном поле катушки зажигания) необходимо защищать от еще

более значительных дополнительных перенапряжений, возникающих в первичной цепи катушки зажигания.

Напряжение в сети автомобиля кратковременно в нормальных режимах может превышать в 4 раза номинальное напряжение [65, 66]. В этом случае вследствие неполной магнитной связи между первичной и вторичной обмотками катушки зажигания существенно увеличиваются импульсы напряжения при переходном процессе в первичной цепи катушки зажигания. Это напряжение значительно превышает допустимое даже для высоковольтного транзистора напряжения, и он выходит из строя. Для исключения пробоя выходного транзистора применяют различные элементы защиты (стабилитроны, варисторы и т.п.) с нелинейной зависимостью внутреннего сопротивления от напряжения [75].

Статистика отказов систем зажигания показывает, что на долю транзистора выходного каскада транзисторных систем зажигания приходится 70...80 % всех отказов, на долю стабилитрона – 15...20 %. Остальные элементы схемы отказывают в работе чрезвычайно редко, и их отказ не всегда проявляется в нарушении работы системы зажигания.

Транзистор выходного каскада системы зажигания должен обладать следующими свойствами:

1. Граничное напряжение, которое является основным параметром, определяющим коэффициент трансформации катушки зажигания, силу тока разрыва и индуктивность первичной обмотки, должно быть возможно большим (не менее 400 В, а для перспективных систем 600 В).

2. Транзистор должен выдерживать воздействие импульсов повышенного напряжения (более 400 В) на участке эмиттер-коллектор и на коллекторном переходе. Транзисторы должны быть стойкими ко вторичному пробую в этом режиме.

3. Импульсная ОМР транзисторов должна допускать работу транзистора при напряжении 400...600 В и силе импульсного тока коллектора 5...10 А при

длительности импульса 20...50 мкс, а также должна допускать при напряжении 150 В силу тока 12...15 А при длительности импульса до 0,3 с.

4. Для стабилитронов, включаемых параллельно коллекторно-базовому переходу, напряжение стабилизации должно быть 300...400 В при силе тока 100 мА.

Учитывая требования к бортовым электронным системам и характер роста перенапряжений при увеличении номинального напряжения бортовой сети следует сделать вывод, что при повышении напряжения питания требования к элементной базе бортовой электроники должны быть существенно повышены. Необходимо либо использовать комплектующие с пропорционально увеличенным допустимым уровнем напряжения, либо обратить особое внимание на защиту их от повышенных перенапряжений.

Если, например, поднять напряжение питания до 48 В, соответственно должны быть подняты требования, изложенные в [83]. В этом случае элементы электроники должны будут выдерживать напряжения до 600 В, а выходные транзисторы системы зажигания – до 2,5 кВ. В этой связи наиболее приемлимым является путь совершенствования защитных элементов и устройств. Нужно отметить также, что роль защитных разрядников в этом случае выполняют также контактные промежутки различных коммутационных аппаратов (реле, выключатели и т.п.), так как их межэлектродный промежуток является своеобразным разрядником с уровнем пробивного напряжения 300...400 В [96, 97].

Однако пробой межконтактных промежутков может привести к выходу из строя коммутируемых этими элементами бортовых устройств.

3.6 Выводы по главе

1) В третьей главе предложена методика оценки влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных ЭС и ЭК. Проведена

систематизация, обобщение и классификация ЭС и ЭК по характеру влияния уровня питающего напряжения на электротехнические параметры и характеристики.

Проведенный анализ основных элементов бортового электрооборудования показывает, что влияние уровня напряжения на их электротехнические и массогабаритные характеристики неодинаково. Все электрооборудование автомобиля предложено разделить на три группы:

К первой группе относится электрооборудование, технико-эксплуатационные характеристики которого практически не зависят от уровня номинального напряжения. В состав этой группы входят все бортовые электрические машины, как генератор, так и электродвигатели, особенно электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов. Характер нагрузки и режим работы электрической машины (длительный, кратковременный и т.п.) значения не имеют. Небольшие колебания расчетной массы и габаритов при различных напряжениях являются следствием дискретности изменения некоторых переменных (например, диаметр обмоточных проводов, число пазов якоря и т.д.) и несовершенством расчетных методик, на основании которых строились алгоритмы исследований.

Повышение удельных показателей с ростом напряжения (например, увеличение мощности генератора) возможно только при нарушении условий сравнения (повышение температуры нагрева обмотки возбуждения, снижение КПД и т.д.).

Следует отметить, что на некоторые характеристики электрических машин повышение напряжения влияет отрицательно. В коллекторных двигателях с ростом напряжения снижается коммутационная надежность контактного узла за счет увеличения реактивной ЭДС коммутируемой секции. Степень снижения зависит от коммутационной напряженности базовой машины (рассчитанной на напряжение 12 В).

В более широком диапазоне изменения бортового напряжения следует ожидать, что масса и габариты электрических машин будут расти вследствие увеличения толщины изоляции и снижения коэффициента заполнения паза. В рассматриваемом диапазоне эти факторы влияния не оказывают.

Таким образом, генератор и приводные электродвигатели с точки зрения их массы и габаритов нейтральны к уровню напряжения бортовой сети при изменении его в заданном диапазоне. Вопросам коммутационной надежности электродвигателей с повышенным напряжением питания требуется уделять особое внимание.

Ко второй группе относится электрооборудование, технико-эксплуатационные характеристики которого с повышением напряжения ухудшаются. В эту группу входят коммутационная аппаратура и источники света.

Габаритные размеры катушек реле с ростом напряжения увеличиваются за счет снижения коэффициента заполнения окна катушки медью обмотки. Степень снижения зависит от диаметра провода и типа намотки. Чем меньше диаметр, тем заметнее влияние напряжения. При укладке обмотки «внавал» габариты увеличиваются значительно, чем при рядовой намотке. Однако в заданном диапазоне изменения напряжений существующей номенклатуры реле габариты катушек могут вырасти лишь на несколько процентов и практически очень мало повлияют на общие габариты и массу реле.

У реле, контакторов, включателей и т.п. с повышением напряжения ухудшается работа контактов. При той же коммутируемой мощности износостойкость контактов снижается по мере роста напряжения. Для получения той же износостойкости требуется увеличить раствор контактов. В связи с этим для каждого номинального напряжения необходима разработка своей конструкции и размеров контактной пары.

С повышением напряжения до 48 В ухудшаются характеристики ламп накаливания. Увеличиваются габариты, снижается вибро- и ударопрочность. Ухудшаются параметры светораспределения и светоотдачи.

Бортовая электронная аппаратура занимает несколько обособленное положение. Для отдельных типов электрорадиоэлементов повышение напряжения желательно, для других (при данном уровне развития элементной базы) оно вообще невозможно. Касаясь дальней перспективы, можно сказать, что в целом повышение бортового напряжения для электронных систем желательно, т.к. при этом требуется разработка принципиально новой концепции создания бортовой электроники.

Технико-эксплуатационные характеристики третьей группы электрооборудования улучшаются с повышением напряжения. Улучшение может быть монотонным или в рассматриваемом диапазоне может быть отмечен рациональный уровень напряжения, при котором масса электрооборудования минимальна (как это уже отмечалось применительно к устройствам преобразования). К этой группе относятся: система зажигания, бортовая электропроводка, система пуска.

Суммарная масса электропроводки заметно снижается до напряжения 18 В. При дальнейшем повышении напряжения снижение замедляется, т.е. растет доля проводов, имеющих минимально допустимое сечение.

В системе зажигания с увеличением напряжения монотонно снижается масса катушки вследствие уменьшения массы первичной обмотки. Но уменьшение это малозначительно. С увеличением напряжения расширяются функциональные возможности СЗ благодаря увеличению диапазона регулировки угла включения первичного тока. Однако при этом существенно растет установившееся значение этого тока (ток к.з.), вследствие чего при отказе выходного каскада блока управления СЗ возрастает вероятность повреждения катушки, и требуется уделять особое внимание защите катушки от подобных режимов.

Суммарная масса системы пуска с ростом напряжения вначале снижается, достигая максимума при напряжении 24 В (при окружающей температуре $+20^{\circ}\text{C}$) или 30 В (при окружающей температуре минус 25°C), затем она монотонно

повышается. При этом масса стартерного электродвигателя остается примерно на неизменном уровне.

Таким образом, повышение номинального значения бортового напряжения положительно сказывается лишь на части бортового электрооборудования. При этом снижение массы происходит интенсивно у этой части лишь до напряжения 18...30 В. При дальнейшем повышении напряжения масса оборудования либо начинает повышаться, либо ее снижение замедляется.

Учитывая сказанное, целесообразно выбрать в качестве рабочего напряжения для этой части электрооборудования середину указанного диапазона, т.е. напряжение 24 В. Выбор этого уровня оправдан тем, что является стандартным для бортовых автомобильных систем, отвечает требованиям электробезопасности, а также наличием опыта разработки и эксплуатации элементов электрооборудования с напряжением питания 24 В для парка грузовых автомобилей.

Для первой группы электрооборудования повышение напряжения до 24 В не приведет к увеличению массы. Для второй группы напряжение 24 В также приемливо, поскольку имеется опыт разработки, изготовления и эксплуатации как автомобильных источников света, так и коммутационной аппаратуры. Дальнейшее повышение уровня напряжения бортсети на данном этапе нецелесообразно из-за роста суммарной массы системы пуска, уровня перенапряжений, необходимости создания новой элементной базы для электронных систем, новой коммутационной аппаратуры и т.д. При этом существенного снижения суммарной массы электрооборудования ожидать трудно.

2) Рассмотрено влияние перенапряжений на компоненты бортовой сети автомобиля. С ростом номинального напряжения бортсети пропорционально увеличиваются амплитудные значения коммутационных перенапряжений. В связи с этим повышаются требования к элементной базе электронных компонентов электрооборудования и к устройствам защиты их от перенапряжений, появляется

опасность пробоя межконтактных промежутков коммутационной электромеханической аппаратуры, что может привести к выходу из строя коммутируемых этой аппаратурой бортовых приборов.

3) Для осуществления перехода на повышенное напряжение необходимо развитие инструментов оценки энергообеспеченности БЭК на разных уровнях питающего напряжения с учетом реальных аспектов режимов эксплуатации автомобиля (скоростной режим, температура окружающей среды, индивидуальный стиль вождения, ездовой цикл автомобиля).

Глава 4. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕННОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СОВРЕМЕННЫХ АВТОМОБИЛЕЙ, УЧИТЫВАЮЩЕЙ ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

4.1 Оценка энергообеспеченности автотранспортных средств в статике

4.1.1 Особенности заряда аккумуляторной батареи в различных режимах эксплуатации автотранспортного средства

Одним из важнейших аспектов энергообеспеченности автотранспортного средства является обеспечение всех узлов и агрегатов автотранспортного средства достаточным количеством электроэнергии. При этом важную роль в эксплуатации автомобиля занимает корректное функционирование АКБ, обеспечивающееся своевременным и достаточным зарядом за счёт энергии генератора. Во второй главе были указаны основные проблемы, возникающие при недостаточном заряде АКБ, связанные с температурным режимом и особенностями современной эксплуатации автотранспортных средств (пробки, малые по длительности поездки и пр.) Рассмотрим особенности заряда аккумуляторной батареи.

Основной функцией АКБ является запуск двигателя автомобиля. При этом среднее время работы стартера составляет от одной до трёх секунд. Данное время изменяется в зависимости от сезона. Так пуск двигателя летом, действительно занимает порядка двух секунд, в то время как зимний пуск, особенно с помощью автозапуска зачастую происходит с нескольких попыток (от одной до трёх), каждая из которых занимает порядка двух секунд. Оценка энергии, затрачиваемой АКБ для запуска двигателя, является достаточно сложной задачей, так как зависит от многих факторов. Однако, для построения численной модели можно внести такой параметр как время работы стартера и ток покоя, включающий в себя питание сигнализации, подзарядку видеорегистратора, ток утечки и др., что позволит максимально точно построить численную модель разряда АКБ.

Для автомобиля Lada Granta пусковой ток аккумуляторной батареи составляет порядка 150 А. Таким образом однократный пуск автомобиля потребляет порядка 300 А·с или 0,08 А·ч. Так для однократной поездки по городу в летний период потребуется два пуска, что составляет порядка 0,16 А·ч. При этом в течение оставшегося времени, порядка 22 часов в сутки АКБ отдаёт энергию на утечку, сигнализацию и пр. Для ориентира выбрана сигнализация Starline, потребление которой составляет порядка 20 мА и добавлен возможный ток утечки порядка 20 мА. То есть, за 22 часа потребление составит порядка 0,88 А·ч. Итого, за сутки АКБ потребляет порядка 1,0 А·ч, при общем объёме заряда 60 А·ч, что составляет порядка 1,7% от общего заряда. Очевидно, что компенсация указанных потерь производится за счёт подзарядки АКБ генератором. Эффективность подзарядки определяется режимом эксплуатации автомобиля. Примем, что на автомобиль установлена аккумуляторная батарея ёмкостью 60 А·ч.

Важно отличать заряд АКБ специальным зарядным устройством и заряд АКБ автомобильным генератором. Алгоритм заряда АКБ зарядным устройством позволяет осуществить наиболее полный заряд аккумуляторной батареи. Рассмотрим основные методы заряда АКБ: [126]

– методика постоянного напряжения, заключается в поддержании постоянного напряжения на АКБ. При этом ток заряда может достигать достаточно большой величины, что приводит к нагреву АКБ. Максимальный заряд достигается в пределах 90% – 95%;

– методика постоянного тока, заключается в поддержании постоянного значения тока. Такой подход позволяет зарядить АКБ на 100%. К недостаткам следует отнести значительное газовыделение и необходимость стабилизации силы тока. При этом, чем меньше ток заряда, тем глубже результирующий заряд, однако при этом увеличивается время заряда. Как правило применяется двухэтапный заряд: на первом этапе ток заряда равен 0.2 С, на втором этапе устанавливается ток 0.1 С (где С – показатель ёмкости АКБ);

– комбинированный метод – метод при котором на первом этапе производится заряд АКБ током 0.1 С, а на втором происходит заряд при постоянном напряжении, но с ограничением тока. Такой подход позволяет реализовать наиболее качественный заряд АКБ.

Стоит учесть, что на сегодняшний день существует несколько типов аккумуляторных батарей [126]:

– SLA (SealedLeadAcid) Герметичные свинцово-кислотные или VRLA (ValveRegulatedLeadAcid) клапанно-регулируемые свинцово кислотные. Изготовлены по стандартной технологии. Благодаря конструкции и применяемых материалов, не требуют проверки уровня электролита и доливки воды. Имеют невысокую устойчивость к циклированию, ограниченные возможности работы при низком разряде, стандартный пусковой ток и быстрый разряд.

– EFB (EnhancedFloodedBattery) Технология разработана фирмой Bosch. Это промежуточная технология между стандартной и технологий AGM. От стандартной такие АКБ отличаются более высокой устойчивостью к циклированию, улучшен прием заряда. Имеют более высокий пусковой ток. Как и у SLA\VRLA, есть ограничения работы при низкой заряженности.

– AGM (AbsorbedGlassMat) На текущий момент лучшая технология (по соотношению цена\характеристики). Устойчивость к циклированию выше в 3-4 раза, быстрый заряд. Благодаря низкому внутреннему сопротивлению обладает высоким пусковым током при низкой степени заряженности. Расход воды приближен к нулю, устойчива к расслоению электролита благодаря абсорбции в AGM-сепараторе.

– GEL (GelElectrolite) Технология, при которой электролит находится в виде геля. По сравнению с AGM обладают лучшей устойчивостью к циклированию, большая устойчивость к расслоению электролита. К недостаткам можно отнести высокую стоимость, и высокие требования к режиму заряда.

На текущий момент большинство производителей АКБ рекомендуют алгоритм заряда CC\CV (ConstantCurrent \ ConstantVoltage – постоянный ток \

постоянное напряжение). Такой алгоритм обеспечивает достаточно быстрый и «бережный» режим заряда АКБ. Для исключения долговременного пребывания АКБ в конце процесса заряда, большинство зарядных устройств переходит в режим поддержания (компенсации тока саморазряда) напряжения на АКБ. Такой алгоритм называется трехступенчатым. График такого алгоритма заряда представлен на рисунке 4.1.

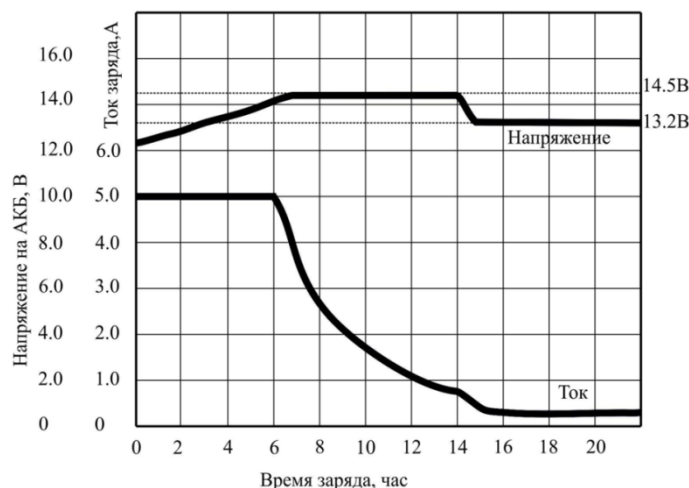


Рисунок 4.1 – Алгоритм заряда АКБ [126]

Указанные значения напряжения (14,5 В и 13,2 В) справедливы при заряде АКБ типа SLA\VRLA,AGM. При заряде АКБ типа GEL значения напряжений должны быть установлены соответственно 14,1 В и 13,2 В.

Также, в ряде случаев применяются дополнительные алгоритмы заряда:

- предзаряд – у сильно разряженной аккумуляторной батареи (НРЦ меньше 10 В) увеличивается внутреннее сопротивление, что приводит к ухудшению его способности принимать заряд. Алгоритм предзаряда позволяет решить задачу заряда таких АКБ;

- асимметричный заряд – для уменьшения сульфатации пластин аккумуляторной батареи можно проводить заряд асимметричным током. При таком алгоритме заряд чередуется с разрядом, что приводит к частичному растворению сульфатов и восстановлению емкости АКБ;

- выравнивающий заряд – в процессе эксплуатации АКБ происходит изменение внутреннего сопротивления отдельных элементов АКБ, что в процессе

заряда приводит неравномерности заряда. Для уменьшения разброса внутреннего сопротивления рекомендуется проводить выравнивающий заряд. При этом АКБ заряжают током 0,05...0,1 С при напряжении 15,6...16,4 В. Заряд проводится в течении 2...6 часов при постоянном контроле температуры АКБ.

Таким образом, можно сделать вывод, что процесс заряда АКБ представляет собой достаточно сложную задачу и требует специальных режимов работы зарядного устройства. Примем допущение, что АКБ в автомобиле заряжается по принципу постоянного напряжения, что не противоречит классическому представлению [113, 114].

Примем, что рекомендуемый ток заряда АКБ составляет 0,1 С. Тогда, при построении модели заряда АКБ нужно учитывать её ёмкость. По умолчанию примем ёмкость аккумуляторной батареи равной 60 А·ч. Тогда рекомендуемый ток заряда будет равен 6 А. Данный параметр, в дальнейшем может варьироваться без ограничений. Построим модель зон положительного тока заряда АКБ, в зависимости от тока потребления бортовой сети и оборотов двигателя, определяющих ток генератора (рисунок 4.2).

$$I_{зар}(n, I_{потр}) = I_{ген}(n \cdot k_{ген}) - I_{потр}, \quad (4.1)$$

где $I_{зар}$ – сила тока заряда АКБ,

$I_{генер}$ – сила тока отдачи генератора,

$I_{потр}$ – сила тока потребления бортовой сети,

n – частота оборотов двигателя внутреннего сгорания,

$k_{ген}$ – передаточное число ременной передачи от двигателя к генератору.

Листинг модели вынесен в приложение 2.2.

Из рисунка 4.2 видно, что ток генератора достаточен для компенсации ежедневного расхода АКБ даже при кратковременных поездках. Приведём пример нахождения тока заряда АКБ для заданного режима работы.

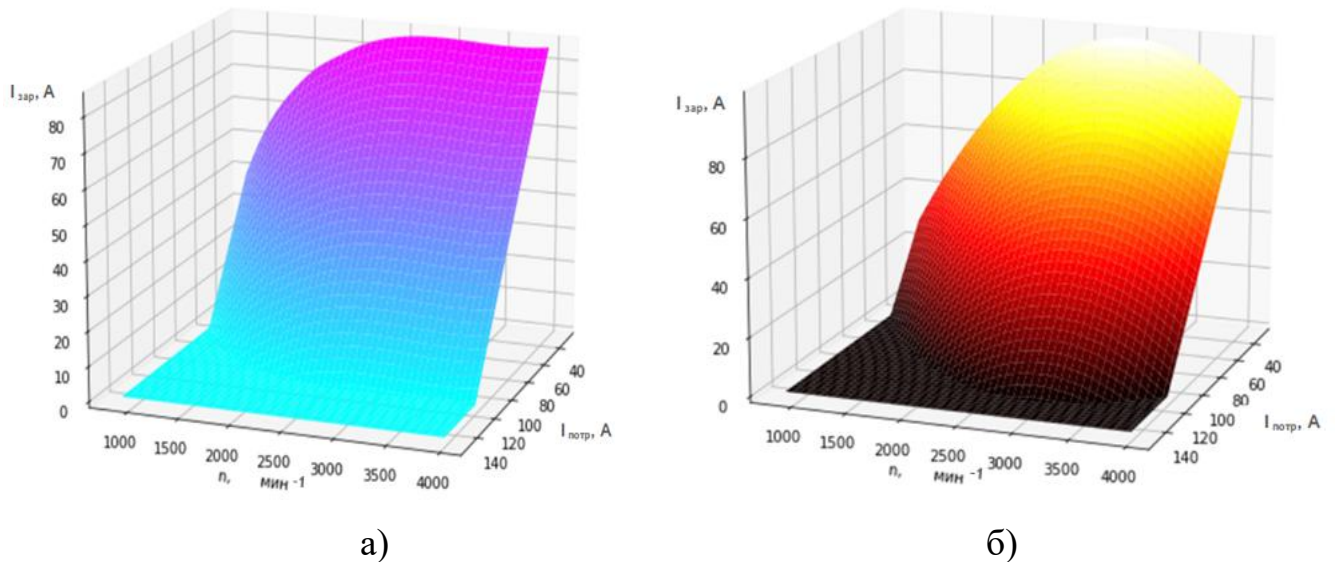


Рисунок 4.2 – Зависимость зарядного тока АКБ от оборотов двигателя и тока потребления бортовой сети: а) для модели на основе сплайн аппроксимации; б) для модели на основе полиномиальной регрессии

Например, при токе потребления в 40 А, и оборотах двигателя 2500 мин⁻¹, ток заряда АКБ равен 40 А·ч.

```
print(ChargeEffs(40,2500))
✓ 0.7s
39.59808146173761
```

Проведем анализ эффективности заряда АКБ. Ранее было получено значение ежедневного расхода заряда аккумуляторной батареей порядка 1 А·ч. Таким образом, при зарядке током 40 А, достаточно 1/40 часа, т.е. порядка полутора минут.

Однако, в реальных режимах эксплуатации автомобиля такой алгоритм реализуется не так часто. Как правило, наиболее тяжёлым периодом для аккумуляторной батареи является зимний период. При этом эксплуатацию в весенне-осенний период можно считать наиболее щадящей, по причине редкой эксплуатации климатических систем и систем подогрева элементов салона, стекол и зеркал. Зимний период оказывает наиболее негативное воздействие на изменение уровня заряженности АКБ как с точки зрения пуска автомобиля и количества эксплуатируемых систем, так и с точки зрения химических процессов, протекающих при низкой температуре (рисунок 4.3) [52].

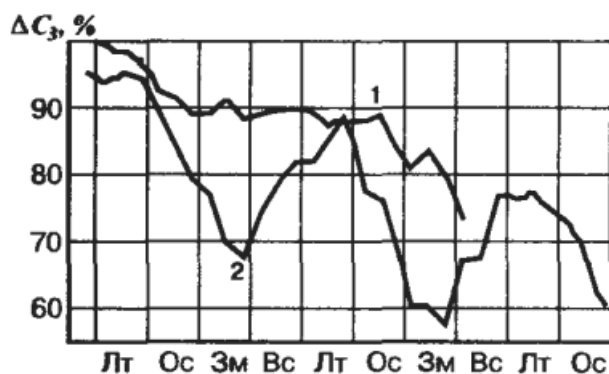


Рисунок 4.3 – Изменение уровня заряженности АКБ ΔC_z в течение эксплуатации автомобиля (Лт – лето; Ос – осень; Зм – зима; Вс – весна): 1 – АКБ 6СТ-60 на автомобиле ГАЗ-24 (такси); 2 – 6СТ-90 на автомобиле ЗИЛ-1[52].

При эксплуатации автомобиля значительную роль на заряд АКБ в процессе движения оказывают следующие факторы:

- прерывистый ритм движения, при котором значительную часть времени обороты находятся в диапазоне $850-1500 \text{ мин}^{-1}$ (светофор, торможение, период выжатого сцепления и пр.)

- значительное количество задействованных бортовых приборов (музыка, кондиционер, печка, ЭУР, вентиляция салона и пр.)

- нерегулярные и кратковременные поездки.

Заметим, что при регулярной езде на автомобиле, достаточной продолжительностью в пределах городского ритма (исключая режим пробок) заряд АКБ поддерживается на достаточном уровне. При эксплуатации в зимний период, и возможном простое автомобиля и интенсивном применении бортовых электроприборов возможен недозаряд АКБ и постепенное снижение её потенциальной ёмкости в виду влияния низких температур.

4.1.2 Моделирование эффективного заряда аккумуляторной батареи при различных уровнях питающего напряжения бортовой сети автомобиля

В подразделе 4.1.1 указано, что важным аспектом оценки энергообеспеченности автотранспортного средства является оценка с точки зрения силы тока потребления. Таким образом, при решении задачи оценки энергообеспеченности величина напряжения становится искомой величиной по критерию достаточности тока заряда АКБ.

На основе полученной в (4.1.1) зависимости тока заряда АКБ (4.1), сформируем функцию, возвращающую аппроксимированное значение тока генератора, зарядный ток АКБ и значение тока потребления бортовой сети автомобиля при котором зарядный ток равен нулю в зависимости от оборотов и тока потребления бортовой сети автомобиля. Ограничим аппроксимацию сплайном для получения более точных результатов. Результирующая функция возвращает матрицу из трёх определённых выше значений. Главное достоинство функции заключается в том, что её можно использовать для получения мгновенных значений вырабатываемых генератором токов и определении мгновенного тока заряда АКБ. Это позволяет применить её для оценки энергообеспеченности системы генерации энергии в автомобиле при различных режимах эксплуатации автомобиля и для различных моделей генераторов, если известна их токоскоростная характеристика:

```
def ICharge(Nn, In, n, I):
    K=2.48; nk=n*K
    tck = interpolate.splrep(Nn, In)
    IG=interpolate.splev(n,tck)
    IZero=interpolate.splev(nk,tck)
    ICh=IZero-I if IZero-I>0 else 0
    Out=np.array([IG, ICh, IZero])
    return Out
```

Построим модель для токоскоростной характеристики генератора 4512.3771010-01 [122], приведённой на рисунке 4.4. Данный генератор рассчитан на работу при питающем напряжении 24 В.

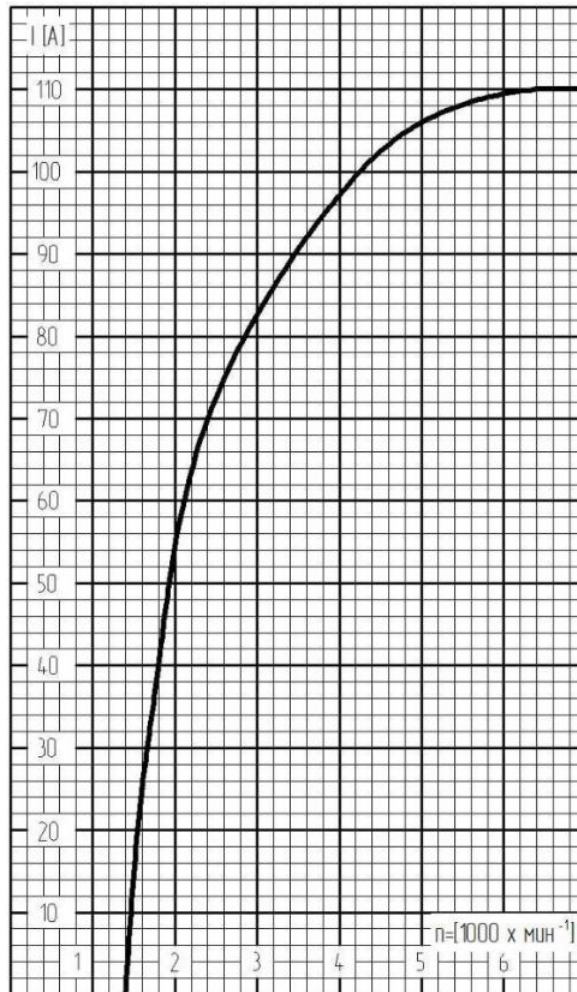


Рисунок 4.4 – Токоскоростная характеристика генератора 4512.3771010-01

Построим линию пересечения поверхностью зарядного баланса нулевой плоскости (линию нуля зарядного баланса) для двух рассмотренных генераторов. Для этого воспользуемся полученной функцией. Нулевой зарядный баланс достигается при равенстве тока генератора и потребителей, то есть:

$$I_{\text{потр}}(n) = I_{\text{ген}}(n) \quad (4.2)$$

В данной модели линии определяются только током генератора, то есть уровень напряжения питания автомобиля не учитывается. Листинг модели представлен в приложении 2.2. На рисунке 4.5 приведены полученные зависимости для двух генераторов.

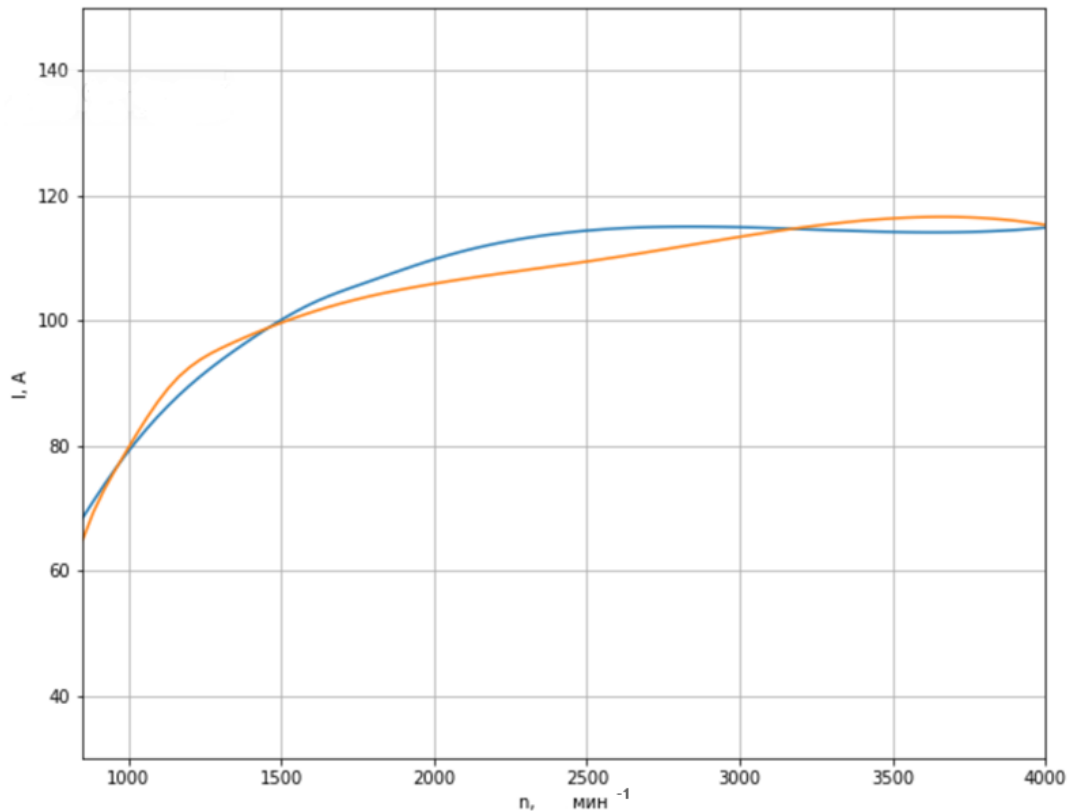


Рисунок 4.5 – Линии пересечения плоскостей: синий график – для генератора на 14 В; оранжевый – для генератора на 28 В

По полученным графикам видно, что линии нулевого зарядного баланса практически совпадают. Однако, при переходе на 24 В и сохранении мощности потребления, ток потребления снизится в два раза. Построим карту зоны отрицательного зарядного баланса по аналогии с рисунком 2.13, с учётом уменьшенного тока потребления (рисунок 4.6). На рисунок нанесена цветовая разметка, соответствующая режимам эксплуатации.

Полученные кривые графиков для двух номиналов генераторов позволяют определить, что в случае использования напряжения бортовой сети 24 В, зона отрицательного зарядного баланса крайне мала. Таким образом, при увеличенном потреблении энергии бортовой аппаратурой автомобиля компенсация разряда аккумуляторной батареи будет происходить практически при любом режиме эксплуатации автомобиля. Данный аспект особенно важен, так как наибольшее влияние на недозаряд АКБ оказывает режим эксплуатации автомобиля в условиях

малых оборотов генератора и высокого энергопотребления бортовой цепи, что соответствует современным режимам эксплуатации в городском цикле.

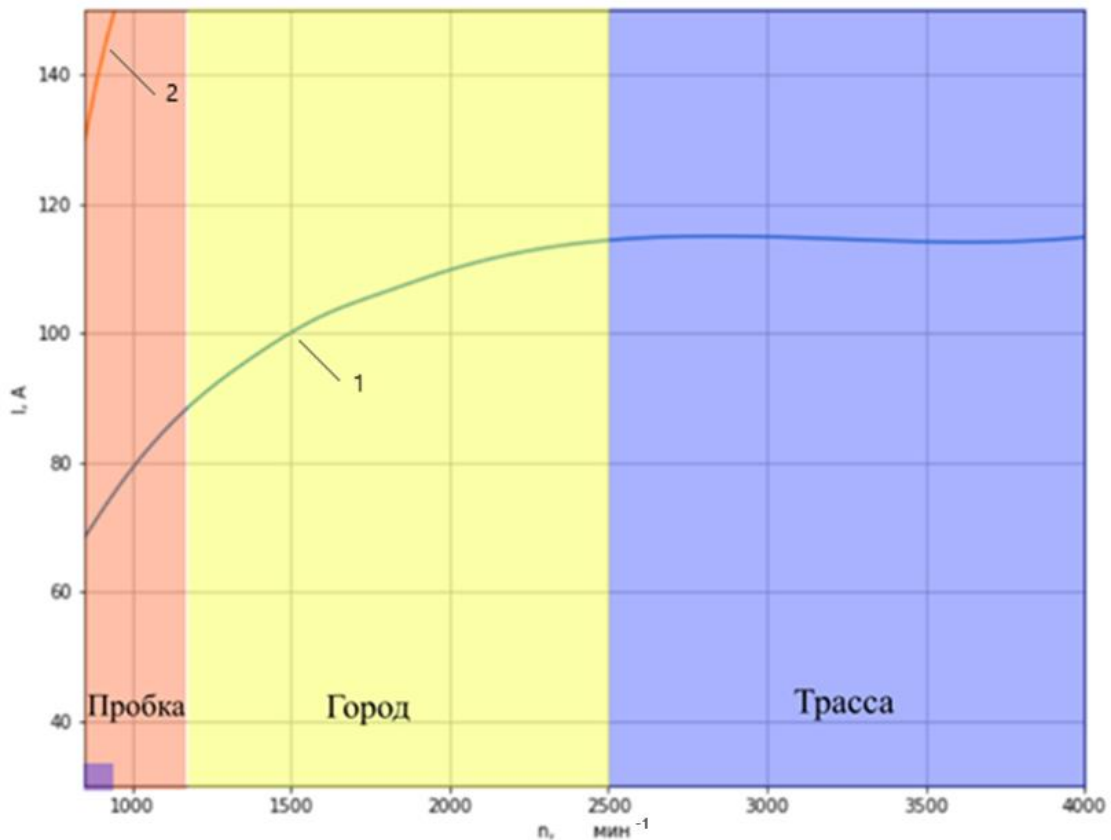


Рисунок 4.6 –Линии пересечения плоскостей: 1 – для генератора на 14 В;
2 – для генератора на 28 В

Построим поверхности иллюстрирующие величины зарядного тока для двух генераторов аналогично рисунку 4.2, но изменим одну из осей на потребляемую бортовой сетью мощность – это позволит учесть изменение напряжения бортовой сети.

$$I_{зар}(n, P_{потр}) = I_{ген}(n \cdot k_{ген}) - \frac{P_{потр}}{U_{борт}}, \quad (4.3)$$

где $I_{зар}$ – сила тока заряда АКБ,

$I_{генер}$ – сила тока отдачи генератора,

$P_{потр}$ – мощность потребления бортовой сети,

$U_{борт}$ – напряжение бортовой сети,

n – частота оборотов двигателя внутреннего сгорания,

$k_{ген}$ – передаточное число ременной передачи от двигателя к генератору .

Листинг модели приведён в приложении 2.2. Результат работы модели приведён на рисунке 4.7.

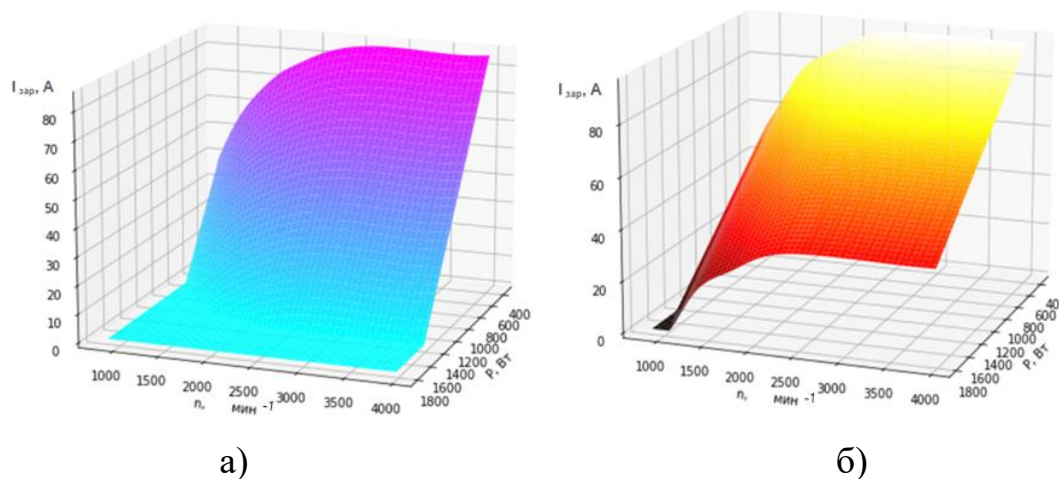


Рисунок 4.7 – Зависимость зарядного тока АКБ от оборотов двигателя и потребляемой мощности бортовой сети: а) для модели генератора 14 В; б) для модели генератора 28 В

Полученные поверхности позволяют сделать важный вывод, что повышение генерации тока приведёт к смещению поверхности вверх, за счёт чего снизится зона отрицательного зарядного баланса. При этом повышение уровня напряжения уменьшит угол наклона поверхности, что обеспечит более равномерную зарядку АКБ во всех режимах работы автотранспортного средства.

Проведём анализ энергообеспеченности автотранспортного средства при изменении напряжении бортовой сети. Допустим, что токоскоростная характеристика генератора не зависит от напряжения. Данное допущение введено для удобства анализа, с учётом аппроксимаций, приведённых на рисунке 4.5. Тогда, с точки зрения генерируемой мощности, повышение напряжения бортовой сети, безусловно обосновано. На рисунке 4.8 приведена поверхность

генерируемой мощности в зависимости от оборотов двигателя и величины напряжения бортовой сети (листинг модели приведён в приложении 2.2)

$$P_{ген}(n, U_{борт}) = I_{ген}(n \cdot k_{ген}) \cdot U_{борт} \quad (4.4)$$

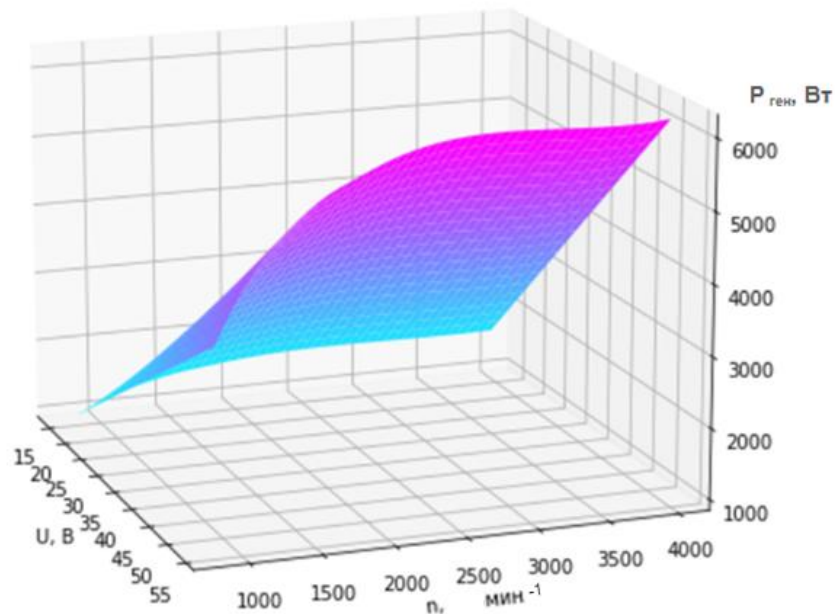


Рисунок 4.8 – Поверхность генерируемой мощности в зависимости от оборотов двигателя и величины напряжения бортовой сети

Полученная поверхность отображает только генерируемую мощность, однако часть мощности уходит на поддержание функционирования электрооборудования автомобиля. Введём в модель параметр мощности потребления в виде константы. Построим поверхности для мощностей потребления $P=1000$ Вт и $P=1200$ Вт.

$$I_{зар}(n, U_{борт}) = I_{ген}(n \cdot k_{ген}) - \frac{P_{потр}}{U_{борт}} \quad (4.5)$$

Листинг модели приведён в приложении 2.2. Полученные поверхности приведены на рисунке 4.9.

По полученным поверхностям нет возможности однозначно определить предпочтительное напряжение бортовой сети, так как при постоянно

изменяющихся значениях оборотов и мощности потребления бортовой сети ток заряда одного элемента АКБ также является изменяющейся величиной.

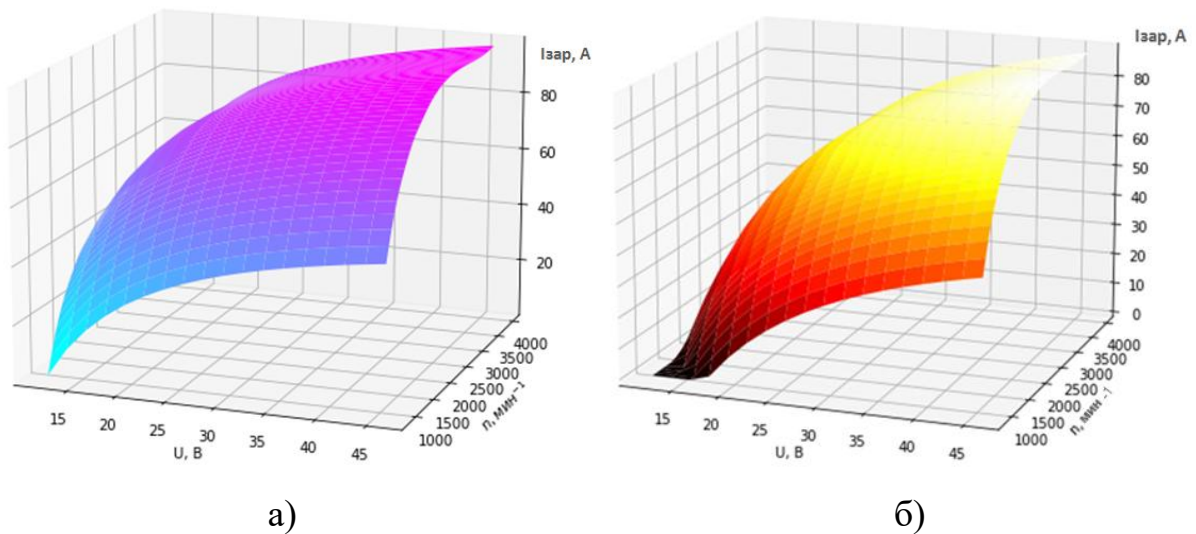


Рисунок 4.9 – Зависимость зарядного тока элементов АКБ от оборотов двигателя и напряжения бортовой сети: а) для мощности потребителей 1000 Вт; б) для мощности потребителей 1200 Вт

Если зафиксировать обороты вала двигателя (N) на величине 2000 мин^{-1} , и ввести переменную мощность потребления

$$I_{зар}(P_{потр}, U_{борт}) = I_{ген}(N) - \frac{P_{потр}}{U_{борт}} \quad (4.9)$$

(листинг модели приведён в приложении 2.2.), то поверхность тока заряда элемента АКБ примет вид, приведённый на рисунке 4.10.

По построенным поверхностям возможно определить, что чем выше напряжение питающей сети, тем стабильнее ток заряда элемента АКБ на всём диапазоне значений мощности потребителей.

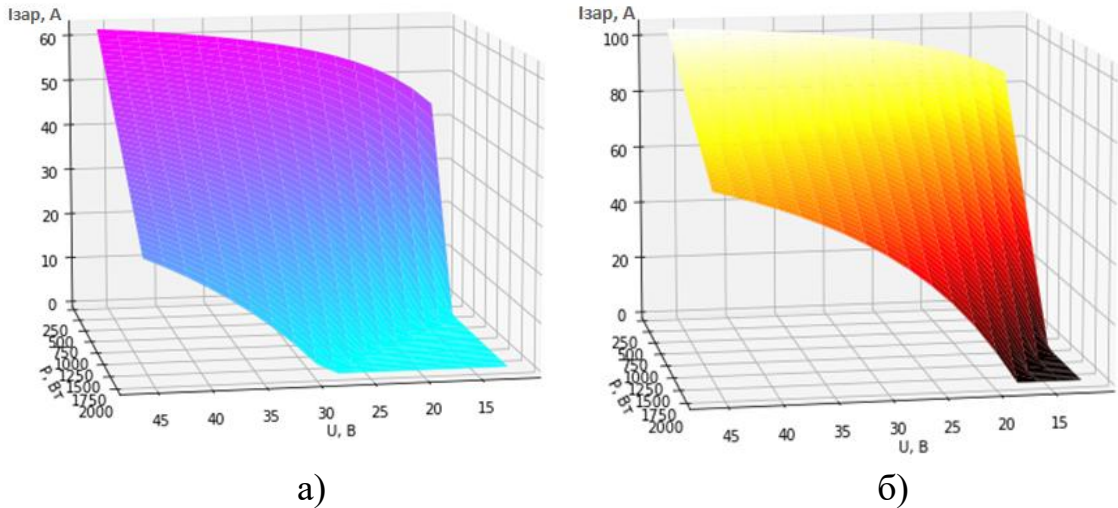


Рисунок 4.10 – Поверхность тока заряда одного элемента АКБ в зависимости от питающего напряжения при заданных оборотах вала:

а) $N=850 \text{ мин}^{-1}$ и б) 2000 мин^{-1} .

Объединим модели (4.6) и (4.7). Для этого найдём значение функции тока заряда одного элемента АКБ как функции переменных: напряжения бортовой сети $U_{\text{борт}}$, мощности потребителей $P_{\text{потр}}$ и оборотов двигателя n .

$$I_{\text{зар}}(U_{\text{борт}}, P_{\text{потр}}, n) = I_{\text{ген}}(n) - \frac{P_{\text{потр}}}{U_{\text{борт}}} \quad (4.11)$$

Задавая критерий рекомендуемого тока заряда одного элемента АКБ, определим напряжение, в наибольшей степени обеспечивающее данный ток заряда.

$$U_{\text{борт}}(n, P_{\text{потр}}) = \lim_{I_{\text{зар}} \rightarrow I_{\text{рек}}} \frac{P_{\text{потр}}}{I_{\text{ген}}(n) - I_{\text{зар}}(U_{\text{борт}}, P_{\text{потр}}, n)}, \quad (4.12)$$

где $I_{\text{рек}}$ – рекомендуемый ток заряда одного элемента АКБ.

Листинг модели приведён в приложении 2.2. На рисунке 4.11 приведена поверхность, иллюстрирующая зависимость напряжения бортовой сети автотранспортного средства, обеспечивающего эффективный заряд АКБ в зависимости от оборотов двигателя и мощности потребления.

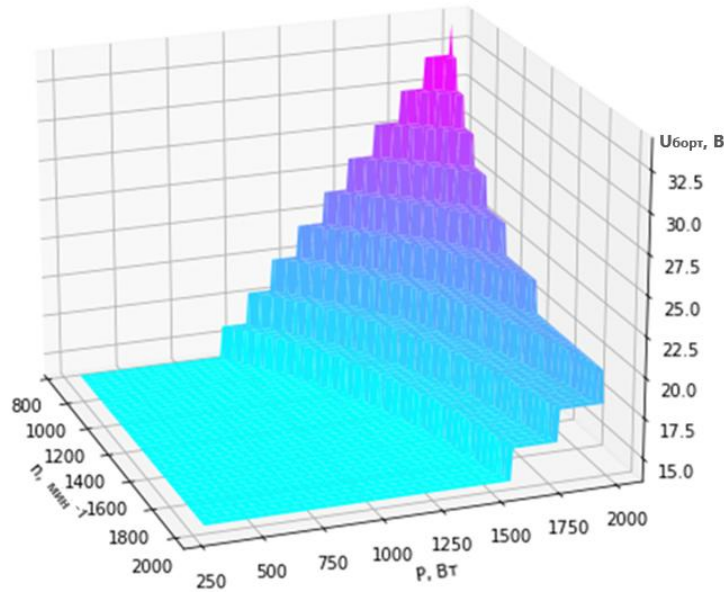


Рисунок 4.11 –Зависимость напряжения бортовой сети автотранспортного средства от оборотов двигателя и мощности потребления, обеспечивающего эффективный заряд АКБ

Анализ полученной зависимости показал, что при мощности свыше 1000 Вт современные генераторы уже не обеспечивают заряд АКБ. Увеличение напряжения бортовой сети позволяет увеличить диапазон энергообеспеченности автотранспортного средства. Однако при дальнейшем увеличении мощности потребителей предел энергообеспеченности достигается достаточно быстро. Так при мощности свыше 1500 Вт, и напряжении питающей сети 24 В, на минимальных оборотах эффективность заряда АКБ снижается.

4.2 Оценка энергообеспеченности автотранспортных средств в динамике

4.2.1 Особенности методики оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей при различных уровнях номинального напряжения

В основу методики оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей при различных уровнях питающего

напряжения положен комплексный анализ работы бортовой сети. В основе существующих методик лежит оценка энергообеспеченности на основе усреднённых параметров работы электрооборудования (глава 2, таблица 2.1). Причём усреднение принимается и по отношению к дорожным испытаниям. Так, принято считать, что большую часть времени движения по городу обороты двигателя находятся в относительно статическом состоянии, что позволяет с некоторой погрешностью провести оценку энергообеспеченности. Использование предлагаемой методики позволяет построить модель анализа энергообеспеченности с учётом как изменения мощности потребителей, так и с учётом изменяющейся токоотдачи генератора, определяемой мгновенной величиной оборотов вала генератора.

Стоит отметить важную особенность предлагаемой методики – возможность учёта и вариации любых параметров модели автотранспортного средства.

К варьируемым параметрам можно отнести такие ключевые параметры потребителей как:

- количество и суммарный ток потребителей (мгновенное значение);
- нелинейность потребляемого тока;
- уровень напряжения бортовой сети автомобиля.

К варьируемым параметрам генерации энергии стоит отнести такие как:

- мгновенное значение оборотов генератора;
- токоскоростная характеристика генератора;
- соотношение скорости вращения вала двигателя и вала генератора;
- различные модели движения автомобиля, учитывающие режим

переключения коробки передач с учётом:

- количества передач и передаточных чисел коробки переключения передач;
- радиуса колеса и передаточного значения редуктора;

Иными словами, данная методика легко адаптируется под любой тип автотранспортного средства и используемого электрооборудования.

4.2.2 Методика оценки энергообеспеченности генератора в реальном режиме эксплуатации

Предложенная выше функция (п.2.3.1), реализованная программным путем, позволяет получить мгновенное значение генерируемого тока. Однако, важной задачей является модель, оценивающая энергообеспеченность в реальном режиме эксплуатации. Для этого на вход должны подаваться параметры, привязанные к шкале времени. Получение таких параметров может быть реализовано как с помощью эксперимента (дорожные испытания), так и с помощью имитации движения по заданному маршруту. Такой подход лежит в основе существующих методов [32].

Рассмотрим программную имитацию работы генератора во временной шкале. Для этого требуется осуществить привязку оборотов двигателя к скорости автомобиля и режимам переключения коробки передач. Рассмотрим модель на примере автомобиля Lada Granta.

Связь между оборотами вала двигателя и скоростью автомобиля определяется коэффициентом передачи редуктора и текущим режимом работы коробки переключения передач. Построим модель, связывающую эти параметры. Зададимся штатными параметрами радиуса колеса, передаточными числами коробки переключения передач 21810-1700014-00 (изображена на рисунке 4.12). Передаточное число редуктора примем равным 3,9.



Рисунок 4.12 – Коробка переключения передач с тросовым приводом.

Листинг программы представлен в приложении 2.3.

На рисунке 4.13 представлены полученные зависимости числа оборотов двигателя от скорости движения автотранспортного средства при разных режимах работы коробки переключения передач.

$$n(V, k_T) = \frac{V \cdot 1000 \cdot k_T \cdot k_{ред}}{60 \cdot l_{колеса}}, \quad (4.13)$$

где n – число оборотов,

V – скорость движения АТС,

k_T – передаточное число коробки переключения передач,

$k_{ред}$ – передаточное число редуктора,

$l_{колеса}$ – длина окружности колеса.

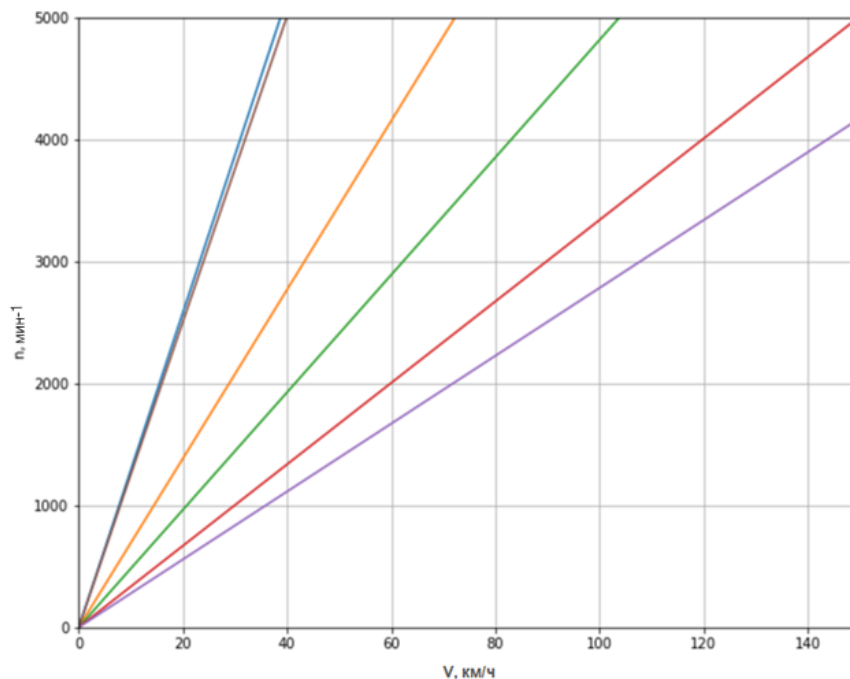


Рисунок 4.13 – Зависимости оборотов двигателя от скорости движения автомобиля при различных режимах коробки переключения передач

Далее построим имитационную модель, однозначно связывающую скорость с текущим режимом работы КПП.

$$n(V) = \begin{cases} n(V, k_T) & \text{при } n(V, k_T) < N_{\max} \\ n(V, k_T) & \text{при } \text{максимальном } k_T \end{cases} \quad (4.14)$$

Примем, что водитель осуществляет переключение передачи, когда число оборотов на тахометре достигает значения 3000 мин^{-1} . Полученная в результате моделирования зависимость числа оборотов двигателя от скорости движения автотранспортного средства приведена на рисунке 4.14 (листинг модели представлен в приложении 2.3). Очевидно, что такое соотношение носит достаточно усреднённый характер, так как не учитывает дорожную обстановку. Значение числа оборотов двигателя, при котором водитель повышает передачу, определяет стиль вождения и задаётся в программе. Более детальное моделирование поведения водителя за рулём выходит за пределы исследования данной диссертационной работы.

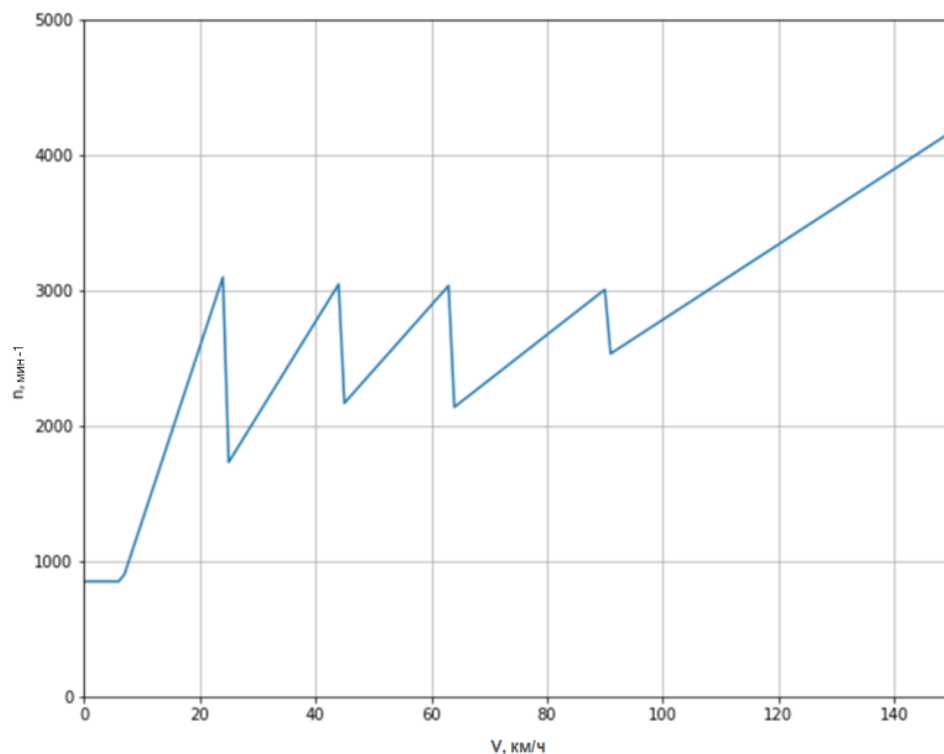


Рисунок 4.14 – Зависимость частоты оборотов двигателя от скорости движения автомобиля при переключении передач

Получим зависимость генерируемого тока от скорости движения автотранспортного средства с помощью функции ICharge.

$$n(V, k_T) = \frac{V \cdot 1000 \cdot k_T \cdot k_{ред}}{60 \cdot l_{колеса}}$$

$$n(V) = \begin{cases} n(V, k_T) & \text{при } n(V, k_T) > N_{\max} \\ n(V, k_T) & \text{при } \text{максимальном } k_T \end{cases}$$

$$I_{ген}(V) = I_{ген}(n(V)) \quad (4.15)$$

Полная модель:

$$I_{ген}(V) = I_{ген} \left(\begin{cases} \frac{V \cdot 1000 \cdot k_T \cdot k_{ред}}{60 \cdot l_{колеса}} & \text{при } n(V, k_T) > N_{\max} \\ \frac{V \cdot 1000 \cdot k_T \cdot k_{ред}}{60 \cdot l_{колеса}} & \text{при } \text{максимальном } k_T \end{cases} \right) \quad (4.16)$$

Листинг модели представлен в приложении 2.3. Зависимость приведена на рисунке 4.15.

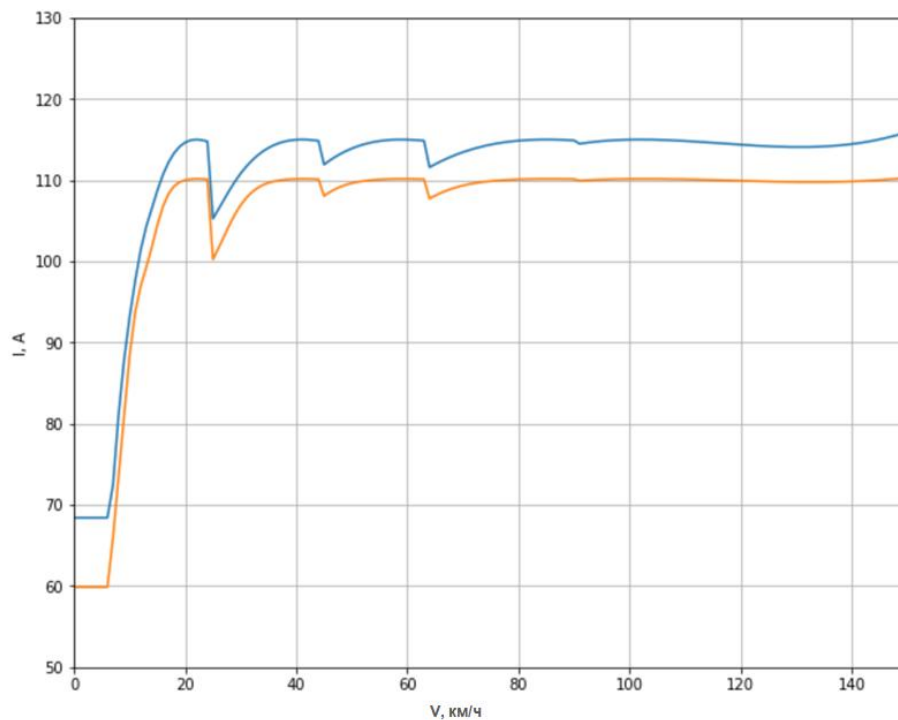


Рисунок 4.15 – Зависимость генерируемого тока от скорости движения автотранспортного средства

Построим поверхности тока заряда АКБ в виде функции скорости и мощности потребителей на основе модели переключения передач, приведённой на рисунке 4.14 (листинг модели приведён в приложении 2.3).

$$I_{зар}(V, P_{потр}) = I_{ген}(n(V) \cdot k_{ген}) - \frac{P_{потр}}{U_{борт}} \quad (4.17)$$

Поверхности для бортовой системы на основе питающих напряжений 12 В и 24 В приведены на рисунке 4.16.

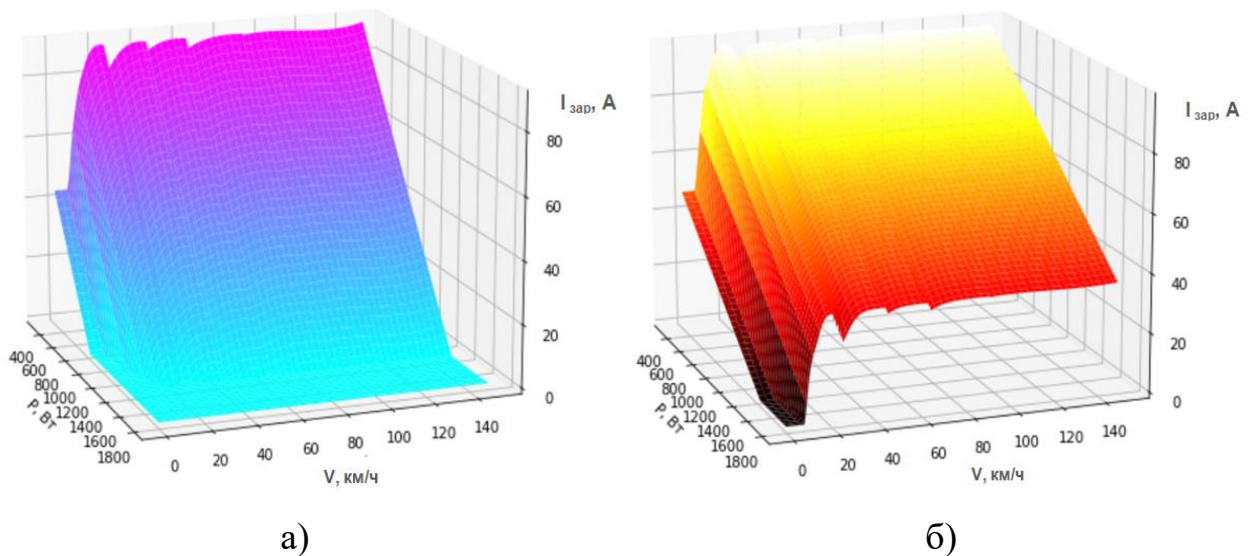


Рисунок 4.16 - Зависимость зарядного тока АКБ от скорости автотранспортного средства и тока потребления бортовой сети: а) для модели генератора 14 В; б) для модели генератора 28 В

Построенные поверхности показывают, что эффективность заряда АКБ достаточно высока на всех скоростях движения автомобиля. Однако стоит заметить, что полученный результат позволяет вести оценку только в статике, когда двигатель находится под нагрузкой и машина едет в пределах одной передачи. Многочисленные наблюдения и анализ поведения водителей за рулём в городской среде показал, что большую часть времени имеет место движение без нагрузки (движение с выжатым сцеплением или на нейтральной передаче), простой (пробки, светофоры, перестроение в плотном потоке), и переключение передач (при разгоне и при торможении). Данные процессы являются

неотъемлемой частью движения в городской среде и должны учитываться при оценке энергообеспеченности. Для этого проведём моделирование типовых действий водителя в динамике.

Действие №1. Стоянка с заведённым двигателем (с минимальным энергопотреблением): данный режим используется для подзаряда АКБ в мороз или при долгом простое. Как правило, автовладельцы максимально отключают потребителей. Обороты двигателя минимальны, ток потребления минимален.

Действие №2. Стоянка с заведённым двигателем и интенсивным обогревом (кондиционированием). Такой режим используется перед непосредственной поездкой. Обороты минимальны, ток потребления значительный. Эта модель также применима при движении автомобиля по инерции (докат до светофора, движение с горы, ожидание светофора, простой в пробке и проч.)

Действие №3. Процесс переключения передачи с повышением. Данный режим характеризуется выжиманием сцепления с отпуском педали газа (быстрым падением оборотов до минимального значения), переключением передачи и последующим повышением оборотов до синхронизации оборотов и скорости автомобиля.

Действие №4. Переключение передачи с понижением. Данный режим носит такой же характер, как и переключение с повышением передачи, но, зачастую, время на минимальных оборотах несколько дольше, так как включает в себя время торможения.

Данные действия имеют общие элементы, и могут быть сведены к достаточно простой модели, состоящей из трёх этапов разной продолжительности:

- этап 1: падение оборотов с текущего значения до минимального;
- этап 2: минимальные обороты сохраняют своё значение;
- этап 3: повышение оборотов до момента синхронизации.

Так как падение оборотов на первом этапе и повышение на третьем происходят достаточно быстро (порядка секунды), а значения оборотов являются

величиной изменяющейся, определяющейся текущей ситуацией, здесь допустимо усреднение. Примем, что первый и второй этап в сумме имеют длительность одну секунду, а средние обороты на этом промежутке времени равны числу N , определяющемуся при моделировании.

Таким образом, функция генерации формируется в виде системы:

$$\begin{cases} n_1(t) \text{ } n_{пу} & t \in (t_0, t_1) \\ n_2(t) \text{ } n_{пу} & t \in (t_1, t_2) \\ \text{К} \\ n_k(t) \text{ } n_{пу} & t \in (t_{k-1}, t_k) \end{cases} \quad (4.18)$$

Функция потребления энергии определится суммарным током потребления:

$$\begin{cases} i_1(t) \text{ } n_{пу} & t \in (t_0, t_1) \\ i_2(t) \text{ } n_{пу} & t \in (t_1, t_2) \\ \text{К} \\ i_k(t) \text{ } n_{пу} & t \in (t_{k-1}, t_k) \end{cases} \quad (4.19)$$

Важно заметить, что значения t в функциях (4.1) и (4.2) находясь в пределах одной поездки имеют не зависящие диапазоны, как и количество диапазонов k не связанные значения, определяющиеся ходом поездки.

4.2.3 Цифровая модель дорожных испытаний при реализации инструмента оценки энергообеспеченности при различных режимах эксплуатации на основе натуральных испытаний

Для демонстрации работы данной методики построим типовой маршрут с учетом параметров городского ездового цикла, согласно ГОСТ Р 41.83–2004 (Правила ЕЭК ООН № 83) [34], проведём натурные испытания и построим модель.

Сформируем модель движения и простоя. Для этого сформируем функцию, определяющую по заданной скорости автотранспортного средства текущие обороты двигателя:

```
#Модель движения в динамике
def Drive(S,T):
    d=0.583
    k=3.9 #4.1 4.3 4.44 - другие возможные передаточные числа редуктора
```

```

l=np.pi*d
TN=np.array([3.636,1.95,1.357,0.941, 0.784, 3.53])
NS=S*1000*TN[T]*k/(60*l) if S*1000*TN[T]*k/(60*l)>850 else 850
return NS

```

Заметим, что режим простоя почти всегда включает два этапа, поэтому, в дальнейшем, ограничимся указанием только режима простоя. Исключения будут указываться дополнительно.

Сформируем модель на основе экспериментальной поездки с видеофиксацией показания тахометра (рисунок 4.17). Маршрут поездки соответствует дневной поездке по городу и состоит из 3-х этапов:

- проезд от исходной точки до первого пункта назначения;
- проезд от первого пункта до второго пункта назначения;
- проезд от второго пункта назначения до исходной точки.



Рисунок 4.17 - Видеофиксация показаний тахометра

Первый и второй этапы проходили в первой половине дня во время повышенной плотности движения (без пробок). Третий этап проходил во второй половине дня до наступления часа пик. Данная модель носит целью продемонстрировать принцип ввода экспериментальных данных в модель оценки энергообеспеченности. В данной работе приведены результаты исследования первых двух этапов. Данные третьего этапа испытаний показали справедливость выводов, полученных при исследовании первых двух этапов.

Дорожные испытания этап первый. Маршрут первого этапа приведён на рисунке 4.18. В таблицу 4.1 сведены данные по режимам движения автомобиля на первом участке поездки.

Для внесения экспериментальных данных в программу воспользуемся алгоритмом представленным в выражении (4.18) через значения текущей скорости движения автотранспортного средства. При внесении данных можно сократить количество операций за счёт наличия типовых значений. Всего при заполнении используются три блока кода. В первом блоке все элементы матрицы заполняются минимальным значением числа оборотов. Затем вносятся участки с постоянным значением оборотов. На последнем этапе вносятся участки ускорений.

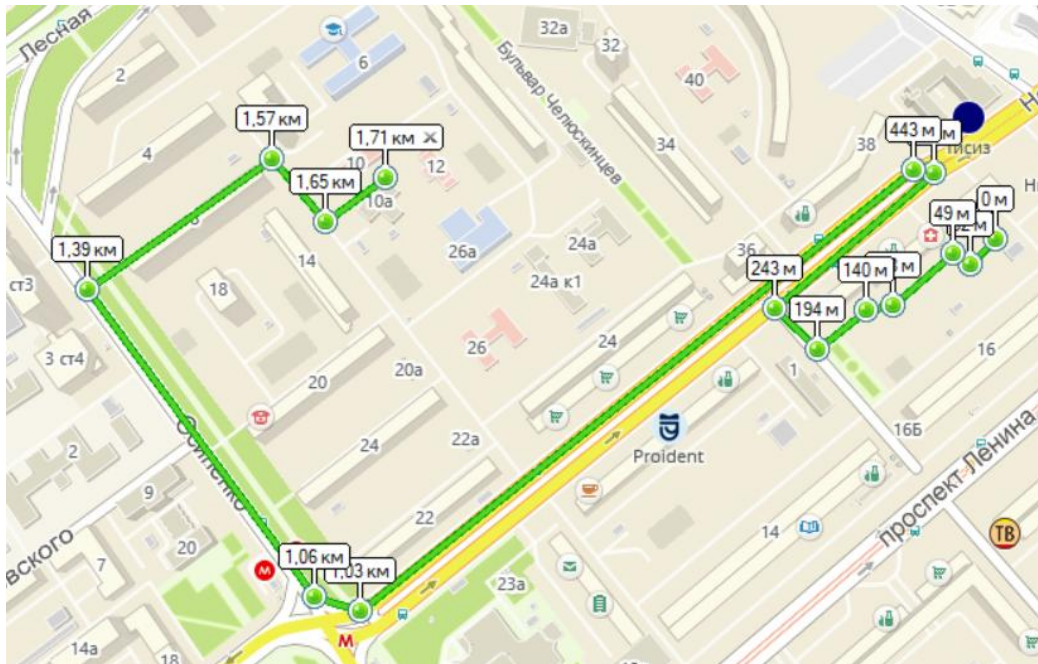


Рисунок 4.18 – Маршрут движения №1

Таблица 4.1 – Экспериментальные данные о поездке №1

| № п/п | Характер движения | Параметры | Диапазон времени | Диапазон времени в сек. |
|-------|-------------------|-----------|------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | n (2 этап) | простой | 0:00-0:19 | 0-19 |
| 2 | R (задний ход) | N=1200 | 0:20-0:58 | 20-58 |
| 3 | n | докат | 0:59-1:27 | 59-87 |
| 4 | 1 | 0-10 км/ч | 1:28-1:33 | 88-93 |
| 5 | 1 | 10 км/ч | 1:34-1:39 | 94-99 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-----|--------------------------|-----------|---------|
| 6 | 1 | 10-20 км/ч | 1:40-1:41 | 100-101 |
| 7 | 1-2 | Переключение без простоя | 1:42-1:44 | 102-104 |
| 8 | n | докат | 1:45-1:50 | 105-110 |
| 9 | 2 | 20 км/ч | 1:51-2:09 | 111-130 |
| 10 | 2-1 | Переключение без простоя | 2:10-2:12 | 131-132 |
| 11 | 1 | 10 км/ч | 2:13-2:19 | 133-139 |
| 12 | n | 850 | 2:20-2:56 | 140-176 |
| 13 | 1 | 0-19 | 2:57-3:02 | 177-182 |
| 14 | 1-2 | Переключение без простоя | 3:03-3:04 | 183-184 |
| 15 | 2 | 19-40 | 3:05-3:16 | 185-196 |
| 16 | n | докат | 3:17-3:29 | 197-209 |
| 17 | 1 | 0-24 | 3:30-3:34 | 210-214 |
| 18 | 1-2 | Переключение без простоя | 3:35-3:36 | 215-216 |
| 19 | 2 | 24-50 | 3:37-3:42 | 217-222 |
| 20 | 2-3 | Переключение без простоя | 3:43-3:44 | 223-224 |
| 21 | 3 | 52 км/ч | 3:45-4:01 | 225-241 |
| 22 | n | докат | 4:02-4:04 | 242-244 |
| 23 | 3 | 50 км/ч | 4:05-4:16 | 245-256 |
| 24 | n | докат | 4:17-4:21 | 257-261 |
| 25 | 3 | 40 км/ч | 4:22-4:33 | 262-273 |
| 26 | n | докат | 4:34-4:57 | 274-297 |
| 27 | 1 | 0-22 | 4:58-5:02 | 298-302 |
| 28 | 1-2 | Переключение без простоя | 5:03-5:04 | 303-304 |
| 29 | 2 | 22-40 | 5:05-5:08 | 305-308 |
| 30 | 2 | 40 км/ч | 5:09-5:12 | 309-312 |
| 31 | n | докат | 5:13-5:21 | 313-321 |
| 32 | 2 | 20 км/ч | 5:22-5:45 | 322-345 |
| 33 | n | докат | 5:46-5:49 | 346-349 |
| 34 | 1 | 0-20 | 5:50-5:54 | 350-354 |
| 35 | n | докат | 5:55-5:59 | 355-359 |
| 36 | 1 | 15 км/ч | 6:00-6:12 | 360-372 |
| 37 | n | докат | 6:13-6:16 | 373-376 |
| 38 | 1 | 10 км/ч | 6:17-6:36 | 377-396 |
| 39 | n | докат-простой | 6:37-6:41 | 397-401 |
| 40 | R | 1200 | 6:42-6:48 | 402-408 |
| 41 | n | простой | 6:49-6:54 | 409-414 |

Введём экспериментальные данные в программу и построим зависимость оборотов двигателя от времени (листинг модели приведён в приложении 2.3). При формировании описания поездки строится зависимость оборотов двигателя от

времени в виде матрицы, где 1 элемент соответствует 1 секунде поездки. Сразу стоит указать, что точность построения модели может быть увеличена произвольно.

Внесение данных осуществляется в три этапа:

– первый этап заключается в заполнении всей матрицы константами, определяющими минимальные значения оборотов. Пример заполнения первого этапа:

```
Trip1[i]=850
```

– второй этап заключается в записи постоянных значений оборотов на заданных участках. Пример заполнения второго этапа:

```
if i>=111 and i<=130: Trip1[i]=Drive(20,1)
```

– третий этап заключается в записи линейно изменяющихся значениях оборотов на заданных промежутках времени. Пример заполнения третьего этапа:

```
t1=88; t2=93; s1=0; s2=10; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
```

На рисунке 4.19 приведена зависимость значения оборотов двигателя от времени.

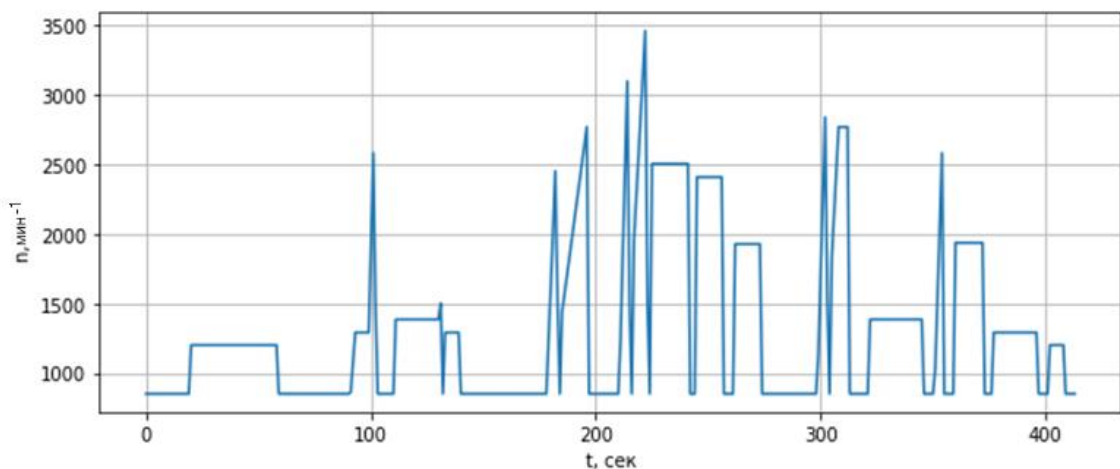


Рисунок 4.19 – Зависимость значения оборотов двигателя от времени

Теперь, когда матрица зависимости оборотов от секунд движения построена, проведём её численный анализ. Построим поверхности, иллюстрирующие зависимость тока заряда АКБ от времени и мощности потребителей для двух потенциальных генераторов, рассмотренных во второй главе (листинг модели приведён в приложении 2.3).

$$I_{зар}(P_{потр}, t) = I_{ген}(n(t) \cdot k_{ген}) - \frac{P_{потр}}{U_{борт}} \quad (4.20)$$

На рисунке 4.20 приведены построенные зависимости.

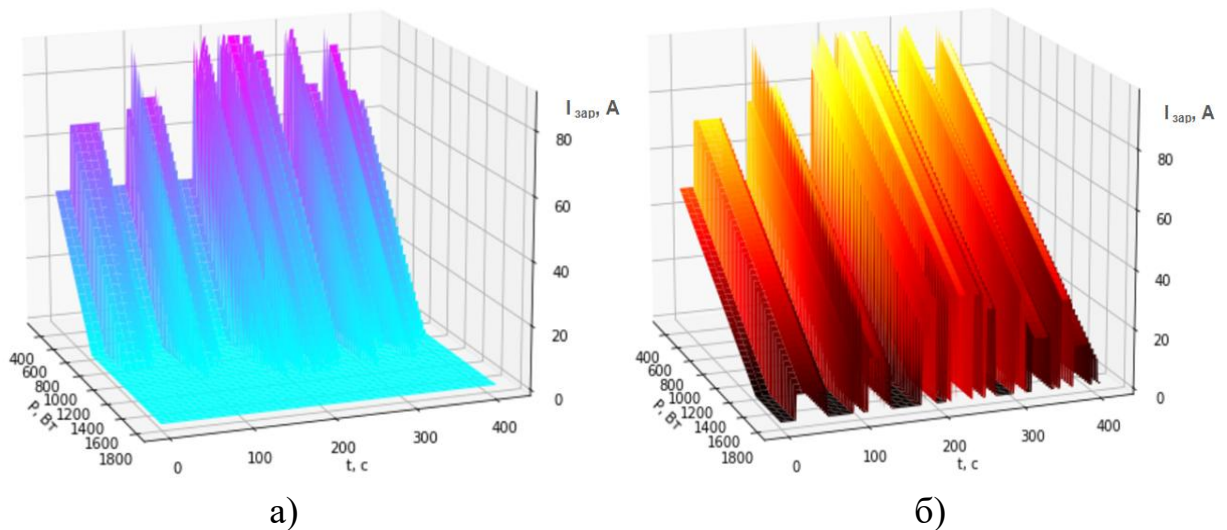


Рисунок 4.20 – Зависимость зарядного тока АКБ от времени и мощности потребителей: а) для модели генератора 14 В; б) для модели генератора 28 В

По построенным поверхностям возможно определить, что имеет место значительное количество провалов в токе заряда АКБ. Особенно это явно выражено на первом графике для генератора на 14 В. Построим линии пересечения поверхностями плоскости нуля (листинг модели приведён в приложении 2.3).

$$P_{ген}(t) = I_{ген}(n(t)) \cdot U_{борт} \quad (4.21)$$

На рисунке 4.21 приведены полученные зависимости. Таким образом, предлагаемая модель обеспечивает проведение исследований, как на основе

экспериментальных данных, так и на основе типовых данных ходовых испытаний. Полученные зависимости показывают, что значительная часть времени поездки состоит из периодов простоя, характеризующихся минимальными оборотами генератора. Стоит заметить, что первая поездка проходила в городских условиях при невысокой загруженности дороги. Основные паузы движения были вызваны светофорами. В случае пробки ситуация значительно усугубиться.

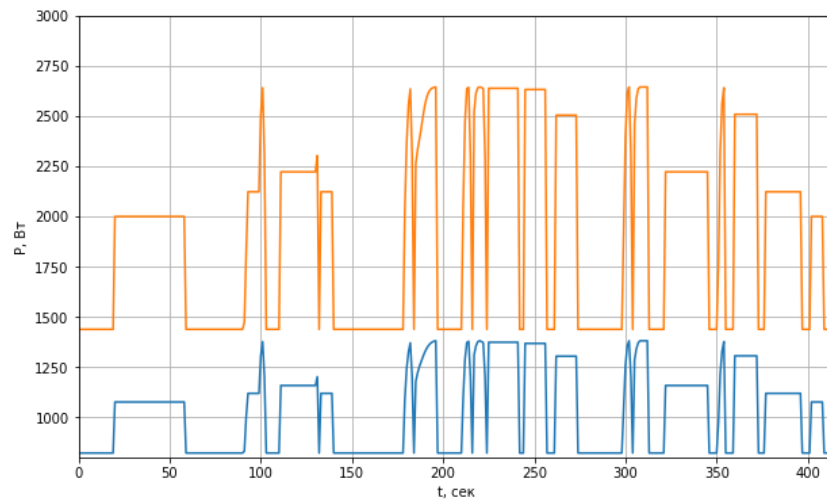


Рисунок 4.21 – Линии пересечения поверхностями плоскости нуля для генераторов на 14 В (синяя линия) и для генератора на 28 В (оранжевая линия).

В показанном примере время на котором обороты двигателя минимальны составляет порядка 40%, в то время как обороты свыше 2000 мин^{-1} , при которых наиболее эффективно обеспечивается дозаряд АКБ, наблюдались лишь в течение 14% времени. Результаты получены простым анализом поездки:

```
mi=0;av=0;ma=0
for i in range(414):
    if Trip1[i]==850: mi=mi+1
    if Trip1[i]>850 and Trip1[i]<2000: av=av+1
    if Trip1[i]>2000: ma=ma+1
print ('Мин. об.= ',mi*100/414, 'Ср.об.= ',av*100/414, 'Выс.об.= ',ma*100/414)
```

✓ 0.3s

Мин. об.= 44.44444444444444 Ср.об.= 41.78743961352657 Выс.об.= 13.768115942028986

Таким образом, можно вести речь о необходимости более точного моделирования ходовых испытаний, для обеспечения корректной оценки энергообеспеченности автотранспортного средства.

Дорожные испытания – этап второй. Маршрут первого этапа приведён на рисунке 4.22. В таблицу 4.2 сведены данные по режимам движения автомобиля на первом участке поездки.

Для внесения экспериментальных данных в программу воспользуемся алгоритмом представленным в выражении (4.18) через значения текущей скорости движения автотранспортного средства. При внесении данных можно сократить количество операций за счёт наличия типовых значений. Всего при заполнении используются три блока кода. В первом блоке все элементы матрицы заполняются минимальным значением оборотов. Затем вносятся участки с постоянным значением оборотов. На последнем этапе вносятся участки ускорений.

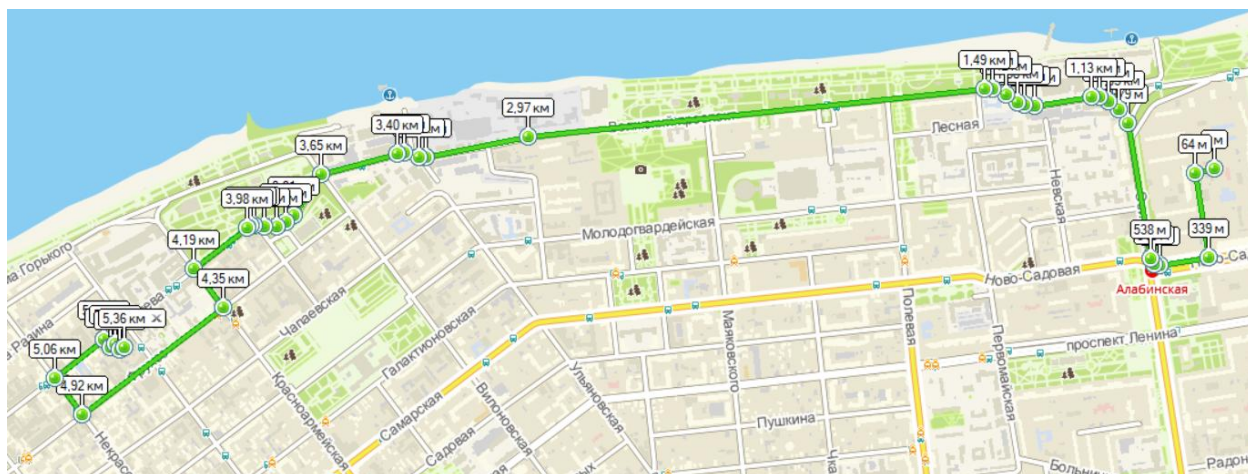


Рисунок 4.22 – Маршрут движения №2

Таблица 4.2 – Экспериментальные данные о поездке №2

| № п/п | Характер движения | Параметры | Диапазон времени | Диапазон времени в сек. |
|-------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | n | Докат-простой | 0:00-0:30 | 0-30 |
| 2 | 1 | 0-5 | 0:31-0:35 | 31-35 |
| 3 | 1 | 5 | 0:36-1:01 | 36-61 |
| 4 | 1 | 5-20 | 1:02-1:08 | 62-68 |
| 5 | 1-2 | Переключение передачи | 1:09-1:10 | 69-70 |
| 6 | 2 | 20-25 | 1:11-1:19 | 71-79 |
| 7 | n | Докат-простой | 1:20-1:28 | 80-88 |
| 8 | 2 | 15-20 | 1:29-1:45 | 89-105 |
| 9 | n | Докат-простой | 1:46-1:55 | 106-115 |
| 10 | 1 | 0-20 | 1:56-2:00 | 116-120 |
| 11 | 1-2 | Переключение передачи | 2:01-2:02 | 121-122 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-----|-----------------------|-----------|---------|
| 12 | 2 | 20-45 | 2:03-2:11 | 123-131 |
| 13 | 2 | 45 | 2:12-2:17 | 132-137 |
| 14 | n | Докат-простой | 2:18-2:20 | 138-140 |
| 15 | 2 | 25-50 | 2:21-2:36 | 140-156 |
| 16 | 2 | 50 | 2:37-2:44 | 157-164 |
| 17 | n | Докат-простой | 2:45-3:17 | 165-197 |
| 18 | 3 | 40-60 | 3:18-3:23 | 198-203 |
| 19 | 3 | 60 | 3:24-2:28 | 204-208 |
| 20 | n | Докат-простой | 3:29-3:35 | 209-215 |
| 21 | 3 | 50 | 3:36-3:57 | 216-237 |
| 22 | n | Докат-простой | 3:58-4:26 | 238-266 |
| 23 | 1 | 0-20 | 4:27-4:31 | 267-271 |
| 24 | 1-2 | Переключение передачи | 4:32-4:34 | 272-274 |
| 25 | 2 | 18-50 | 4:35-4:42 | 275-282 |
| 26 | 2-3 | Переключение передачи | 4:43-4:44 | 283-284 |
| 27 | 3 | 50 | 4:45-5:20 | 285-320 |
| 28 | n | Докат-простой | 5:21-5:26 | 321-326 |
| 29 | 3 | 40-50 | 5:27-5:40 | 327-340 |
| 30 | n | Докат-простой | 5:41-6:03 | 341-363 |
| 31 | 1 | 0-20 | 6:04-6:08 | 364-368 |
| 32 | 1-2 | Переключение передачи | 6:09-6:10 | 369-370 |
| 33 | 2 | 20-40 | 6:11-6:15 | 371-375 |
| 34 | 2-3 | Переключение передачи | 6:16-6:17 | 376-377 |
| 35 | 3 | 40 | 6:18-6:32 | 378-392 |
| 36 | n | Докат-простой | 6:33-6:50 | 393-410 |
| 37 | 1 | 0-20 | 6:51-6:54 | 411-414 |
| 38 | 1-2 | Переключение передачи | 6:55-6:56 | 415-416 |
| 39 | 2 | 20-45 | 6:57-7:07 | 417-427 |
| 40 | n | Докат-простой | 7:08-7-14 | 428-434 |
| 41 | 3 | 30 | 7:15-7:23 | 435-443 |
| 42 | 3-2 | Переключение передачи | 7:24-7:25 | 444-445 |
| 43 | 2 | 30-38 | 7:26-7:30 | 446-450 |
| 44 | 2 | 38 | 7:31-7:48 | 451-468 |
| 45 | n | Докат-простой | 7:49-8:07 | 469-487 |
| 46 | 1 | 0-22 | 8:08-8:10 | 488-490 |
| 47 | 1-2 | Переключение передачи | 8:11-8:12 | 491-492 |
| 48 | 2 | 22 | 8:13-8:21 | 493-501 |
| 49 | 2 | 22-40 | 8:22-8:25 | 502-505 |
| 50 | 2-3 | Переключение передачи | 8:26-8:27 | 506-507 |
| 51 | 3 | 40 | 8:28-9:00 | 508-540 |
| 52 | n | Докат-простой | 9:01-9:14 | 541-554 |
| 53 | 1 | 5 | 9:15-9:23 | 555-563 |
| 54 | n | Докат-простой | 9:24-9:31 | 564-571 |
| 55 | 1 | 0-20 | 9:32-9:36 | 572-576 |
| 56 | 1-2 | Переключение передачи | 9:37-9:38 | 577-578 |
| 57 | 2 | 20-40 | 9:39-9:46 | 579-586 |
| 58 | 2 | 40-20 | 9:47-9:54 | 587-594 |
| 59 | 2 | 20-50 | 9:55-9:59 | 595-599 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-----|-----------------------|-------------|---------|
| 60 | 2-3 | Переключение передачи | 10:00-10:01 | 600-601 |
| 61 | 3 | 50-60 | 10:02-10:04 | 602-604 |
| 62 | 3 | 60-50 | 10:05-10:10 | 605-610 |
| 63 | n | Докат-простой | 10:11-10:50 | 610-650 |
| 64 | 1 | 0-20 | 10:51-10:54 | 651-654 |
| 65 | 1-2 | Переключение передачи | 10:55-10:56 | 655-656 |
| 66 | 2 | 20-40 | 10:57-11:02 | 657-662 |
| 67 | 2 | 40 | 11:02-11:17 | 662-677 |
| 68 | n | Докат-простой | 11:18-11:27 | 678-687 |
| 69 | 2 | 18-30 | 11:28-11:34 | 688-694 |
| 70 | n | Докат-простой | 11:35-12:00 | 695-720 |
| 71 | 1 | 0-20 | 12:01-12:03 | 721-723 |
| 72 | 1-2 | Переключение передачи | 12:04-12:05 | 724-725 |
| 73 | 2 | 20-40 | 12:06-12:13 | 726-733 |
| 74 | 2 | 40 | 12:14-12:24 | 734-744 |
| 75 | n | Докат-простой | 12:25-12:32 | 745-752 |
| 76 | 1 | 5 | 12:33-12:39 | 753-759 |
| 77 | n | Докат-простой | 12:40-12:58 | 760-778 |
| 78 | 1 | 0-10 | 12:59-13:03 | 779-783 |
| 79 | 1 | 10 | 13:04-13:20 | 784-800 |
| 80 | n | Докат-простой | 13:21-13:30 | 801-810 |

Введём экспериментальные данные в программу и построим зависимость оборотов двигателя от времени (рисунок 4.23). Полный листинг модели приведён в приложении 2.3.

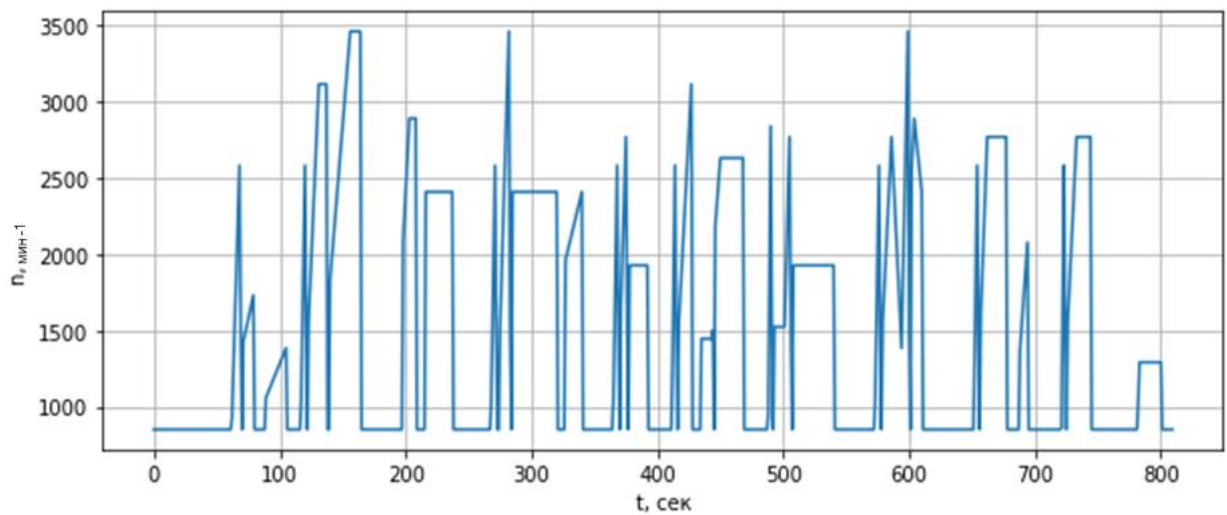


Рисунок 4.23 – Зависимость значения оборотов двигателя от времени

Проанализируем данную поездку с точки зрения количества времени, при котором наблюдались минимальные обороты двигателя:

```

mi=0;av=0;ma=0
for i in range(810):
    if Trip2[i]==850: mi=mi+1
    if Trip2[i]>850 and Trip2[i]<2000: av=av+1
    if Trip2[i]>2000: ma=ma+1
print ('Мин. об.= ',mi*100/810, 'Ср.об.= ',av*100/810, 'Выс.об.= ',ma*100/810)

```

✓ 0.3s

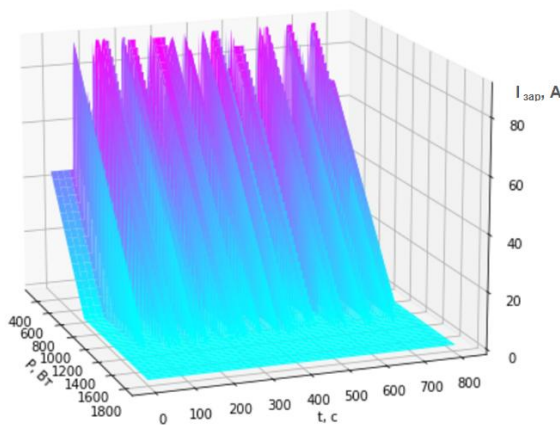
Мин. об. = 49.25925925925926 Ср.об. = 22.098765432098766 Выс.об. = 28.641975308641975

Видно, что время, при котором обороты минимальны выросло и составило почти 50% времени. Даже если учесть, что время, при котором обороты были свыше 2000 выросло в процентном отношении, энергосистема в данных условиях будет испытывать значительную нагрузку. То есть, при интенсивном использовании бортовых электроприборов, дозаряд АКБ будет осложнён. Стоит заметить, что движение на данном участке также как и в первой поездке проходило при умеренной загруженности.

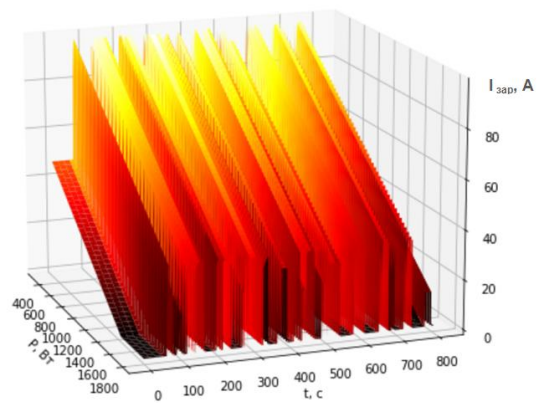
Построим поверхность зарядного тока АКБ от времени и мощности потребителей для двух рассмотренных генераторов на 14 В и 28 В (рисунок 4.24) и линии пересечения данных плоскостей с нулевой поверхностью (рисунок 4.25).

$$I_{зар}(P_{потр}, t) = I_{ген}(n(t) \cdot k_{ген}) - \frac{P_{потр}}{U_{борт}} \quad (4.22)$$

$$P_{ген}(t) = I_{ген}(n(t)) \cdot U_{борт} \quad (4.23)$$



а)



б)

Рисунок 4.24 – Зависимость зарядного тока АКБ от времени и мощности потребителей: а) для модели генератора 14 В; б) для модели генератора 28 В

Применение методики оценки для двух БЭЖ с питающим напряжением 12 и 24 В, показало, что положительный зарядный баланс достигается на минимальных оборотах двигателя: при питающем напряжении 12 В - если уровень мощности потребления менее 800 Вт, а при напряжении 24 В соответственно при мощности потребления менее 1500 Вт. Таким образом, что при переходе на питающее напряжение 24 В энергообеспеченность автомобиля достигается на всем интервале времени поездки.

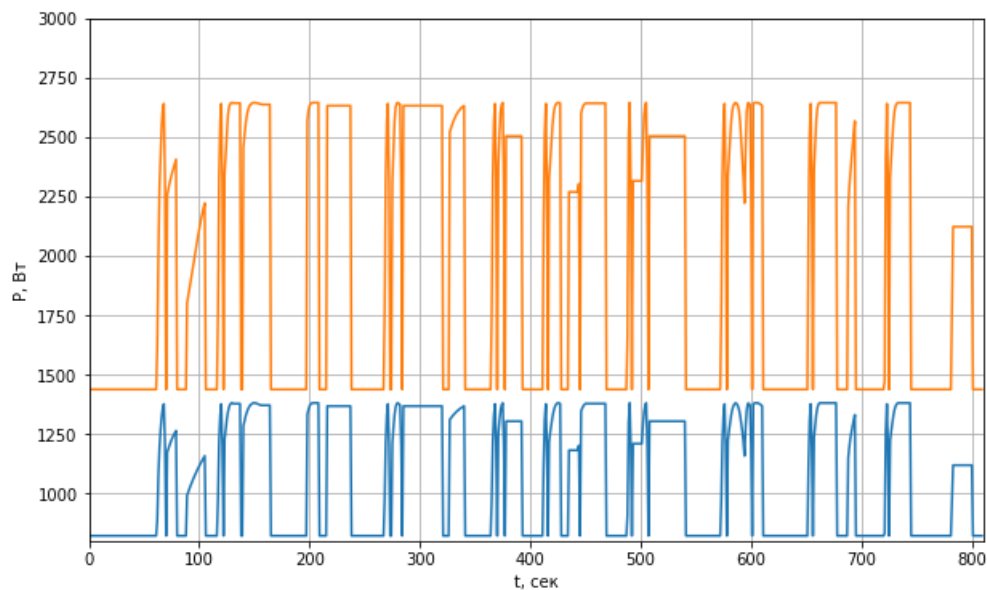


Рисунок 4.25 – Линии пересечения поверхностями плоскости нуля для генераторов на 14 В (синяя линия) и для генератора на 28 В (оранжевая линия).

4.2.4 Влияние уровня напряжения бортовой сети автотранспортного средства на режим заряда аккумуляторной батареи в динамике

По рисункам 4.21 и 4.24 можно сделать вывод, что повышение уровня напряжения бортовой сети автотранспортного средства позволяет обеспечить эффективный заряд аккумуляторной батареи во всех режимах эксплуатации. Однако особенности работы АКБ накладывают свои ограничения на этот процесс. Рассмотрим различные алгоритмы решения задачи повышения энергообеспеченности бортовой сети автотранспортного средства. Так как ключевым параметром положительного зарядного баланса является соотношение

мощностей генератора и потребителей, решение задачи повышения энергообеспеченности может быть достигнуто либо повышением максимального вырабатываемого генератором тока, либо изменением уровня напряжения бортовой сети. Рассмотрим два решения с точки зрения эффективности заряда АКБ.

Повышение уровня вырабатываемого генератором тока. Данное решение выглядит привлекательным исходя из простоты реализации. Для повышения энергообеспеченности можно поставить на автомобиль генератор с большим максимально вырабатываемым током. В этом случае поверхность тока заряда сместится вверх и эффективный заряд будет обеспечиваться на большей «территории» режимов эксплуатации. Однако это приведёт к тому, что в других режимах эксплуатации максимальный ток будет высоким. С одной стороны это потребует ограничение тока зарядки АКБ, с другой повысятся требования к силовым проводам генераторной установки. На сегодняшний день именно такое решение применяется, и оно, как было указано выше, уже достигает допустимых пределов по токовой нагрузке.

Повышение уровня напряжения. Повышение уровня напряжения бортовой сети автомобиля решает проблему зарядного баланса более «бережно». Так как при сохранении максимального вырабатываемого генератором тока, ток потребителей значительно снижается. При этом поверхность тока заряда АКБ меняет угол наклона в меньшую сторону. Важно заметить, что для АКБ крайне важен ток заряда – чем он ниже, тем качественнее заряд. То есть гораздо эффективнее заряжать аккумуляторную батарею малым током долгое время, нежели большим током малое время. При повышении уровня напряжения бортовой сети автотранспортного средства ток заряда становится более постоянным во всех режимах эксплуатации. Получим зависимости тока заряда элементов АКБ для двух рассмотренных генераторов (листинг программы приведён в приложении 2.3).

4.3.4 Моделирование поездки на основе матрицы скоростей

При проектировании автотранспортного средства при различных входных параметрах используются ходовые испытания или их имитация. Для имитации ходовых испытаний, на основе полученных моделей разработан инструментарий, позволяющий получить зависимость генерируемого тока от скорости движения. При этом значения переключения передач определяются в соответствии с моделью, изображённой на рисунке 4.7. Для этого сформируем функцию определения тока генератора от скорости автотранспортного средства:

```
def IGmax(Nn, In, Kgen, Rw, Kred, TN, S, Nmax, Nmin, TopSpeed):
    l=np.pi*Rw*2
    TR=1
    NSA=np.zeros([TopSpeed])
    For s in range (TopSpeed):
        NSA[s]=s*1000*TN[TR-1]*Kred/(60*1) if s*1000*TN[TR-1]*Kred/(60*1)>Nmin else
Nmin
        If NSA[s]>NmaxandTR<=4: TR=TR+1
    n=NSA[int(S)]*Kgen
    tck = interpolate.splrep(Nn, In)
    Igen=interpolate.splev(n,tck)
    Return Igen
```

В приведенной функции учитываются следующие параметры:

N_n и I_n – матрицы узловых точек токоскоростной характеристики генератора; K_{gen} – коэффициент связи оборотов вала генератора и вала двигателя; R_w – радиус колеса автотранспортного средства; K_{red} – передаточное число редуктора; T_N – матрица передаточных чисел КПП; S – мгновенное значение скорости автотранспортного средства; N_{max} – максимальное значение оборотов, при котором происходит повышение передачи; N_{min} – минимальное значение оборотов двигателя; $TopSpeed$ – максимальное значение скорости на этапе моделирования.

При использовании предлагаемой функции для анализа данных таблицы скоростей следует учитывать, что выжимание сцепления или переключение на нейтральную передачу соответствуют скорости 0 км/ч, так как вал генератора останавливается достаточно быстро.

Воспользуемся таблицей 4.1 и построим модель на основе предлагаемой функции. Перепишем таблицу 4.1 для использования предлагаемой функции. Данные сведены в таблицу 4.3. При этом исключены участки движения на нейтральной передаче. Режимы сгруппированы по типу.

Таблица 4.3 – Экспериментальные данные о поездке №1

| № п/п | Характер движения | Параметры | Диапазон времени | Диапазон времени в сек. |
|-------|-------------------|------------------------------|------------------|-------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | R (задний ход) | Эквивалент 1 передача 9 км/ч | 0:20-0:58 | 20-58 |
| 2 | 1 | 10 км/ч | 1:34-1:39 | 94-99 |
| 3 | 2 | 20 км/ч | 1:51-2:09 | 111-130 |
| 4 | 1 | 10 км/ч | 2:13-2:19 | 133-139 |
| 5 | 3 | 52 км/ч | 3:45-4:01 | 225-241 |
| 6 | 3 | 50 км/ч | 4:05-4:16 | 245-256 |
| 7 | 3 | 40 км/ч | 4:22-4:33 | 262-273 |
| 8 | 2 | 40 км/ч | 5:09-5:12 | 309-312 |
| 9 | 2 | 20 км/ч | 5:22-5:45 | 322-345 |
| 10 | 1 | 15 км/ч | 6:00-6:12 | 360-372 |
| 11 | 1 | 10 км/ч | 6:17-6:36 | 377-396 |
| 12 | R | Эквивалент 1 передача 9 км/ч | 6:42-6:48 | 402-408 |
| 13 | 1 | 0-10 км/ч | 1:28-1:33 | 88-93 |
| 14 | 1 | 10-20 км/ч | 1:40-1:41 | 100-101 |
| 15 | 1 | 0-19 | 2:57-3:02 | 177-182 |
| 16 | 2 | 19-40 | 3:05-3:16 | 185-196 |
| 17 | 1 | 0-24 | 3:30-3:34 | 210-214 |
| 18 | 2 | 24-50 | 3:37-3:42 | 217-222 |
| 19 | 1 | 0-22 | 4:58-5:02 | 298-302 |
| 20 | 2 | 22-40 | 5:05-5:08 | 305-308 |
| 21 | 1 | 0-20 | 5:50-5:54 | 350-354 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-----|--------------------------|-----------|---------|
| 22 | 1-2 | Переключение без простоя | 1:42-1:44 | 102-104 |
| 23 | 2-1 | Переключение без простоя | 2:10-2:12 | 131-132 |
| 24 | 1-2 | Переключение без простоя | 3:03-3:04 | 183-184 |
| 25 | 1-2 | Переключение без простоя | 3:35-3:36 | 215-216 |
| 26 | 2-3 | Переключение без простоя | 3:43-3:44 | 223-224 |
| 27 | 1-2 | Переключение без простоя | 5:03-5:04 | 303-304 |

Сформируем матрицу скоростей по принципу, приведённому в параграфе 4.2.3. Внесение данных осуществляется в три этапа:

– первый этап заключается в заполнении всей матрицы константами, определяющими нулевую скорость. Пример заполнения первого этапа:

```
Sp1[i]=0
```

– второй этап заключается в записи постоянных значений скорости на заданных участках. Пример заполнения второго этапа:

```
ifi>=111andi<=130: Sp1[i]=20
```

– третий этап заключается в записи линейно изменяющихся значениях оборотов на заданных промежутках времени. Пример заполнения третьего этапа:

```
t1=88; t2=93; s1=0; s2=10
foriinrange(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
```

В результате заполнения получена матрица Sp1 содержащая полную информацию об изменении скорости автотранспортного средства на заданной участке поездки (полный листинг модели приведён в приложении 2.3). На рисунке 4.26 приведена зависимость скорости автотранспортного средства от времени поездки.

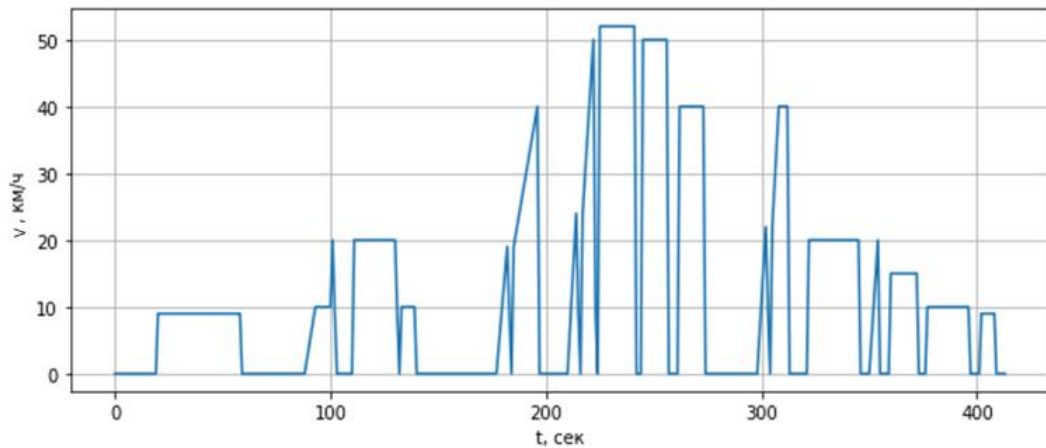


Рисунок 4.26 – Зависимость скорости автотранспортного средства от времени поездки

Применяя в расчете матрицу скорости, можно проводить численное моделирование поездки, задаваясь различными параметрами автотранспортного средства. Проведём моделирование для трёх стилей вождения (рисунок 4.27):

- 1 – режим «в натяг», при переключении передач на значении 2000 мин^{-1} ;
- 2 – нормальный режим, при переключении передач на значении 3000 мин^{-1} ;
- 3 – агрессивный режим, при переключении передач на значении 4000 мин^{-1} .

Рассчитаем ток отдаваемый генератором и построим полученные зависимости (рисунок 4.28). Аналогичным образом формируется матрица токов потребления и производится анализ эффективного заряда АКБ.

$$n(t, k_T) = \frac{V(t) \cdot 1000 \cdot k_T \cdot k_{ред}}{60 \cdot I_{колеса}}$$

$$n(t) = \begin{cases} n(t, k_T) & \text{при } n(t, k_T) > N_{\max} \\ n(t, k_T) & \text{при } \text{максимальном } k_T \end{cases}$$

$$I_{ген}(t) = I_{ген}(n(t)) \quad (4.28)$$

Возможно определить, что стиль вождения мало влияет на энергообеспеченность автотранспортного средства. Это объясняется тем фактом, что генератор вырабатывает ток близкий к максимальному уже при оборотах двигателя близких к 2500 мин^{-1} , что соответствует движению автотранспортного

средства на высоких оборотах. Основная нагрузка на энергосистему автотранспортного средства возникает при минимальных оборотах двигателя.

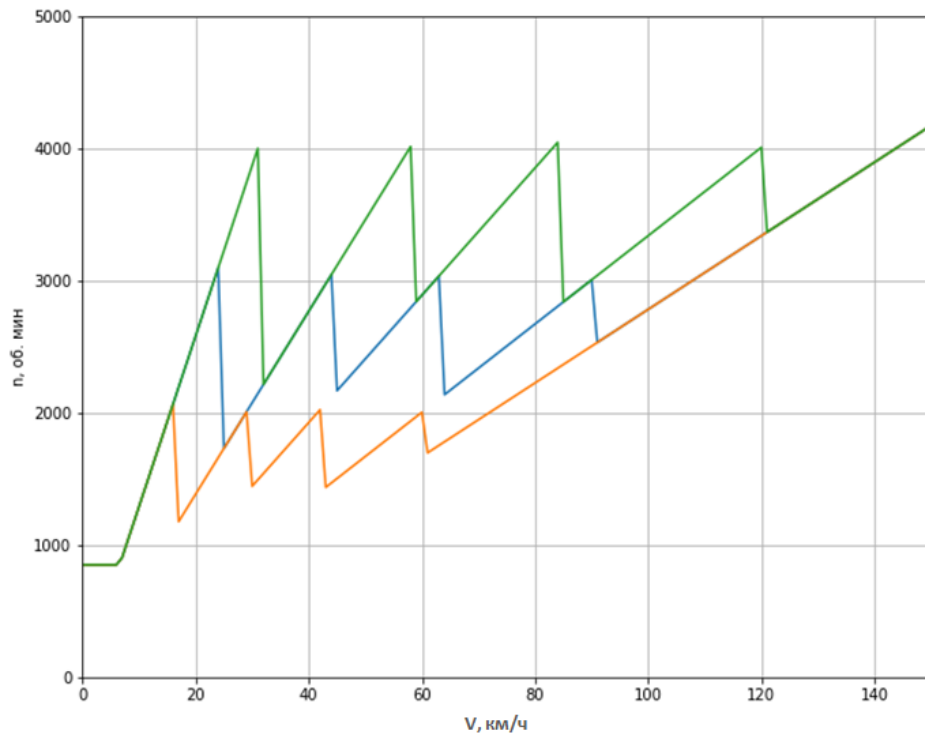


Рисунок 4.27 – Зависимости оборотов двигателя от скорости движения автомобиля

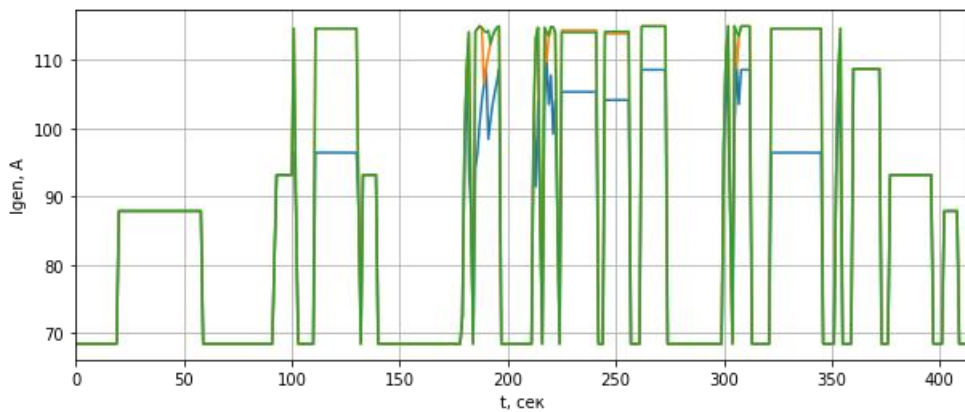


Рисунок 4.28 – Зависимость силы тока, отдаваемого генератором от времени поездки

Характеристика зарядного баланса на основе оборотов двигателя применима только для конкретной модели автомобиля, а предложенная технология формирования матрицы скоростей и построенная на её основе модель

энергообеспеченности обладает универсальностью и возможно её применение для различных моделей автомобиля в реальных условиях эксплуатации.

4.4 Выводы по главе

Разработана методика оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса автомобилей.

1. В результате исследования разработан инструмент определения напряжения бортовой сети автотранспортного средства, исходя из критерия заданного тока заряда элемента АКБ в зависимости от оборотов двигателя и мощности потребления бортовой сети автотранспортного средства.

3. На основе проведённых натурных испытаний разработана методика, позволяющая проводить численное моделирование дорожных испытаний на основе матрицы скорости. Такой подход позволяет выполнять численный анализ энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса при различных параметрах автотранспортного средства. К варьируемым параметрам автотранспортного средства относятся токоскоростная характеристика генератора, совокупная мгновенная мощность потребителей, диаметр колёс, передаточные числа коробки переключения передач, «характер поездки» определяющий условие переключения передач по оборотам двигателя и номинальное напряжения бортовой сети автотранспортного средства.

4. Анализ результатов натурных испытаний наглядно показал, что порядка 40% времени поездки автомобиля по городу БЭК с питающим напряжением 12 В работал в режиме минимальной энергообеспеченности. Применение предложенной методики показало, что при переходе на питающее напряжение 24 В энергообеспеченность автомобиля достигается на всем интервале времени поездки. Таким образом, разработанная методика решает научно-техническую задачу по оценке энергообеспеченности БЭК современных автомобилей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате диссертационного исследования решена важная научно-техническая задача, заключающаяся в совершенствовании средств и методик оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автотранспортных средств при различных уровнях номинального питающего напряжения.

В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

1. Анализ проблемы энергообеспеченности современных автотранспортных средств, проведенный по средствам научно-технического обзора показал, что наблюдаемый в последние десятилетия количественный рост электрооборудования и электронных компонентов в бортовом электротехническом комплексе, привел к существенному увеличению потребляемой мощности, которая не достаточно полно компенсируется системой энергоснабжения с уровнем номинального питающего напряжения равным 12 В.

2. Разработана математическая модель оценки зарядного баланса БЭК автомобиля при различных уровнях номинального питающего напряжения. Математическая модель обеспечивает возможность получения результата оценки уровня зарядного баланса, при изменении питающего напряжения, параметров нагрузки и числа оборотов двигателя. В результате работы с моделью зарядного баланса получены количественные показатели, определяющие зоны отрицательного и положительного зарядных балансов. Зона отрицательного зарядного баланса при существующем уровне напряжения бортовой сети значительная и приходится на режимы эксплуатации при низких оборотах ДВС и высоком уровне энергопотребления. Например, для автомобиля Lada Granta, зона отрицательного баланса находится в диапазоне следующих значений: при токе нагрузки свыше 80 А, что эквивалентно совокупной мощности потребителей равной 1120 Вт, и оборотах двигателя менее 2500 мин⁻¹, при уровне напряжения генератора 14 В.

3. Предложена методика оценки влияния изменения уровня питающего напряжения бортовой сети автомобиля на электротехнические параметры и характеристики основных и вспомогательных электротехнических систем и электрокомпонентов (ЭС и ЭК).

По степени влияния номинального питающего напряжения на электротехнический комплекс современного автомобиля, основные электротехнические системы и электрооборудование предложено разделить на три группы:

- электрооборудование, технико-эксплуатационные характеристики которого практически не зависят от уровня номинального напряжения. В состав группы входят все бортовые электрические машины, как генератор, так и электродвигатели, особенно электродвигатели с возбуждением от постоянных магнитов.

- электрооборудование, технико-эксплуатационные характеристики которого с повышением напряжения ухудшаются. В эту группу входят коммутационная аппаратура и источники света.

- электрооборудование, технико-эксплуатационные характеристики которого улучшаются с повышением напряжения. К этой группе относятся: система зажигания, бортовая электропроводка, система пуска.

4. Разработана методика оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса, позволяющая произвести анализ зарядного баланса автомобиля с учетом параметров городского ездового цикла. Реализация предложенной методики позволяет проводить исследования в области оценки энергообеспеченности бортового электротехнического комплекса современных автомобилей при различных уровнях номинального питающего напряжения и изменяющихся режимах эксплуатации. Анализ результатов натурных испытаний показал, что в условиях городского цикла бортовая сеть автомобиля с питающим напряжением 12 В находится в режиме минимальной энергообеспеченности не менее 40 % времени. При этом условие максимальной энергообеспеченности

наблюдалось 14 % времени поездки. Применение предложенной методики показало, что при переходе на питающее напряжение 24 В энергообеспеченность автомобиля достигается на всем интервале времени поездки.

5. Предложенные научно-технические решения вошли в устойчивую практику ПАО «КАМАЗ» и применяются при планировании и проведении контрольных дорожных испытаний новой автомобильной техники. К достоинствам предложенных программных решений относятся: относительная простота реализации; гибкость программы, обеспечивающая возможность быстрого встраивания различных параметров определяющих дорожные циклы испытаний и алгоритмов обеспечения зарядных/разрядных параметров электрооборудования; приемлемый уровень достоверности результатов работы.

Дальнейшая работа по данной области исследования, просматривается в направлении детализации процесса синтеза электротехнического комплекса электрооборудования современных автомобилей с выбором в качестве рабочего напряжения 24 В. Выбор этого уровня номинального напряжения питания бортовой сети оправдан тем, что является стандартным для бортовых автомобильных систем отдельных проектов грузовых автомобилей, отвечает требованиям электробезопасности, а также наличием опыта разработки и эксплуатации элементов электрооборудования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю благодарность доктору технических наук Шакурскому Максиму Викторовичу, за ценные консультации и всестороннюю помощь. Особую признательность и благодарность автор выражает своему научному руководителю, доктору технических наук, Козловскому Владимиру Николаевичу за поддержку и участие в написании публикаций по теме диссертаций, а также за полезные замечания и плодотворное сотрудничество.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

АКБ – аккумуляторная батарея

АКЭУ – автомобили с комбинированной энергоустановкой

АТС – автотранспортные средства

БЭК – бортовой электротехнический и электронный комплекс

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

КЗ – катушка зажигания

КПД – коэффициент полезного действия

ЛН – лампы накаливания

ММ – математическая модель

СЗ – система зажигания

СРЭ – система распределения электроэнергии

СЭС – система электроснабжения

ТН – тело накала

ТСХ – токоскоростная характеристика

ЭБУ – электронные блоки управления

ЭДС – электродвижущая сила

ЭМБ – электромобили

ЭПС – электропусковая система

ЭС и ЭК – электротехнические системы и электрокомпоненты

ЭТС – электротехнические системы

LED – светодиодные лампы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные генераторы [Текст] / В.И. Васильевский, Ю.А. Купеев // М.: Транспорт, 1978.
2. Акимов, С.В. Справочник по электрооборудованию автомобилей. [Текст] Учебное пособие/ С.В. Акимов, А.А. Здановский, А.М. Корец [и др.]. - М.: Машиностроение. - 1994. - 544 с.
3. Акимов, С.В. Электрическое и электронное оборудование автомобилей [Текст]/ С.В. Акимов, Ю.И. Боровских, Ю.П. Чишков – М.: Машиностроение.- 1988. – 277 с.
4. Акимов, С.В. Электрооборудование автомобилей [Текст]: Учебник для ВУЗов/С.В. Акимов, Ю.П. Чишков – М.:ЗАО КЖИ «За рулем». - 2004. – 384с.
5. Андреев, В.П. Основы электропривода / В. П. Андреев, Ю. А. Сабинин .- 2-е изд.,перераб..- М., Госэнергоиздат, 1963.- 772 с.
6. Анучин, А.С.Разработка цифровых систем эффективного управления комплектов тягового электрооборудования гибридных электрических транспортных средств : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.09.03 / Анучин Алексей Сергеевич; [Место защиты: Нац. исслед. ун-т МЭИ]. - Москва, 2018. - 40 с.
7. Балагуров В.А. Аппараты зажигания. – М., 1968.-252с.
8. Балагуров В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока. – М., 1982.- 272с.
9. Балагуров, В.А. Проектирование электрических аппаратов авиационного электрооборудования : Учеб. пособие / В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев, А.В. Гордон, А.Н. Ларионов; Под ред. А.Н.Ларионова.- М., Оборонгиз, 1962.- 515 с.
10. Банников С.П. Электрооборудование автомобилей. – М., 1970. – 288с.
11. Банников, С. П. Электрооборудование автомобилей [Текст]: Учебное пособие для студентов вузов /С. П. Банников – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт. - 1977. – 288 с.
12. Белоусов, Б. Н. Автомобили с гибридной трансмиссией и КЭУ [Текст]/ Б.Н. Белоусов, И.М. Изосимов, К.Г . Лексин //Автомобильная промышленность. - 2006. - №5. - С. 4 - 6.
13. Беркович Е.И., Ковалев В.Н., Ковалев Ф.И. и др. Полупроводниковые выпрямители. – М., 1978.-448с.
14. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи [Текст]/ Л.А.Бессонов. - М.: Высшая школа. - 1978. – 656 с.

15. Боровских Ю.И., Гутенев Н.И. Электрооборудование автомобилей : [Учеб. пособие для вузов]. - Киев : Выща школа, 1988. - 166, [1] с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 165

16. Брачунова, У.В. Перспективы повышения класса напряжения бортовой сети современного автомобиля / У.В. Брачунова// Приоритетные направления развития науки и технологий: доклады XXX международной науч.-практич. конф.; под общ. ред. В.М. Панарина. – Тула: Инноваци-онные технологии, 2022. – С.199-201.

17. Брачунова, У.В. Исследование влияния изменения номинального напряжения бортовой сети на элементы автомобильной электроники / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский, М.В. Шакурский, А.В. Крицкий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 6.

18. Брачунова, У.В. Исследование перенапряжений в бортовой сети легкового автомобиля при различных уровнях питающего номинального напряжения / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский, М.В. Шакурский, А.В. Крицкий // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 5.

19. Брачунова, У.В. Исследование электротехнических характеристик электропусковой системы автомобиля при различных уровнях номинального напряжения бортовой сети / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский, М.В. Шакурский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 6.

20. Брачунова, У.В. Расчетное исследование технико-эксплуатационных характеристик генераторной установки легкового автомобиля при различных уровнях номинального напряжения бортовой сети / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский М.В. Шакурский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 4. С. 95-105.

21. Брачунова, У.В. Расчетное исследование технико-эксплуатационных характеристик контактов бортового электротехнического комплекса легкового автомобиля при различных уровнях номинального напряжения / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский, М.В. Шакурский, К.В. Киреев // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 5.

22. Брачунова, У.В. Расчетное исследование технико-эксплуатационных характеристик системы зажигания легкового автомобиля при различных уровнях номинального напряжения бортовой сети / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский М.В. Шакурский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 4. С. 84-89.

23. Брачунова, У.В. Расчетное исследование технико-эксплуатационных характеристик электродвигателей вспомогательных систем легкового автомобиля при различных уровнях номинального напряжения бортовой сети / У.В. Брачунова, В.Н. Козловский М.В. Шакурский // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 4. С. 105-109.
24. Брачунова, У.В. Численное моделирование зарядного баланса легкового автомобиля / У.В. Брачунова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 9. С. 453-458.
25. Брачунова, У.В. Решение задачи по определению рационального уровня напряжения бортовой сети легкового автомобиля с помощью численного моделирования зарядного баланса / У.В. Брачунова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки.-2022. № 9. С. 473-482.
26. Брон, О.Б. Электрическая дуга в аппаратах управления. - Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1954. - 532 с.
27. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике [Текст]/ И. Н. Бронштейн, К. А . Семендяев. - М.: Наука. - 1986. - 544 с.
28. Брускин Д. Э. Электроснабжение летательных аппаратов : [Учеб. для энерг. и авиац. спец. вузов] / Д. Э. Брускин, И. М. Синдеев. - М. : Высш. шк., 1988. - 263,[1] с.
29. Буткевич, Г.В. Дуговые процессы при коммутации электрических цепей.- М., Энергия, 1973.- 263 с.
30. Витенберг, М.И. Расчет электромагнитных реле / М. И. Витенберг .- 4-е изд.,перераб.и доп..- Л., Энергия, 1975.- 413 с.
31. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы [Текст] : учеб.для Вузов / А.И.Вольдек, В.В.Попов. – СПб-Пи. : Питер, 2008. - 320 с. : ил. - - ISBN 978-5-469-01380-8
32. Гармаш, Ю.В. Совершенствование систем электрооборудования автомобилей на основе адаптивных преобразователей электрической энергии : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.09.03 / Гармаш Юрий Владимирович
33. Глезер, Г. Н. Автомобильные электронные системы зажигания/Г.Н. Глезер., И.М. Опарин. - М.: Машиностроение. - 1977. - 144 с.
34. ГОСТ Р 41.83–2004 (Правила ЕЭК ООН № 83). Единообразные предписания, касающиеся сертификации транспортных средств в отношении выбросов вредных веществ в зависимости от топлива, необходимого для двигателей. — М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. — 36 с.

35. Данов, Б. А. Электронное оборудование иностранных автомобилей [Текст]: Системы управления двигателем/Б.А. Данов, Е.И. Титов. - М.: Транспорт. - 1998. - 76 с.
36. Данов, Б. А. Электрооборудование военной автомобильной техники. [Текст] Учебное пособие/ Б.А. Данов, В.Д.Рогачев, Н.П. Шевченко; - Рязань.: РВАИ. - 2005. – 518 с.
37. Дебелов, В.В. Моделирование электротехнических систем управления двигателем легкового автомобиля: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Дебелов Владимир Валентинович; [Место защиты: Поволжский государственный университет сервиса].- Тольятти, 2015.- 158 с.
38. Дискретная математика и математическая логика [Текст] / Ю.А.Аляев, С.Ф.Тюрин //М.:Финансы и статистика, 2006 г.
39. Ермолин, Н.П. Расчёт коллекторных машин малой мощности / Н.П. Ермолин. – Л.: Энергия, 1973. – 214 с.
40. Заитин, П. А. Электромобили и гибридные автомобили [Текст]/П.А. Заитин, В.А. Кеменов, И.П. Кееневич – М.:Агроконсалт. - 2004. – 416 с.
41. Заятров, А.В. Комплексная оценка качества и надёжности электрооборудования легкового автомобиля : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.03 / Заятров Алексей Викторович; [Место защиты: Сам. гос. техн. ун-т].- Тольятти, 2013.- 186 с.
42. Злочевский В. С. Системы электроснабжения пассажирских самолетов. — М.: Машиностроение, 1971. — 376 с.
43. Касаткин, А. С. Электротехника [Текст]/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Академия. - 2003. - 539 с.
44. Квайт С.М., Менделевич Я.А., Чижков Ю.П. Пусковые качества и системы пуска автотракторных двигателей. М.: Машиностроение, 1990. - 255 с.
45. Козловский, В.Н. Математическая имитационная модель оценки зарядного баланса автомобиля / В.Н. Козловский, У.В. Брачунова, А.В. Крицкий, А.С. Саксонов // Грузовик. 2021. № 7. С. 17-26.
46. Козловский, В.Н. Практика решений проблем качества продукции, полученная с применением проектной деятельности на автосборочных предприятиях / В.Н. Козловский, Д.И. Благовещенский, А.В. Крицкий, У.В. Брачунова // Качество и жизнь. 2020. № 3 (27). С. 52-61.
47. Козловский, В.Н. Разработка методики межфункциональной проектной деятельности для решения проблем качества автомобилей в эксплуатации / В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров, У.В. Брачунова, А.Д. Муталов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2020. Т. 22. № 1 (93). С. 24-30.

48. Козловский, В.Н. Результаты анализа качества электрооборудования на этапе выходного производственного контроля новых автомобилей / В.Н. Козловский, С.И. Клейменов, А.В. Крицкий, У.В. Брачунова // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 2. С. 43-47.

49. Козловский, В.Н. Экспериментальная база для исследований помехоустойчивости электрооборудования современных автомобилей / В.Н. Козловский, П.А. Николаев, А.С. Подгорный, В.В. Дебелов, У.В. Брачунова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 2. С. 589-595.

50. Козловский, В.Н. Экспериментальные исследования помехоустойчивости электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания и управления автоматизированной коробкой передач / В.Н. Козловский, А.С. Подгорный, У.В. Брачунова, П.А. Николаев, В.В. Дебелов // Электроника и электрооборудование транспорта. 2021. № 1. С. 44-47.

51. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст]/Г. Корн, Т.Корн - Издание пятое. – М.: Наука. - 1984. – 832 с.

52. Кузнецов, Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов [Текст] / по ред. Е.С. Кузнецова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с

53. Купеев Ю.А., Феофанов С.А., Фещенко А.И. Расчет стартерного электродвигателя и параметров аккумуляторной батареи на повышенное номинальное напряжение 36 В // Электроснабжение электрооборудование транспорта. - 2008 - №3 - С.7-11

54. Лисицын, Б.Л. Низковольтные индикаторы : справ. / Б. Л. Лисицын.- М., Радио и связь, 1985.- 136 с.

55. Литвинов, В. С. Тепловые источники оптического излучения (теория и расчет) / В. С. Литвинов, Г. Н. Рохлин . – М. : Энергия, 1975 . – 248 с.

56. Любчик М.А. Расчёт и проектирование электромагнитов постоянного и переменного токов / Под общ. ред. проф. Б. Ф. Вашуры. – М.; Ленинград : Госэнергоиздат, 1959. - 224 с., 1 л. табл.

57. Моделирование информационно-вычислительных процессов. [Текст] / А. А. Марков// М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 360 с.14.

58. Можаяев, В.Н. Электрооборудование тракторов и автомобилей / В.Н. Можаяев. – 3-е изд., перераб., доп. – Москва: Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, 1954. – 358 с.

59. Морозов А.Г. Расчет электрических машин постоянного тока. - М.: Высшая школа, 1972.-224 с.

60. Морозовский В.Г., Синдеев И.М., Рунов К.А. Системы электроснабжения летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973.

61. Набоких, В. А. Катушки зажигания российского производства [Текст]/В.А. Набоких., И.М. Опарин //Автомобильная промышленность. -2006. - № 7. – С. 29-31.

62. Николаев, П.А. Исследование нарушений работоспособности электротехнических систем автотранспортных средств от внешних электромагнитных воздействий / П.А. Николаев, В.Н. Козловский, А.С. Подгорный, А.В. Крицкий, У.В. Брачунова // Электроника и электрооборудование транспорта. 2020. № 5. С. 40-45.

63. Николаев, П.А. Обеспечение электромагнитной совместимости автомобильных систем зажигания : диссертация ... доктора технических наук : 05.09.03 / Николаев Павел Александрович; [Место защиты: ГОУВПО "Самарский государственный технический университет"].- Самара, 2012.- 232 с.

64. Новикова, А.П. Совершенствование системы мониторинга работоспособности электротехнического комплекса автономного транспортного объекта: диссертация ... кандидата Технические науки: 05.09.03 / Новикова Анна Петровна;[Место защиты: ФГБОУ ВО Самарский государственный технический университет], 2016.- 162 с.

65. Опарин И.М., Электронные системы зажигания /И.М. Опарин, Ю.А. Купеев, Е.А. Белов – М.: Машиностроение. - 1987. – 200 с.

66. Опарин И.М., Разработка автомобильных бесконтактных и микропроцессорных систем зажигания с целью повышения надежности и экономичности автомобилей : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.05.03 / Моск. гос. автомобильно-дорожный ин-т. - Москва, 1995. - 38 с.

67. Определение надежности и долговечности автомобильных и тракторных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей в эксплуатации. Отчет / ФНИАИ. Подольск, 1979. - 64 с.

68. Оспанбеков, Б.К.Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей : диссертация ... кандидата технических наук : 05.09.03 / Оспанбеков Бауржан Кенесович; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. - Москва, 2017. - 158 с.

69. ОСТ.37.003.034-77 Баланс электроэнергии автомобилей и автобусов. [Текст] // М.: Министерство автомобильной промышленности, 1978.-22с.

70. Петровский, С.В. Бортовой комплекс диагностики электромагнитной совместимости системы зажигания автомобиля : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.09.03 / Петровский Сергей Валерьевич; [Место защиты: Сам. гос. техн. ун-т]. - Самара, 2016. - 22 с.

71. Пляскин, П.В. Основы конструирования электрических источников света / П. В. Пляскин, В. В. Федоров, Ю. А. Буханов. - М. : Энергоатомиздат, 1983. - 360 с.
72. Подгорний А.С. Совершенствование системы контроля помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автомобилей к электромагнитным воздействиям: диссертация ... кандидата Технические науки: 05.09.03 / Подгорний Александр Сергеевич; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»], 2019
73. Покровский, Г. П. Электронное управление автомобильными двигателями [Текст] Учебное пособие/ Г.П. Покровский. - М.: Машиностроение. - 1994. - 336 с.
74. Полупроводниковые выпрямители/ [Е.И. Беркович, В.Н. Ковалев, Ф.И. Ковалев и др.] ; под ред. Ф. И. Ковалев, к. т. н. и П. П. Мостковой, к. т. н. - 2-е изд., перераб. - Москва : Энергия, 1978. - 447 с.
75. Поляк, Д.Г., Есеновский-Лашков Ю.К. Электроника автомобильных систем управления. - М. : Машиностроение, 1987. - 199 с.
76. Пряшников, В. А. Электроника [Текст]: Курс лекций/ В.А. Пряшников– С.Пб.: Корона – принт. - 1998. - 399 с.
77. Пузаков Андрей Владимирович. Методика диагностирования автомобильных генераторов по параметрам выходного напряжения: диссертация ... кандидата Технические науки: 05.22.10 / Пузаков Андрей Владимирович; [Место защиты: ФГБОУ ВО Оренбургский государственный университет], 2016.- 185 с.
78. Пьянов, М.А. Экспериментальное исследование возможностей производственного комплекса диагностики работоспособности системы электрооборудования автомобилей / М.А. Пьянов, В.Н. Козловский, А.В. Крицкий, У.В. Брачунова // Грузовик. 2020. № 12. С. 6-12.
79. Расчет номинальных параметров стартеров и аккумуляторной батареи для заданных условий холодного двигателя [Текст] / Ю.И. Боровских, А.И. Фещенко // Труды МАДИ , 1977, вып, 132.
80. Раховский, В.И. Разрывные контакты электрических аппаратов / В.И. Раховский, Г.В. Левченко, О.К. Теодорович.- М., Энергия, 1966.- 295 с.
81. Резник, А. М. Электрооборудование автомобилей [Текст]/А.М. Резник, В.П. Осипов - Изд.3-е, перераб. и доп. – М.: Транспорт. - 1988. - 236 с.
82. Ройзен, В.З. Электромагнитные малогабаритные реле / В. З. Ройзен. - Л. : Энергоатомиздат : Ленингр. отд-ние, 1986. - 247,[1] с.
83. РТМ 37.003.031—83 «Изделия автомобильные электронные. Общие технические требования»

84. Румянцева А.Л., Салкин С.С. Перспективные катушки зажигания для современных двигателей. Труды НИИАвтоприборов, вып.58, – М., 1985.

85. Рюденберг, Р. Переходные процессы в электроэнергетических системах : пер. с америк. / Р. Рюденберг.- М., Изд-во иностр.лит., 1955.- 715 с.

86. Саксонов, А.С. Компьютерное моделирование как инструмент обеспечения качества проектирования транспортных генераторных установок / А.С. Саксонов, В.Н. Козловский, У.В. Брачунова, В.А. Губанов // В сборнике: Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении. III Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. Тула, 2022. С. 253-255.

87. Саушев А.В. Теория, методы и средства параметрического управления состоянием электротехнических систем объектов водного транспорта": диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Саушев Александр Васильевич.- Санкт-Петербург, 2016.- 411 с.

88. Сапоженков Н.О. Методика корректирования периодичности заряда автомобильных аккумуляторных батарей в зимний период : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.10 / Сапоженков Николай Олегович; [Место защиты: Оренбург. гос. ун-т]. - Оренбург, 2016. - 17 с

89. Сергеев П.С., Виноградов Н.В., Горяинов Ф.А. Проектирование электрических машин. – М., 1969.- 632с.

90. Сидорин, Е.С. Совершенствование организации технического обслуживания элементов системы электрооборудования легковых автомобилей: диссертация ... кандидата Технические наук: 05.22.10 / Сидорин Евгений Сергеевич;[Место защиты: Оренбургский государственный университет].- Оренбург, 2016 - 148 с.

91. Синельников, А.Х.Электронные приборы для автомобилей / А. Х. Синельников. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1986. - 239 с.

92. Скобелев, В.М. Источники света и пускорегулирующая аппаратура : [Учеб.] / В.М.Скобелев, Е.И.Афанасьева.- М., Энергия, 1973.- 368 с.

93. Соснин, Д. А. Новейшие электронные автомобильные системы [Текст]/Д.А. Соснин, В.Ф. Яковлев. - М.: Солон Пресс. - 2005. – 240 с.

94. Строганов, В.И. Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой: диссертация ... доктора технических наук: 05.09.03 / Строганов Владимир Иванович;[Место защиты: Самарский государственный технический университет].- Самара, 2015.- 356 с.

95. Ступель, Ф.А. Электромеханические реле [текст] : основы теории, проектирования и расчета : учебное пособие / Ступель Ф.А. - Харьков : Изд-во Харьковского университета, 1956. - 355 с.
96. Таев, И.С. Основы теории электрических аппаратов : Учеб. / И.С. Таев, Б.К. Буль, А.Г. Годжелло и др.- М., Высш.шк., 1987.- с.
97. Таев, И.С. Электрические контакты и дугогасительные устройства аппаратов низкого напряжения / И. С. Таев.- М., Энергия, 1973.- 423 с.
98. Твег, Р Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт [Текст]/ Р. Твег. - М.: За рулем. - 1996. - 144 с.
99. Тверг, Р. Система зажигания легковых автомобилей. Устройство, обслуживание и ремонт [Текст]/Р. Тверг. - М.: Изд-во «За рулем». - 1997. - 90 с.
100. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования [Текст] / А.В. Копылова, В.И. Коротков, В.Е.Красильников и др под ред. М.Н. Фесенко // М.: Машиностроение, 1978.
101. ТУ 16.529.216-73. Вентили автотракторные серии ВА. Электротехника СССР, вып.05.04.01-75-М.: Информэлектро, 1975. - 10 с.
102. Феофанов, С.А. Электрические пусковые системы в бортовой сети электрооборудования автомобилей с номинальным напряжением 36 В: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Феофанов Сергей Александрович;[Место защиты: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет "МАДИ"].- Москва, 2014.- 185 с.
103. Феофанова, Л.С. Микропроцессорная система коммутации и защиты бортовой сети автомобиля с использованием интеллектуальных ключей: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Феофанова Лариса Сергеевна;[Место защиты: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет "МАДИ"].- Москва, 2014.- 141 с.
104. Фесенко, М.Н. Теория, конструкция и расчет автотракторного электрооборудования.: Учебное пособие/ М.Н. Фесенко;- М.: Машиностроение - 1979. - 342 с.
105. Хвостов В.С. Электрические машины: Машины постоянного тока: Учеб. для студ. электром. спец. вузов / Под ред. И. П. Копылова. — Москва: Высшая школа, 1988. — С. 336
106. Хортов В.П. Бортовая электросеть напряжением 65 В //Автомобильная промышленность. - 1994 -№3 - С. 10-13.
107. Чернов, А.Е. Методология повышения энергетической эффективности систем электрооборудования автотранспортных средств: диссертация ... доктора Технические науки: 05.09.03 / Чернов Александр Егорович;[Место защиты: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»], 2018

108. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB SimPower- Systems Simulink. СПб: ПИТЕР, 2008.-54с.
109. Чижек, Ю.П. Электрооборудование автомобилей: Учебник для ВУЗов /Ю.П. Чижек, С.В. Акимов – М.: Издательство «За рулем», 1999. - 384 с.
110. Чижек, Ю.П. Электростартерный пуск автотракторных двигателей. [Текст]/Ю.П. Чижек, С.М. Квайт, Н.Н. Сметнев. – М.: Машиностроение. -1985. - 160 с.
111. Чиликин, М.Г. Теория автоматизированного электропривода : Учеб.пособие / М. Г. Чиликин, В. И. Ключев, А. С. Сандлер.- М., Энергия, 1979.- 615 с.
112. Эйдинов, А. А. Математические модели комбинированных силовых установок [Текст]/ А.А. Эйдинов, О.А. Яковлева // Автомобильная промышленность. – 2002. - №1. - С. 17 - 19.
113. Ютт, В. Е. Электронные системы зажигания автомобильных двигателей. [Текст]: учебное пособие/ В.Е. Ютт, О.Л. Блохин. – М.: МАДИ. - 1985. - 100с.
114. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей/ В.Е. Ютт - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М.: Горящая линия – Телеком. - 2006. – 440 с.
115. Ютт, В.Е. Электрооборудование автомобилей/ В.Е. Ютт - М.:Транспорт, 1989. - 287 с.
116. Якунов, Д.М. тенденции научно-технического развития литий-ионных аккумуляторных батарей на автомобильном транспорте / Д.М. Якунов, В.В. Дебелов, В.Н. Козловский, У.В. Брачунова // Грузовик. 2021. № 11. С. 3-7.
117. Dr. Alfons Graf. 48V HEV system introduction and Infineon approach for 48V // Infineon Technologies, 2012.
118. Dr. Alfons Graf. The New Automotive 42V PowerNet Becomes Reality. Stepping into Mass Production, Germany, - Expert-Verlag, 2003, - 356 pg.
119. Kozlovsky, V. Influence of vehicles design and engineering parameters on the onboard electrical complex interference immunity / V. Kozlovsky, A. Podgorny, U. Brachunova, P. Nikolaev, Blagoveshchensky D., Shalda A. // Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2021. 2021. С. 1265-1268.
120. Kozlovsky, V.N. Performance analysis of electrical systems of vehicles under the external electromagnetic exposure / V.N. Kozlovsky, A.S. Podgorny, Y.V. Brachunova, P.A. Nikolaev, N.K. Efimov-Soini // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Scientific-Practical Conference on Quality Management and Reliability of Technical Systems. BRISTOL, 2021. С. 012048.

121. Matlab R2006/2007/2008. Simulink 5/6/7. Основы применения. Серия: Библиотека профессионала [Текст] / В. П. Дьяконов // М.: Солон-Пресс, 2008. — 800 с.
122. URL: <https://www.eltra-group.ru/produktsiya/generatory/vaz/> (дата обращения: 19.04.2022)
123. URL: <https://www.drive2.ru/l/477488214202908735/> (дата обращения: 30.06.2022)
124. URL: <https://www.drive2.ru/l/1214684/> (дата обращения: 19.04.2022)
125. URL: <https://ria.ru/20220430/temperatura-786352938.html?ysclid=17rhc72srb607086692> (дата обращения: 15.03.2022)
126. URL: <http://balsat.ru/statia2.php> (дата обращения: 11.07.2022)

Приложения

Приложение 1. Таблица проанализированных работ по теме исследования

Обзор диссертационных исследований близких к выделенной проблеме, за последние 10 лет. В таблице П.1. представлены соответствующие результаты работы.

Таблица П.1

Таблица обзора диссертационных исследований

| Год | ФИО автора, наименование работы | Элементы научной новизны |
|------|--|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 2012 | <p>Николаев Павел Александрович</p> <p>Обеспечение электромагнитной совместимости автомобильных систем зажигания</p> | <p>1. В рамках концепции технической и экологической безопасности автомобилей предложено научно-техническое направление, обеспечивающее соответствие искровой батарейной системы зажигания (ИБСЗ) требованиям электромагнитной совместимости(ЭМС) по уровню излучаемого электромагнитного поля (ЭМП)[63].</p> <p>2. Создан универсальный комплекс обобщенных математических моделей процесса разрядных помех, создаваемых автомобильной ИБСЗ, учитывающий параметры, влияющие на уровень ЭМП для всех режимов работы ДВС, и позволяющий решить проблемы ЭМС с учетом эксплуатационной наработки[63].</p> <p>3. Разработана математическая модель комплексной оценки соответствия требованиям ЭМС по уровню ЭМП модельных рядов автомобилей, оснащенных ИБСЗ, позволяющая проанализировать выбранные решения с учетом эксплуатационной наработки для улучшения электромагнитной обстановки[63].</p> <p>4. В рамках предложенного научно-технического направления разработан алгоритм проведения контроля уровня ЭМП и диагностики неисправности[63].</p> <p>5. Предложен принцип управления ДВС, заключающийся во введении дополнительного канала обратной связи по разрядным помехам, позволяющий при увеличении уровня ЭМП из-за неисправности ИБСЗ в процессе эксплуатации автомобиля обеспечить соответствие параметрам ЭМС[63].</p> <p>6. Предложены методы обеспечения соответствия предельно допустимым нормам разрядных помех, созданных ИБСЗ при эксплуатации автомобиля в аварийных режимах[63].</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|---|--|
| 2013 | <p data-bbox="309 226 718 259">Зятров Алексей Викторович</p> <p data-bbox="309 297 627 439">Комплексная оценка качества и надёжности электрооборудования легкового автомобиля</p> | <p data-bbox="743 226 1495 439">1. Разработаны эмпирические модели надёжности электрооборудования, обеспечивающие комплексное решение задачи по выбору главных позиций надёжности электрооборудования автомобилей по факторам количества отказов и воспринимаемого уровня качества[41].</p> <p data-bbox="743 477 1495 689">2. Предложена эмпирическая модель оценки ремонтпригодности через показатели надёжности, позволяющая прогнозировать уровень затрат, требуемых для поддержания надёжности перспективных систем электрооборудования автомобилей[41].</p> <p data-bbox="743 728 1495 1059">3. Разработана структура двухконтурной системы и предложен способ статистического регулирования технологического процесса механической обработки компонентов электромеханических устройств, отличающийся от известных ранним определением причин изменчивости, за счёт статистической обработки данных о качестве изготовления, получаемых в динамическом режиме в момент окончания обработки детали[41].</p> |
| 2014 | <p data-bbox="309 1111 571 1173">Феофанова Лариса Сергеевна.</p> <p data-bbox="309 1211 711 1391">Микропроцессорная система коммутации и защиты бортовой сети автомобиля с использованием интеллектуальных ключей</p> | <p data-bbox="743 1111 1495 1391">1. Разработана методика расчета и выбора интеллектуальных силовых ключей (ИСК), в качестве элементов бортовой сети автомобиля, позволяющая учитывать тип коммутируемой нагрузки, потери мощности и технико-экономические параметры. Методика отличается универсальностью, и охватывает весь цикл проектирования[103].</p> <p data-bbox="743 1402 1495 1536">2. Разработан и экспериментально проверен макетный образец ИСК, интегрированный в корпус электромагнитного реле, позволяющий повысить надёжность серийного монтажного блока[103].</p> <p data-bbox="743 1547 1495 1760">3. Проведена опытная оценка работы электродвигателя жидкостного насоса с коммутатором при использовании ИСК совместно с микропроцессорным управлением, обеспечивающим снижение отбора мощности от двигателя внутреннего сгорания и уменьшение расхода топлива[103].</p> <p data-bbox="743 1798 1495 2011">4. Предложена математическая модель, предназначенная для оптимизации расчета потерь мощности в ИСК, для возможности моделирования различных режимов его работы и оценки эффективности в электрической схеме конечного устройства[103].</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|---|--|
| 2014 | <p>Феофанов Сергей Александрович</p> <p>Электрические пусковые системы в бортовой сети электрооборудования автомобилей с номинальным напряжением 36 В</p> | <p>1. Разработана и экспериментально проверена обобщенная методика пересчета обмоток стартера и параметров АКБ при переходе на повышенное номинальное напряжение при сохранении геометрических размеров серийного электродвигателя [102].</p> <p>2. Разработан новый метод построения приводного механизма стартерного электродвигателя независимо от способа его возбуждения[102].</p> <p>3. Разработана эмпирическая математическая модель на основе искусственной нейронной сети, использующая экспериментальные данные стендовых испытаний работы ДВС и стартер генераторной установки в двигательных режимах[102].</p> <p>4. Разработана математическая модель на основе статического табличного наблюдателя с использованием эмпирических данных для определения степени заряженности и фактической ёмкости комбинированных химических источников энергии[102].</p> |
| 2014 | <p>Строганов Владимир Иванович</p> <p>Повышение эксплуатационных характеристик электромобилей и автомобилей с комбинированной энергоустановкой</p> | <p>Разработана концепция повышения эксплуатационных характеристик ЭМБ и АКЭУ, включающая:</p> <p>1. Математическую модель (ММ) циклического движения автомобиля с КЭУ, функционально ориентированную на моделирование городского цикла движения транспортных средств с учетом замедления и торможения с рекуперацией энергии[94].</p> <p>2. ММ энергоемких накопителей гибридных энергоустановок, учитывающая интенсивность токов разрядки и позволяющая с высокой точностью рассчитывать остаточный заряд батареи[94].</p> <p>3. Оптимизацию управляющих воздействий на электропривод колес, позволяющую обеспечивать заданный режим движения при минимальном для этого режима уровне потерь в электродвигателе[94].</p> <p>4. Имитационные модели электронных систем управления движением ЭМБ и АКЭУ и их реализацию в виде принципиальных схем, учитывающие сопряжение алгоритмов управления систем ДВС и электроприводов, с целью повышения комфортности и экономичности движения ТС[94].</p> <p>5. Комплекс аналитических моделей мониторинга и прогнозирования надежности, а также инструментов измерения эффективности проектно-технологических мероприятий по повышению эксплуатационных характеристик ЭМБ и АКЭУ[94].</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|--|---|
| 2015 | <p>Дебелов Владимир Валентинович</p> <p>Моделирование электротехнических систем управления двигателем легкового автомобиля</p> | <p>Предложен комплекс унифицированных имитационных математических моделей электротехнических систем управления двигателем внутреннего сгорания автомобиля, позволяющий:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Управлять ДВС по дополнительному параметру, определяющему вязкость моторного масла[37]; 2. Повысить скорость достижения требуемого момента ДВС автомобиля, регулируя фазы газораспределения[37]; 3. Уменьшить время синхронизации положения коленчатого вала ДВС и определения момента топливоподачи и искрообразования, используя алгоритмы системы «Старт-стоп» [37]; 4. Осуществлять регулирование угла открытия дроссельной заслонки с целью поддержания заданной скорости движения непосредственно через контроллер системы управления ДВС без применения дополнительных блоков управления[37]. |
| 2016 | <p>Новикова Анна Петровна</p> <p>Совершенствование системы мониторинга работоспособности электротехнического комплекса автономного транспортного объекта</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Предложена концепция решения сложной научно-технической задачи помониторингу работоспособности электротехнического комплекса электропитания автономного транспортного объекта[64]. 2. Разработана методика и алгоритм мониторинга сопротивления изоляции электротехнического комплекса электропитания с оценкой критического состояния автономного транспортного объекта, реализуемые на схемах эталонным и коммутируемым делителями напряжения[64]. 3. Проведен параметрический синтез и спроектированы математическая и имитационная модели электротехнической системы мониторинга сопротивления изоляции, учитывающие конфигурацию и структуру электротехнического комплекса электропитания, а также влияние характеристик и тип первичных источников электроэнергии[64]. 4. Предложена техническая реализация системы мониторинга работоспособности электротехнического комплекса электропитания автономного транспортного объекта по критерию сопротивления изоляции шин электропитания[64]. |

| 1 | 2 | 3 |
|------|--|---|
| 2016 | <p>Пузаков Андрей Владимирович</p> <p>Методика диагностирования автомобильных генераторов по параметрам выходного напряжения</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Выявленные и теоретически и экспериментально обоснованные закономерности, отражающие связь между структурными и диагностическими параметрами автомобильных генераторов[77]; 2. Экспресс-метод диагностирования автомобильных генераторов по параметру размаха пульсации выходного напряжения, позволяющий определить не только наличие неисправностей обмоток и диодов выпрямителя, но и степень их развития[77]; 3. Математическая модель, позволяющая оценить остаточный ресурс автомобильных генераторов и влияние на него наработки и температуры окружающего воздуха[77]; 4. Методика оценки и прогнозирования остаточного ресурса автомобильных генераторов, построенная на результатах диагностирования и оценке условий эксплуатации автомобиля, впервые учитывающая величину размаха пульсации выходного напряжения[77]. |
| 2016 | <p>Сидорин Евгений Сергеевич</p> <p>Совершенствование организации технического обслуживания элементов системы электрооборудования легковых автомобилей</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Математическая модель определения потенциала работоспособности системы электрооборудования легковых автомобилей, отличающаяся возможностью определять техническое состояние электрических проводов по вновь введенному обобщенному показателю[90]; 2. Закономерности изменения технического состояния электрических проводов системы электрооборудования легковых автомобилей и их потенциалов работоспособности[90]; 3. Методика определения периодичности технического обслуживания элементов системы электрооборудования легковых автомобилей с учетом допустимого уровня вероятности безотказной работы[90]. |
| 2016 | <p>Петровский Сергей Валерьевич</p> <p>Бортовой комплекс диагностики электромагнитной совместимости системы зажигания автомобиля</p> | <ol style="list-style-type: none"> 1. Разработана математическая модель дуговых процессов в свече зажигания автомобиля[70]; 2. Сформулирована и исследована математическая модель электромагнитных помех в зависимости от параметров системы зажигания[70]; 3. Предложена концепция универсального диагностического комплекса, способного по эмпирическим данным классифицировать причины повышенного уровня помех и обладающего возможностями адаптации и обучения[70]; 4. Спроектированы интеллектуально-информационные инструменты диагностики неисправностей электрооборудования, связанные с электромагнитными помехами и основанные на анализе эмпирических данных[70]. |

| 1 | 2 | 3 |
|------|--|--|
| 2017 | <p>Оспанбеков Бауржан Кенесович</p> <p>Повышение энергетической эффективности и эксплуатационных показателей электромобилей</p> | <p>1. Разработана комплексная математическая модель системы тягового электрооборудования (СТЭО) электромобилей для качественной и количественной оценки зарядно-разрядных режимов аккумуляторной батареи[68].</p> <p>2. Разработаны расчетно-экспериментальные методики для определения эксплуатационных режимов с помощью программной среды Matlab (Simulink), позволяющей оптимизировать аналитическую и расчетную оценку показателей электромобилей, снижающих время и трудозатраты при расчете[68].</p> <p>3. Расчетным путем определены тепловые режимы единичного аккумулятора в составе батарейного модуля для перспективного типа литий-ионных батарей[68].</p> <p>4. Предложена методика определения ресурса тяговых аккумуляторных батарей (ТАБ) с учетом эксплуатационных режимов в стандартизированных ездовых циклах движения и в реальных условиях опытной эксплуатации[68].</p> |
| 2017 | <p>Чернов Александр Егорович</p> <p>Методология повышения энергетической эффективности систем электрооборудования автотранспортных средств</p> | <p>1. Разработана и научно обоснована методика имитационного моделирования систем электроснабжения с учетом мгновенных значений токов и напряжений в бортовой сети для определения расхода топлива двигателем на работу системы электроснабжения. Методика позволяет проводить синтез способов управления напряжением генераторной установкой автотранспортных средств различного функционального назначения, улучшающих показатели топливной экономичности[107].</p> <p>2. Теоретически обоснована и практически реализована концепция автоматического управления уровнем напряжения генераторной установки, обеспечивающая снижение расхода топлива за счет введения взаимосвязи степени заряженности аккумуляторной батареи с указанным уровнем напряжения. При этом диапазон изменения уровня напряжения в бортовой сети удовлетворяет существующим требованиям к автотракторному электрооборудованию[107].</p> <p>3. Разработаны измерительный комплекс и методика для испытаний систем электроснабжения автотранспортных средств в эксплуатации, обеспечивающие возможность оценки качества работы систем по расходу топлива и по функциональным показателям[107].</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|---|--|
| 2017 | <p data-bbox="308 226 517 293">Гармаш Юрий Владимирович</p> <p data-bbox="308 331 694 546">Совершенствование систем электрооборудования автомобилей на основе адаптивных преобразователей электрической энергии</p> | <p data-bbox="738 226 1497 293">Научная новизна исследования заключается в разработке:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="738 331 1497 622">1. Новых принципов построения электрооборудования и теоретических положений по улучшению эксплуатационных характеристик бортового электрооборудования автомобиля, заключающиеся в организации дифференцированного питания потребителей с помощью регулируемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников энергии[32]; <li data-bbox="738 660 1497 987">2. Математической модели системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания с конденсаторным накопителем энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные, на основе которых разработаны электрические устройства, конструктивные и технологические решения, обеспечивающие повышение мощности системы пуска двигателя, с учетом температуры окружающей среды[32]; <li data-bbox="738 1025 1497 1283">3. Математических моделей и предложенных на их основе устройств системы зажигания, содержащих для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот - понижающий преобразователь, напряжения которых обеспечивают постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению[32]; <li data-bbox="738 1321 1497 1536">4. Технических решений системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающих с учетом температурного режима повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи[32]; <li data-bbox="738 1574 1497 1794">5. Технических решений по разделению прикладываемых к потребителям электрической энергии напряжений, формируемых источником вторичного электропитания, обеспечивающего напряжение на уровне номинального, независимое от напряжения аккумуляторной батареи[32]; <li data-bbox="738 1832 1497 1977">6. Электроприводов вспомогательного оборудования, обеспечивающих плавное регулирование напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального[32]. |

| 1 | 2 | 3 |
|------|--|---|
| 2018 | <p data-bbox="309 226 719 510">Анучин Алексей Сергеевич</p> <p data-bbox="309 297 719 510">Разработка цифровых систем эффективного управления комплектов тягового электрооборудования гибридных электрических транспортных средств</p> | <p data-bbox="743 226 1497 439">1. Сформулирован метод оценки требований к тяговым электроприводам, позволяющий определить необходимую мощность и диапазон регулирования вверх от номинальной скорости с учетом особенностей конкретного типа тяговой электрической машины[6].</p> <p data-bbox="743 479 1497 696">2. Для всех основных типов тяговых электроприводов получены предельные механические характеристики и определены эффективные области их применения с учетом необходимого диапазона регулирования скорости выше номинальной и эффективности использования силового преобразователя[6].</p> <p data-bbox="743 736 1497 913">3. Разработаны алгоритмы управления потоками мощности в гибридной электротрансмиссии, обеспечивающие максимальную автономность устройств и энергетический баланс между источниками мощности и потребителями[6].</p> <p data-bbox="743 954 1497 1171">4. Разработаны алгоритмы самосенсорной идентификации положения ротора тяговых вентильно-индукторных электроприводов независимого возбуждения, основанные на инъекции напряжения в статорные обмотки и анализе отклика в обмотке возбуждения[6].</p> <p data-bbox="743 1211 1497 1464">5. Разработаны алгоритмы идентификации скорости вращения тяговых электроприводов, обеспечивающие измерение скорости, синхронизированное с выполнением основных алгоритмов управления, что обеспечивает минимальную задержку измерения с одновременным поддержанием максимальной точности[6].</p> <p data-bbox="743 1505 1497 1722">6. Разработаны алгоритмы автоматической настройки параметров регуляторов и автоподстройки параметров наблюдателей состояния тяговых электроприводов в структурах векторного управления для компенсации девиации параметров при изменении температуры электрической машины[6].</p> <p data-bbox="743 1762 1497 1939">7. Сформулирован общий подход к методам повышения надежности тягового электрооборудования путем превентивной идентификации неисправностей средствами системы управления[6].</p> |

| 1 | 2 | 3 |
|------|---|--|
| 2019 | <p data-bbox="309 226 619 293">Подгорний Александр Сергеевич</p> <p data-bbox="309 331 715 622">Совершенствование системы контроля помехоустойчивости бортового электротехнического комплекса автомобилей к электромагнитным воздействиям</p> | <p data-bbox="740 226 1501 622">1. Разработана система контроля БЭКавтотранспортных средств по параметрам ЭМС исходя из перспектив развития технологий электромобилей (ЭМБ) и автомобилей с комбинированной энергоустановкой (АКЭУ), отличающаяся от известных учетом неопределенности ориентации автомобиля по отношению к источнику излучения, параметров широкополосного воздействия ЭМП, а также комплексностью оценки помехоустойчивости БЭК в ездовом цикле новых АТС[72].</p> <p data-bbox="740 629 1501 768">2. Предложен алгоритм системы контроля ЭМС, позволяющий определить предельно допустимый уровень помехоустойчивости БЭК АТС в заданном диапазоне частот электромагнитных воздействий[72].</p> <p data-bbox="740 775 1501 954">3. Разработана вероятностная математическая модель и критерий оценки соответствия БЭК партии новых АТС, по требованиям помехоустойчивости, в условиях массового автомобильного производства[72].</p> |

Приложение 2. Листинги программ ЭВМ

Приложение 2.1. Анализ зарядного баланса автотранспортного средства

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import interpolate
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
#1. Первичный анализ
#Проведём аппроксимацию сплайном
def IC2S(n):

Nn=np.array([1200,1400,1600,1800,2000,2200,2400,2600,2800,3000,3200,3400,3600,3800,40
00,4200,4400,4600,4800,5000,5200,5600,6000,7000])

Ig=np.array([0,12,20,28,39,46,53,60,66,72,78,83,89,93,97,100,103,105,108,110,112,114,
115,115])
    tck = interpolate.splrep(Nn, Ig)
    return interpolate.splev(n,tck)
def IC1S(n):
    Nn=np.array([1400,1600,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
    Ig=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
    tck = interpolate.splrep(Nn, Ig)
    return interpolate.splev(n,tck)

#Проведём аппроксимацию полиномиальной регрессионной моделью
def IC2R(n,D):

Nn=np.array([1200,1400,1600,1800,2000,2200,2400,2600,2800,3000,3200,3400,3600,3800,40
00,4200,4400,4600,4800,5000,5200,5600,6000,7000])

Ig=np.array([0,12,20,28,39,46,53,60,66,72,78,83,89,93,97,100,103,105,108,110,112,114,
115,115])
    u=np.polyfit(Nn,Ig,deg=D)
    U=0.
    for i in range(D+1):
        U=U+u[i]*n**(D-i)
    return U
def IC1R(n,D):
    Nn=np.array([1400,1600,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
    Ig=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
    u=np.polyfit(Nn,Ig,deg=D)
    U=0.
    for i in range(D+1):
        U=U+u[i]*n**(D-i)
    return U
n=np.arange(1400,10000,10)
plt.figure(figsize=(8,8))
plt.plot(n,IC1S(n))
plt.plot(n,IC1R(n,2))

```

```

plt.xlabel('n, об. мин'); plt.ylabel('I, A'); plt.grid()
plt.plot(np.arange(30, 150, 1),np.arange(30,150, 1)*14)
plt.xlabel('I, A'); plt.ylabel('P, Вт'); plt.grid()
m=100 #количество точек графика
K=2.48
n=850+np.arange(m)*(4000-850)/m
plt.plot(n,14*IC1R(n*K,2))
plt.plot(n,14*IC1S(n*K))
plt.xlabel('n, об. мин. '); plt.ylabel('P, Вт'); plt.grid()
#Сформируем 3D модель зарядного баланса без учёта аккумулятора
def CBR(i,n,U):
    return IC1R(n,2)*U-i*U
def CBS(i,n,U):
    return IC1S(n)*U-i*U
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
m=100; K=2.48
I=np.arange(30,150,1)
N=n=850+np.arange(m)*(4000-850)/m
X, Y = np.meshgrid(I,N)
SurfR=np.array(CBR(X,Y*K,14))
SurfS=np.array(CBS(X,Y*K,14))
ZR=SurfR.reshape(X.shape)
ZS=SurfS.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,ZS, cmap='cool')
plt.xlabel('I, A'); plt.ylabel('n, об. мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 20)
plt.show()
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, ZR, cmap='hot')
plt.xlabel('I, A'); plt.ylabel('n, об. мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 20)
plt.show()

#Найдём точки пересечения функции с нулём: EB1(i,n)=0 в сечении оборотов
def EB1zeroR(n):
    Nn=np.array([1400,1600,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
    Ig=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
    u=np.polyfit(Nn,Ig,deg=2)
    K=2.48; nk=n*K
    i=u[0]*nk**2+u[1]*nk+u[2]
    return i
def EB1zeroS(n):
    Nn=np.array([1400,1600,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
    Ig=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
    tck = interpolate.splrep(Nn, Ig)
    K=2.48; nk=n*K
    return interpolate.splev(nk,tck)

```

```

i=np.arange(100)
plt.plot(i*20+850,EB1zeroS(i*20+850))
plt.plot(i*20+850,EB1zeroR(i*20+850))
plt.ylabel('I, A'); plt.xlabel('n, об. мин. '); plt.grid()
plt.figure(figsize=(10,8))
i=np.arange(100)
plt.plot(i*35+850,EB1zeroS(i*35+850))
plt.plot(i*35+850,EB1zeroR(i*35+850))
plt.xlim(850,4000); plt.ylim(30,150)
plt.xlabel('n, об. мин '); plt.ylabel('I, A'); plt.grid()

```

Приложение 2.2. Анализ энергообеспеченности автотранспортного средства в статике

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import interpolate
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
def ChargeEffS(i,n):
    I=IC1S(n)-i
    return I
def ChargeEffR(i,n):
    I=IC1R(n,2)-i
    return I
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
m=100; K=2.48
I=np.arange(30,150,1)
N=n=850+np.arange(m)*(4000-850)/m
X, Y = np.meshgrid(I,N)
SurfR=np.array(ChargeEffR(X,Y*K))
SurfS=np.array(ChargeEffS(X,Y*K))
for i in range(100):
    for j in range(120):
        if SurfR[i,j]<0: SurfR[i,j]=0
        if SurfS[i,j]<0: SurfS[i,j]=0
ZR=SurfR.reshape(X.shape)
ZS=SurfS.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,ZS, cmap='cool')
plt.xlabel('I, A'); plt.ylabel('n, об. мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 20)
plt.show()
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, ZR, cmap='hot')
plt.xlabel('I, A'); plt.ylabel('n, об. мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 20)
plt.show()

```

```

#Аппроксимация токоскоростных характеристик для генераторов 12 В и 24 В
Nn12=np.array([1400,1601,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
Ig12=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
Nn24=np.array([1230,1280,1800,2110,2400,2840,3280,4260,5000,6400,8000,10000])
Ig24=np.array([10,20,40,60,70,80,90,100,106,110,110,110])
i=np.arange(100)
X=np.zeros((100))
Y12=np.zeros((100)); Y24=np.zeros((100))
for i in range(100):
    X[i]=i*35+850
    TT1=ICharge(Nn12,Ig12,X[i],0)
    TT2=ICharge(Nn24,Ig24,X[i],0)
    Y12[i]=TT1[2]; Y24[i]=TT2[2]
plt.figure(figsize=(10,8))
plt.xlim(850,4000); plt.ylim(30,150)
plt.plot(X,Y12); plt.plot(X,Y24)
plt.xlabel('n, об. мин'); plt.ylabel('I, A'); plt.grid()

#Поверхности тока заряда АКБ при разных напряжениях бортовой сети
def IC12(n):
    Nn=np.array([1400,1600,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
    Ig=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
    tck = interpolate.splrep(Nn, Ig)
    return interpolate.splev(n,tck)
def IC24(n):
    Nn=np.array([1230,1280,1800,2110,2400,2840,3280,4260,5000,6400,8000,10000])
    Ig=np.array([10,20,40,60,70,80,90,100,106,110,110,110])
    tck = interpolate.splrep(Nn, Ig)
    return interpolate.splev(n,tck)
def ChargeEf12(p,n):
    I=IC12(n)-p/12
    return I
def ChargeEf24(p,n):
    I=IC24(n)-p/24
    return I
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
m=100; K=2.48
P=np.arange(360,1800,10)
N=n=850+np.arange(m)*(4000-850)/m
X, Y = np.meshgrid(P,N)
Surf12=np.array(ChargeEf12(X,Y*K))
Surf24=np.array(ChargeEf24(X,Y*K))
for i in range(100):
    for j in range(144):
        if Surf12[i,j]<0: Surf12[i,j]=0
        if Surf24[i,j]<0: Surf24[i,j]=0
Z12=Surf12.reshape(X.shape)

```



```

Z24=Surf24.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z12, cmap='cool')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('n, об. мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 20)
plt.show()
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, Z24, cmap='hot')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('n, об. мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 20)
plt.show()

#Поверхность генерируемой мощности в зависимости от оборотов
#двигателя и величины напряжения бортовой сети
def ChargeEf(u,n):
    p=IC12(n)*u
    return p
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
U=np.arange(14,56,2)
N=np.arange(850,4000,10)
X, Y = np.meshgrid(U,N)
Surf1=np.array(ChargeEf(X,Y*K))
Z1=Surf1.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z1, cmap='cool')
plt.xlabel('U, В'); plt.ylabel('n, об./мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()

#Ток заряда одной банки аккумулятора (с учётом потребителей)
P=1000
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
U=np.arange(12,48,2)
N=np.arange(850,4000,10)
X, Y = np.meshgrid(U,N)
Surf2=np.array(ChargeEf(X,Y*K)/(X*X/2)-P/(X*X/2))
for i in range(315):
    for j in range(18):
        if Surf2[i,j]<0: Surf2[i,j]=0
Z2=Surf2.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z2, cmap='cool')
plt.xlabel('U, В'); plt.ylabel('n, об./мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 80)
plt.show()

```

```

P=1200
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
U=np.arange(12,48,2)
N=np.arange(850,4000,10)
X, Y = np.meshgrid(U,N)
Surf3=np.array(ChargeEf(X,Y*K)/(X*X/2)-P/(X*X/2))
Z2=Surf3.reshape(X.shape)
for i in range(315):
    for j in range(18):
        if Surf3[i,j]<0: Surf3[i,j]=0
ax.plot_surface(X,Y,Z2, cmap='hot')
plt.xlabel('U, В'); plt.ylabel('n, об./мин. '); plt.grid()
ax.view_init(15, 80)
plt.show()

```

#Ток заряда одной банки аккумулятора (с учётом потребителей)

```

N=2000
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
U=np.arange(12,48,2)
P=np.arange(300,1800,10)
X, Y = np.meshgrid(U,P)
Surf4=np.array(ChargeEf(X,N*K)/(X*X/2)-Y/(X*X/2))
for i in range(150):
    for j in range(18):
        if Surf4[i,j]<0: Surf4[i,j]=0
Z4=Surf4.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z4, cmap='cool')
plt.xlabel('U, В'); plt.ylabel('P, Вт'); plt.grid()
ax.view_init(10, 80)
plt.show()

```

#Задача поиска напряжения генератора по условию рекомендуемого тока заряда:

```

K=2.48
U=np.arange(14,56,2) #18
Bank=np.arange(6,28) #18
P=np.arange(300,2000,10) #170
N=np.arange(850,4000,10) #315
Ich3=np.zeros((18,170,315))
for i in range(18): #U
    for j in range(170): #P
        for k in range(315): #N
            Ich3[i,j,k]=(ChargeEf(U[i],N[k]*K)/U[i]-P[j]/U[i])/Bank[i]
#задаёмся N и P и находим напряжение при котором максимум тока

```

```

Ic=np.zeros((18))
Umax=np.zeros((315,170)) # N,P
Imax=np.zeros((315,170))
Icm=1

for n in range (315):
    for p in range(170):
        max = Ich3[0,p,n]
        pos = 0
        for u in range(18):
            Ic[u]=Ich3[u,p,n]
            if Ic[u]>max and Ic[u]<Icm: max=Ic[u];pos=u
        Umax[n,p]=U[pos]
        if max>5: Imax[n,p]=5
        else: Imax[n,p]=max
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
N=np.arange(850,2000,10)
P=np.arange(300,2000,10)
n=np.arange(115)
p=np.arange(170)
X, Y = np.meshgrid(N,P)
x, y = np.meshgrid(n,p)
Surf5= np.array(Umax[x,y])
Z5=Surf5.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z5, cmap='cool')
plt.xlabel('n, об./мин. '); plt.ylabel('P, Вт'); plt.grid()
ax.view_init(20, -20)
plt.show()

```

Приложение 2.3. Анализ энергообеспеченности автотранспортного средства в динамике

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import interpolate
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
d=0.583
k=3.9 #4.1 4.3 4.44 - другие возможные передаточные числа редуктора
l=np.pi*d
TN=np.array([3.636,1.95,1.357,0.941, 0.784, 3.53])
n=2800
S=n*60*l/(1000*TN[4]*k); print('S=',S);print('l=',l)
N=np.zeros([150,6])
for j in range(6):

```

```

    for s in range(150):
        N[s,j]=s*1000*TN[j]*k/(60*1)
plt.figure(figsize=(10,8))
plt.xlim(0,150); plt.ylim(0,5000)
for j in range(6):
    plt.plot(np.arange(150),N[np.arange(150),j])
plt.xlabel('S, км/ч'); plt.ylabel('n, об. мин'); plt.grid()

#Соотношение скорости автотранспортного средства и оборотов двигателя
Nmax=3000
TR=1
NSA=np.zeros([150])
for s in range (150):
    NSA[s]=s*1000*TN[TR-1]*k/(60*1) if s*1000*TN[TR-1]*k/(60*1)>850 else 850
    if NSA[s]>Nmax and TR<=4: TR=TR+1
plt.figure(figsize=(10,8))
plt.xlim(0,150); plt.ylim(0,5000)
plt.plot(np.arange(150),NSA[np.arange(150)])
plt.xlabel('S, км/ч'); plt.ylabel('n, об. мин'); plt.grid()

#поверхность тока заряда
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
P=np.arange(300,1800,10)
S=np.arange(150)
X, Y = np.meshgrid(P,S)
Surf12=np.array(ChargeEf12(X,NSA[Y]*K))
Surf24=np.array(ChargeEf24(X,NSA[Y]*K))
for i in range(150):
    for j in range(150):
        if Surf12[i,j]<0: Surf12[i,j]=0
        if Surf24[i,j]<0: Surf24[i,j]=0
Z12=Surf12.reshape(X.shape)
Z24=Surf24.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z12, cmap='cool')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('S, км/ч'); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, Z24, cmap='hot')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('S, км/ч'); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()

```

```

#Модель движения в динамике
def Drive(S,T):
    d=0.583
    k=3.9 #4.1 4.3 4.44 - другие возможные передаточные числа редуктора
    l=np.pi*d
    TN=np.array([3.636,1.95,1.357,0.941, 0.784, 3.53])
    NS=S*1000*TN[T]*k/(60*1) if S*1000*TN[T]*k/(60*1)>850 else 850
    return NS
#Поездка №1 (6 минут 54 секунды, что эквивалентно 414 секундам)
Trip1=np.zeros([414])
#Всего 41 отрезок. Далее следует поэтапное заполнение
#Заполнение константами (движение без ускорений)
for i in range(414):
    Trip1[i]=850 #Все значения по умолчанию примем равными значениям простоя. Потом
    поменяем отличающиеся
        if i>=20 and i<=58: Trip1[i]=1200 #Задний ход
        if i>=402 and i<=408: Trip1[i]=1200
        if i>=94 and i<=99: Trip1[i]=Drive(10,0) #Движение с неизменной скоростью
        if i>=111 and i<=130: Trip1[i]=Drive(20,1)
        if i>=133 and i<=139: Trip1[i]=Drive(10,0)
        if i>=225 and i<=241: Trip1[i]=Drive(52,2)
        if i>=245 and i<=256: Trip1[i]=Drive(50,2)
        if i>=262 and i<=273: Trip1[i]=Drive(40,2)
        if i>=309 and i<=312: Trip1[i]=Drive(40,1) #Проверить передачу
        if i>=322 and i<=345: Trip1[i]=Drive(20,1)
        if i>=360 and i<=372: Trip1[i]=Drive(15,0)
        if i>=377 and i<=396: Trip1[i]=Drive(10,0)
        #Переключения передач идут по 2 секунды 2-я секунда на 850 уже заполнена
        if i==102 or i==131 or i==183 or i==215 or i==223 or i==303: Trip1[i]=1500
#Заполнение ускорений
t1=88; t2=93; s1=0; s2=10; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=100; t2=101; s1=10; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=177; t2=182; s1=0; s2=19; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=185; t2=196; s1=19; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=210; t2=214; s1=0; s2=24; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=217; t2=222; s1=24; s2=50; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=298; t2=302; s1=0; s2=22; tran=1

```

```

for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)

t1=305; t2=308; s1=22; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=350; t2=354; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip1[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
plt.figure(figsize=(10,4))
plt.plot(np.arange(414),Trip1[np.arange(414)])
plt.xlabel('t, сек'); plt.ylabel('n, об. мин'); plt.grid()

```

#поверхность тока заряда для дорожного испытания 1

```

fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
P=np.arange(300,1800,10)
T=np.arange(414)
X, Y = np.meshgrid(P,T)
Surf12=np.array(ChargeEf12(X,Trip1[Y]*K))
Surf24=np.array(ChargeEf24(X,Trip1[Y]*K))
for i in range(414):
    for j in range(150):
        if Surf12[i,j]<0: Surf12[i,j]=0
        if Surf24[i,j]<0: Surf24[i,j]=0
Z12=Surf12.reshape(X.shape)
Z24=Surf24.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z12, cmap='cool')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('t, с'); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, Z24, cmap='hot')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('t, с'); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()

```

#Построим зависимость точки пересечения нуля ЗБ

```

Nn12=np.array([1400,1601,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
Ig12=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
Nn24=np.array([1230,1280,1800,2110,2400,2840,3280,4260,5000,6400,8000,10000])
Ig24=np.array([10,20,40,60,70,80,90,100,106,110,110,110])
Y12p=np.zeros((414)); Y24p=np.zeros((414))
Y12=np.zeros((414)); Y24=np.zeros((414))
for i in range(414):

```

```

    TT1=ICharge(Nn12,Ig12,Trip1[i],0)
    TT2=ICharge(Nn24,Ig24,Trip1[i],0)
    Y12p[i]=TT1[2]*12; Y24p[i]=TT2[2]*24
    Y12[i]=TT1[2]; Y24[i]=TT2[2]
plt.figure(figsize=(10,6))
plt.xlim(0,414); plt.ylim(800,3000)
plt.plot(np.arange(414),Y12p[np.arange(414)]);
plt.plot(np.arange(414),Y24p[np.arange(414)])
plt.xlabel('t, сек'); plt.ylabel('P, Вт'); plt.grid()

#Поездка №2 (13 минут 30 секунд, что эквивалентно 810 секундам)
Trip2=np.zeros([810])
#Заполнение константами (движение без ускорений)
for i in range(810):
    Trip2[i]=850 #Все значения по умолчанию примем равными значениям простоя.
    if i>=36 and i<=61: Trip2[i]=Drive(5,0) #Движение с неизменной скоростью
    if i>=132 and i<=137: Trip2[i]=Drive(45,1)
    if i>=157 and i<=164: Trip2[i]=Drive(50,1)
    if i>=204 and i<=208: Trip2[i]=Drive(60,2)
    if i>=216 and i<=237: Trip2[i]=Drive(50,2)
    if i>=285 and i<=320: Trip2[i]=Drive(50,2)
    if i>=378 and i<=392: Trip2[i]=Drive(40,2)
    if i>=435 and i<=443: Trip2[i]=Drive(30,2)
    if i>=451 and i<=468: Trip2[i]=Drive(38,1)
    if i>=493 and i<=501: Trip2[i]=Drive(22,1)
    if i>=508 and i<=540: Trip2[i]=Drive(40,2)
    if i>=555 and i<=563: Trip2[i]=Drive(5,0)
    if i>=662 and i<=677: Trip2[i]=Drive(40,1)
    if i>=734 and i<=744: Trip2[i]=Drive(40,1)
    if i>=753 and i<=759: Trip2[i]=Drive(5,0)
    if i>=784 and i<=800: Trip2[i]=Drive(10,0)
    #Переключения передач идут по 2 секунды 2-я секунда на 850 уже заполнена
    if i==69 or i==121 or i==272 or i==283 or i==369 or i==376 or i==415:
Trip2[i]=1500
    if i==444 or i==491 or i==506 or i==577 or i==600 or i==655 or i==724:
Trip2[i]=1500
#Заполнение ускорений
t1=31; t2=35; s1=0; s2=5; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=62; t2=68; s1=5; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=71; t2=79; s1=20; s2=25; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=89; t2=105; s1=15; s2=20; tran=2
for i in range(t1,t2+1):

```

```

    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=116; t2=120; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=123; t2=131; s1=20; s2=45; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=140; t2=156; s1=25; s2=50; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=198; t2=203; s1=40; s2=60; tran=3
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=267; t2=271; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=275; t2=282; s1=18; s2=50; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=327; t2=340; s1=40; s2=50; tran=3
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=364; t2=368; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=371; t2=375; s1=20; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=411; t2=414; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=417; t2=427; s1=20; s2=45; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=446; t2=450; s1=30; s2=38; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=488; t2=490; s1=0; s2=22; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=502; t2=505; s1=22; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=572; t2=576; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=579; t2=586; s1=20; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)

```



```

t1=587; t2=594; s1=40; s2=20; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=595; t2=599; s1=20; s2=50; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=602; t2=604; s1=50; s2=60; tran=3
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=605; t2=610; s1=60; s2=50; tran=3
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=651; t2=654; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=657; t2=662; s1=20; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=688; t2=694; s1=18; s2=30; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=721; t2=723; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=726; t2=733; s1=20; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
t1=779; t2=783; s1=0; s2=10; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Trip2[i]=Drive(s1+(s2-s1)*(i-t1+1)/(t2+1-t1),tran-1)
plt.figure(figsize=(10,4))
plt.plot(np.arange(810),Trip2[np.arange(810)])
plt.xlabel('t, сек'); plt.ylabel('n, об. МИН'); plt.grid()

#поверхность тока заряда на банку
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
K=2.48
P=np.arange(300,1800,10)
T=np.arange(414)
X, Y = np.meshgrid(P,T)
Surf12=np.array(ChargeEf12(X,Trip1[Y]*K))
Surf24=np.array(ChargeEf24(X,Trip1[Y]*K))
for i in range(414):
    for j in range(150):
        if Surf12[i,j]<0: Surf12[i,j]=0
        if Surf24[i,j]<0: Surf24[i,j]=0
Z12=Surf12.reshape(X.shape)

```

```

Z24=Surf24.reshape(X.shape)
ax.plot_surface(X,Y,Z12/12, cmap='cool')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('t, с'); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()
fig = plt.figure(figsize=(8,8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(X, Y, Z24/24, cmap='hot')
plt.xlabel('P, Вт'); plt.ylabel('t, с'); plt.grid()
ax.view_init(15, -20)
plt.show()

#Пересечение поверхностей тока заряда с нулевой плоскостью
K=2.48
T=np.arange(414)
I12=ChargeEf12(1000,Trip1[T]*K)
I24=ChargeEf24(1000,Trip1[T]*K)
for i in range(414):
    if I12[i]<0: I12[i]=0
    if I24[i]<0: I24[i]=0
fig = plt.figure(figsize=(10,4))
plt.xlim(0,414); plt.ylim(0,3)
plt.plot(T,I12/12); plt.plot(T,I24/24)
plt.xlabel('t, сек'); plt.ylabel('I, A');plt.grid()

```

Приложение 2.4. Анализ энергообеспеченности автотранспортного средства в динамике на основе матрицы скоростей

```

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy import interpolate
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

Nn12=np.array([1400,1601,1800,2000,2400,3000,3400,4000,4400,5000,7000,10000])
Ig12=np.array([10,36,56,65,77,90,96,103,106,110,115,115])
Nn24=np.array([1230,1280,1800,2110,2400,2840,3280,4260,5000,6400,8000,10000])
Ig24=np.array([10,20,40,60,70,80,90,100,106,110,110,110])
from tkinter.tix import INTEGER

def ICharge(Nn,In,n,I):
    K=2.48; nk=n*K
    tck = interpolate.splrep(Nn, In)
    IG=interpolate.splev(n,tck)
    IZero=interpolate.splev(nk,tck)
    ICh=IZero-I if IZero-I>0 else 0
    Out=np.array([IG, ICh, IZero])

```

```

return Out

def IGmax(Nn, In, Kgen, Rw, Kred, TN, S, Nmax, Nmin, TopSpeed):
    l=np.pi*Rw*2
    TR=1
    NSA=np.zeros([TopSpeed])
    for s in range (TopSpeed):
        NSA[s]=s*1000*TN[TR-1]*Kred/(60*1) if s*1000*TN[TR-1]*Kred/(60*1)>Nmin else
Nmin
        if NSA[s]>Nmax and TR<=4: TR=TR+1
    n=NSA[int(S)]*Kgen
    tck = interpolate.splrep(Nn, In)
    Igen=interpolate.splev(n,tck)
    return Igen
Rw=0.583/2 #Радиус колеса
Kred=3.9 #4.1 4.3 4.44 - другие возможные передаточные числа редуктора
Kg=2.48 #передаточное число вала генератора
TN=np.array([3.636,1.95,1.357,0.941, 0.784, 3.53])
Nmax=3000
Nmin=850

#Поездка №1 (6 минут 54 секунды, что эквивалентно 414 секундам)
Sp1=np.zeros([414])
#Заполнение константами (движение без ускорений)
for i in range(414):
    Sp1[i]=0
    if i>=20 and i<=58: Sp1[i]=9 #Задний ход
    if i>=402 and i<=408: Sp1[i]=9
    if i>=94 and i<=99: Sp1[i]=10 #Движение с неизменной скоростью
    if i>=111 and i<=130: Sp1[i]=20
    if i>=133 and i<=139: Sp1[i]=10
    if i>=225 and i<=241: Sp1[i]=52
    if i>=245 and i<=256: Sp1[i]=50
    if i>=262 and i<=273: Sp1[i]=40
    if i>=309 and i<=312: Sp1[i]=40
    if i>=322 and i<=345: Sp1[i]=20
    if i>=360 and i<=372: Sp1[i]=15
    if i>=377 and i<=396: Sp1[i]=10
    #Переключения передач идут по 2 секунды 2-я секунда на Nmin уже заполнена
    if i==102 or i==131 or i==183 or i==215 or i==223 or i==303: Sp1[i]=9
#Заполнение ускорений
t1=88; t2=93; s1=0; s2=10
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=100; t2=101; s1=10; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=177; t2=182; s1=0; s2=19; tran=1

```

```

for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=185; t2=196; s1=19; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=210; t2=214; s1=0; s2=24; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=217; t2=222; s1=24; s2=50; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=298; t2=302; s1=0; s2=22; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=305; t2=308; s1=22; s2=40; tran=2
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
t1=350; t2=354; s1=0; s2=20; tran=1
for i in range(t1,t2+1):
    Sp1[i]=s1+(s2-s1)*(i-t1)/(t2-t1)
plt.figure(figsize=(10,4))
plt.plot(np.arange(414),Sp1[np.arange(414)])
plt.xlabel('t, сек'); plt.ylabel('S, км/ч'); plt.grid()

#Параметры автотранспортного средства
Rw=0.583/2 #Радиус колеса
Kred=3.9 #4.1 4.3 4.44 - другие возможные передаточные числа редуктора
Kg=2.48 #передаточное число вала генератора
TN=np.array([3.636,1.95,1.357,0.941, 0.784, 3.53])
Nmin=850
TopSpeed=100
Ig1=np.zeros([414]);Ig2=np.zeros([414]);Ig3=np.zeros([414])
for i in range(414):
    Ig1[i]=IGmax(Nn12,Ig12,Kg,Rw,Kred,TN,Sp1[i],2000,Nmin,TopSpeed)
    Ig2[i]=IGmax(Nn12,Ig12,Kg,Rw,Kred,TN,Sp1[i],3000,Nmin,TopSpeed)
    Ig3[i]=IGmax(Nn12,Ig12,Kg,Rw,Kred,TN,Sp1[i],4000,Nmin,TopSpeed)
plt.figure(figsize=(10,4));plt.xlabel('t, сек'); plt.ylabel('Iген, A')
plt.grid(); plt.xlim(0,414) #; plt.ylim(800,3000)
plt.plot(np.arange(414),Ig1[np.arange(414)])
plt.plot(np.arange(414),Ig2[np.arange(414)])
plt.plot(np.arange(414),Ig3[np.arange(414)])

```

Приложение 3. Справка о внедрении основных результатов научно-технической деятельности

СПРАВКА

О ВНЕДРЕНИИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРАКТИКУ ПАО «КАМАЗ»

В рамках совместной работы ПАО «КАМАЗ» и ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «СамГТУ») реализуются комплексные мероприятия по совершенствованию организационно-технической деятельности в области улучшения качества продукции и услуг.

Под научным руководством д.т.н., профессора ФГБОУ ВО «СамГТУ» Козловского В.Н. решаются задачи по совершенствованию инструментов контроля и мониторинга качества продукции и услуг на этапах жизненного цикла.

Решением задачи по развитию инструментов контроля качества автомобилей при проведении дорожных испытаний новых автомобилей производства ПАО «КАМАЗ», по параметрам обеспечения зарядного баланса системы электрооборудования, занимается аспирант ФГБОУ ВО «СамГТУ» Брачунова Ульяна Викторовна.

Настоящей справкой подтверждается, что разработанный Брачуновой У.В. универсальный научно-программный инструментарий по расчету количественных параметров зарядного баланса, с учетом характеристик автомобильного генератора и параметров дорожного цикла испытаний, применяется в практике ПАО «КАМАЗ» при планировании и проведении контрольных дорожных испытаний новой автомобильной техники.

Разработанный инструментарий обладает целым рядом достоинств в сравнении со специализированными программными продуктами. К достоинствам научно-программного инструментария по расчету количественных параметров зарядного баланса относятся: относительная простота реализации; гибкость программы, обеспечивающая возможность быстрого встраивания различных параметров определяющих дорожные циклы испытаний и алгоритмов обеспечения зарядных/разрядных параметров электрооборудования; приемлемый уровень достоверности результатов работы.

Заместитель директора Департамента
технического контроля ПАО «КАМАЗ»,
к.т.н.




С.А. Шанин

Приложение 4. Свидетельства о регистрации программ ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022682303

**ИНСТРУМЕНТАРИЙ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ
НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ В РЕЖИМЕ
РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет" (RU)*

Авторы: *Брачунова Ульяна Викторовна (RU), Козловский Владимир Николаевич (RU), Шакурский Максим Викторович (RU)*

Заявка № 2022681883
Дата поступления 18 ноября 2022 г.
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 21 ноября 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Ю. С. Зубов

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат: 68169007701443103494edd24145d5c7
Владелец: Зубов Юрий Сергеевич
Действителен с 20.05.2022 по 28.05.2023

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2022682303**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

| | |
|--|--|
| <p>Номер регистрации (свидетельства): 2022682303 Дата регистрации: 21.11.2022 Номер и дата поступления заявки: 2022681883 18.11.2022 Дата публикации и номер бюллетеня: 21.11.2022 Бюл. № 12 Контактные реквизиты: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, СамГТУ, гл. корпус, сектор по патентно-изобретательской и лицензионной работе; 8462784481, 8462784370; intesob@yandex.ru, onti@samgtu.ru</p> | <p>Автор(ы): Брачунова Ульяна Викторовна (RU), Козловский Владимир Николаевич (RU), Шакурский Максим Викторович (RU) Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Самарский государственный технический университет" (RU)</p> |
|--|--|

Название программы для ЭВМ:
**ИНСТРУМЕНТАРИЙ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ НАПРЯЖЕНИЯ
ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ**

Реферат:

Программа предназначена для анализа энергоэффективности бортовой сети автотранспортного средства (АТС) в масштабе реального времени, с учётом изменения мощности потребителей, изменяющейся токоотдачи генератора, определяемой скоростью движения АТС. Программа может быть использована проектными и научно-исследовательскими организациями при анализе работы, проектировании системы электроснабжения и имитации ходовых испытаний АТС. Программа является консольным приложением. В качестве входных данных принимает матрицы узловых точек токоскоростной характеристики генератора и передаточных чисел КПП; коэффициент связи оборотов вала генератора и вала двигателя передаточных чисел КПП; мгновенное значение скорости АТС. Выходными данными являются численные модели анализа энергоэффективности в реальных условиях движения АТС. ОС: Windows 7/8/10.

Язык программирования: Python
Объем программы для ЭВМ: 2123 КБ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2022684504

Инструментарий определения уровня напряжения бортового электротехнического и электронного комплекса автотранспортного средства, обеспечивающего рекомендуемый ток заряда аккумуляторной батареи при заданных оборотах двигателя и мощности потребления бортовой сети

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (RU)*

Авторы: *Брачунова Ульяна Викторовна (RU), Козловский Владимир Николаевич (RU), Шакурский Максим Викторович (RU)*

Заявка № 2022684248

Дата поступления 12 декабря 2022 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 14 декабря 2022 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 68b90077614e49103a94e6bd24145d5c7
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 20.07.2022 по 26.05.2023

Ю. С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



RU2022684504

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ

| | |
|---|---|
| <p>Номер регистрации (свидетельства): 2022684504</p> <p>Дата регистрации: 14.12.2022</p> <p>Номер и дата поступления заявки: 2022684248 12.12.2022</p> <p>Дата публикации и номер бюллетеня: 14.12.2022 Бюл. № 12</p> <p>Контактные реквизиты: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, СамГТУ, гл. корпус. УНИ, сектор по патентно-изобретательской и лицензионной работе т. 8462784481, т. 8462784370. E-mail: intesob@yandex.ru ; onti@samgtu.ru</p> | <p>Автор(ы): Брачунова Ульяна Викторовна (RU), Козловский Владимир Николаевич (RU), Шакурский Максим Викторович (RU)</p> <p>Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет» (RU)</p> |
|---|---|

Название программы для ЭВМ:

Инструментарий определения уровня напряжения бортового электротехнического и электронного комплекса автотранспортного средства, обеспечивающего рекомендуемый ток заряда аккумуляторной батареи при заданных оборотах двигателя и мощности потребления бортовой сети

Реферат:

Инструмент определения влияния уровня напряжения бортового электротехнического и электронного комплекса автотранспортного средства, обеспечивающего эффективный заряд АКБ при заданных параметрах. Программа может быть использована проектными и научно-исследовательскими организациями при анализе работы, проектировании системы электроснабжения и имитации ходовых испытаний АТС. Программа является консольным приложением. В качестве входных данных принимает обороты двигателя, значения мощности потребления бортовой сети, время. Выходными данными являются численные модели заряда АКБ и зависимости уровня напряжения бортовой сети автотранспортного средства, обеспечивающего эффективный заряд АКБ. ОС: Windows 7/8/10.

| | |
|--------------------------|---------|
| Язык программирования: | Python |
| Объем программы для ЭВМ: | 75,9 КБ |