Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 23.05.2026 08:30:27
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735[illegible]

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Передовая инженерная школа технологического лидерства «FDR»

УТВЕРЖДАЮ
Директор
_____ /П.Итурралде /
«26» февраля 2026г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Разработка электрифицированных транспортных средств

Направление подготовки
23.04.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

Профиль
Электрифицированные транспортные средства

Квалификация
магистр

Формы обучения
очная

Москва, 2026 г.

Разработчик(и):

Преподаватель,
без учёной степени  /Р.Р.Маликов /

Согласовано:
Отдел организации
и управления учебным
процессом  /Д.Т.Хамдамова/

Руководитель
образовательной программы
доцент, к.т.н.  /А.В.Климов/

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины....5
   - 3.1 Виды учебной работы и трудоемкость....5
   - 3.2 Тематический план изучения дисциплины 6
   - 3.3 Содержание дисциплины....7
   - 3.4 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)....9
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение....9
   - 4.1 Нормативные документы и ГОСТы....9
   - 4.2 Основная литература....10
   - 4.3 Дополнительная литература 11
   - 4.4 Электронные образовательные ресурсы 11
   - 4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 11
   - 4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 12
5. Материально-техническое обеспечение....12
6. Методические рекомендации....12
   - 6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 12
   - 6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины....13
7. Фонд оценочных средств....14
   - 7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения....14
   - 7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения....14
   - 7.3 Оценочные средства....14

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К основным целям освоения дисциплины «Разработка электрифицированных транспортных средств» следует отнести:

– реализация основной образовательной программы (ООП) по специальности 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», направленность 23.04.02.01 «Электрифицированные транспортные средства»;

– формирование у обучающихся знаний о современных принципах, методах и средствах анализа и прогнозирования эксплуатационных свойств наземных электрических транспортных средств;

– подготовка студентов к самостоятельной деятельности в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по специальности 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы», профиль подготовки 23.04.02.01 «Электрифицированные транспортные средствам».

К основным задачам освоения дисциплины «Разработка электрифицированных транспортных средств» следует отнести:

– формирование представления о комплексе эксплуатационных свойств, определяющих особенности функционирования электрических транспортных средств, их систем и агрегатов;

– освоение общих принципов и особенностей методик математического описания указанных свойств;

– формирование навыков получения на базе изученных методик конкретных данных об эксплуатационных свойствах электрических транспортных средств, их систем, агрегатов и влияние на них различных конструктивных и внешних факторов.

Обучение по дисциплине «Разработка электрифицированных транспортных средств» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций.

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ПК-1 Способен проводить конструкторское сопровождение производства и испытаний АТС и их компонентов	ИПК-1.1 Знать математический аппарат, применяемый при моделировании движения электрифицированных транспортных средств и работу электрических компонентов ИПК-1.2 Уметь производить анализ эксплуатационных свойств электрифицированных транспортных средств по средством математического моделирования

	ИПК-1.3. Владеть практическими навыками проведения виртуальных испытаний электрифицированных транспортных и их компонентов

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 «Дисциплины (модули)».

«Разработка электрифицированных транспортных средств» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Цифровые технологии в автомобилестроении.
- Электрические транспортные средства.
- Системы управления движением электрических транспортных средств.

3. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 часа).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость
(по формам обучения)

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестры
			1
1	**Аудиторные занятия**	**48**	
	В том числе:		
1.1	Лекции		16
1.2	Семинарские/практические занятия		32
1.3	Лабораторные занятия		
2	**Самостоятельная работа**	**96**	96
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет	**Зачет**	
	Итого	**144**	

3.2 Тематический план изучения дисциплины
(по формам обучения)

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	Раздел 1. Проблематика выбора и разработки тяговых накопителей энергии. Влияние характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии на эксплуатационные показатели транспортного средства		4				
2	Раздел 2. Математическое описание моделирования транспортного средства, оснащенного перезаряжаемой системой хранения электрической энергии		4	2			8
2.1	Тема 1. Методы моделирования литий-ионных аккумуляторов			4			16
2.2	Тема 2. Характеристики аккумуляторов. Методы получения характеристик			2			12
2.3	Тема 3. Тепловая модель перезаряжаемой системы хранения электрической энергии. Внешние и внутренние воздействующие факторы			2			8
2.4	Тема 4. Математическая модель движения транспортного средства. Уравнение тягового баланса			2			8
2.5	Тема 5. Тепловой баланс салона транспортного средства. Внешние и внутренние воздействующие факторы			2			8
3	Раздел 3. Методика исследования характеристик перезаряжаемой		4	2			4

	системы хранения электрической энергии в составе транспортного средства						
3.1	Те+8+8+8ма 1. Формирование технических требований к перезаряжаемой системе хранения электрической энергии. Определение требований с помощью математического моделирования			4+			8
3.2	Тема 2. Определение исходных данных для моделирования виртуальных испытаний			2			8
3.3	Тема 3. Методика исследования характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии в составе транспортного средства		2	8			8
3.4	Тема 4. Многокритериальная оценка влияния характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии на эксплуатационные свойства транспортного средства		2	2			8
	Итого	**144**	**16**	**32**	**-**	**-**	**96**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 1. Проблематика выбора и разработки перезаряжаемой системы хранения электрической энергии. Влияние характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии на эксплуатационные показатели транспортного средства**.**

Раздел 2. Математическое описание моделирования транспортного средства, оснащенного перезаряжаемой системой хранения электрической энергии.

Тема 1. Методы моделирования литий-ионных аккумуляторов.

Физический процесс работы аккумуляторов. Основные термины и понятия. Анализ схем замещения аккумуляторов: R-модель, 1RC-модель, 2RC-модель.

Тема 2. Характеристики аккумуляторов. Методы получения характеристик.

Методы определения напряжения разомкнутой цепи Open Circuit Voltage (OCV). Методы определения омического сопротивления. Методы определения составляющих RC модели замещения. Метод испытания Hybrid Pulse Power Characterization (HPPC).

Тема 3. Тепловая модель перезаряжаемой системы хранения электрической энергии. Внешние и внутренние воздействующие факторы.

Основные структуры конструкции контейнеров перезаряжаемых систем хранения электрической энергии. Внешние и внутренние воздействующие факторы. Уравнение теплового баланса контейнера перезаряжаемой системы хранения электрической энергии.

Тема 4. Математическая модель движения транспортного средства. Уравнение тягового баланса.

Расчетная схема действия сил на транспортное средство при прямолинейном движении. Определение коэффициента учета инерции вращающихся масс. Подход к математическому моделированию тягового электропривода.

Тема 5. Тепловой баланс салона транспортного средства. Внешние и внутренние воздействующие факторы.

Расчетная схема действия внешних и внутренних тепловых нагрузок. Солнечная инсоляция, тепловое воздействие от пассажиров, воздействие температур внешней окружающей среды, вентиляция, тепловое воздействие при открытии дверей и тепловая мощность климатической системы.

Раздел 3. Методика исследования характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии в составе транспортного средства.

Общая структура методики. Определение необходимых параметров транспортного средства для имитационного моделирования. Определение требований к эксплуатационным свойствам транспортного средства.

Тема 1. Формирование технических требований к перезаряжаемой системе хранения электрической энергии. Определение требований с помощью математического моделирования.

Перечень основных параметров технических требований. Определение требований к максимальному и минимальному напряжению. Определение требований к энергоемкости, кратковременной мощности заряда/разряда, длительной мощности заряда/разряда, ресурсу, массе и температурному диапазону использования.

Тема 2. Определение исходных данных для моделирования виртуальных испытаний.

Определение внутреннего сопротивления аккумулятора в зависимости от температуры и степени заряженности. Определение и корректировка токовых ограничений кратковременных и длительных ограничений заряда/разряда.

Тема 3. Виртуальные испытания транспортного средства, оснащенного перезаряжаемой системой хранения электрической энергии.

Структура и перечень виртуальных испытаний. Анализ динамических показателей транспортного средства. Расчет максимальной скорости. Анализ рекуперативных мощностей заряда, времени заряда. Анализ дневной эксплуатации в различных температурных условиях. Расчет времени выхолаживания и выхода на рабочий режим.

Тема 4. Многокритериальная оценка влияния характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии на эксплуатационные свойства транспортного средства.

Подход к оценке эксплуатационных свойств транспортного средства, оснащенного перезаряжаемой системой хранения электрической энергии.

3.4 Тематика курсовых проектов (курсовых работ)

Отсутствуют курсовые проекты согласно учебному плану

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ 22576-90 Автотранспортные средства. Скоростные свойства. Методы испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1991.

2. ГОСТ 41.13-2007 Единообразные предписания, касающиеся транспортных средств категорий M, N и O в отношении торможения. – М.: Стандартинформ, 2009.

3. ГОСТ Р МЭК 61960-3 Литиевые аккумуляторы и батареи для портативных применений. – М.: Стандартинформ, 2019.

4. ГОСТ Р ИСО 12405-2 Транспорт дорожный на электрической тяге. Технические требования к испытаниям модулей и систем тяговых литий-ионных батарей. – М.: Стандартинформ, 2016.

5. ГОСТ Р ИСО 8996-2008 Эргономика термальной среды. Определение скорости обмена веществ. – М.: Стандартинформ, 2009

6. ГОСТ 30593-2015 Автомобильные транспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. – М.: Стандартинформ, 2016

7. ГОСТ Р 41.107-99 Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двухэтажных пассажирских транспортных средств большой вместимости в отношении общей конструкции. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001.

4.2 Основная литература

1. Жилейкин, М.М. Моделирование систем транспортных средств: учебное пособие / М.М. Жилейкин. - МГТУ им. Н.Э. Баумана: Москва, 2020. - 241 с.

2. Гришкевич, А. Автомобили: теория: учебник для вузов / А. Гришкевич - Минск: Высшая школа, 1986. - 208 с.

3. Строганов, В.И. Математическое моделирование основных компонентов силовых установок электромобилей и автомобилей с КЭУ: учебное пособие / В.И. Строганов, К.М. Сидоров. - МАДИ: Москва, 2015. - 101 с.

4. Falconi, A. Electrochemical Li-Ion battery modeling for electric / HAL open science. - 2018. - P.215.

5. David, S. Pulse power characterisation for lithium ion cells in automotive applications / Chalmers University of Technology. - Gothenburg., 2016. - 66 p.

6. Хусаинов, А.Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля: учебное пособие / А.Ш. Хусаинов - Ульяновск: УлГТУ, 2011. - 110 с.

7. ASHRAE: Handbook of Fundamentals / American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers, - Atlanta: Georgia, 1985. - 574 p.

4.3 Дополнительная литература

1. Степановских, Е.И. Электропроводность ионных систем: пособие для самостоятельной работы / Е.И. Степановских. - УрФУ: Екатеринбург, 2019. - 35 с.

2. Voltage Classes for Electric Mobility: German Electrical and Electronic Manufacturers' Association Centre of Excellence Electric Mobility, 2013. - 44 p.

3. Duffie, J. A. Solar Engineering of Thermal Processes / J.A. Duffie, W.A. Beckman, - New York: Wiley, 1991. - 762 p.

4. Wang Shan, K. Handbook of air conditioning and refrigeration / K. Wang Shan. - McGraw-Hill Education: New York, 2000. - 1424 p.

5. Овчинников, С.В. Конвективный теплообмен. Методики инженерного расчета коэффициента конвективной теплопередачи: учебно-методическое пособие / С.В. Овчинников. - СГУ им. Н.Г. Чернышевского: Саратов, 2015. - 48 с.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

1. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» www.biblioclub.ru
2. ЭБС «BOOK.ru» https://www.book.ru
3. ЭБС «ZNANIUM.COM» www.znanium.com

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Office / Российский пакет офисных программ

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. http://rushim.ru/books/electrochemistry/electrochemistry.htm - электронная библиотека
2. http://www.ise-online.org International Society of Electrochemistry
3. Консультант Плюс - справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)
4. СДО Московского Политеха

5. Материально-техническое обеспечение

Специализированные аудитории «Передовая инженерная школа»: АВ4701 и АВ4710 оснащенные проектором, экраном, ПЭВМ.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Основным требованием к преподаванию дисциплины является творческий проблемно-диалоговый подход, позволяющий повысить интерес студентов к содержанию учебного материала.

Основная форма изучения и закрепления знаний по этой дисциплине – лекции и лабораторные занятия. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение лабораторных занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Основу учебных занятий по дисциплине составляют лекционные занятия. На первом занятии по данной учебной дисциплине необходимо ознакомить студентов с порядком ее изучения, раскрыть место и роль дисциплины в системе наук, ее практическое значение, ответить на вопросы.

Теоретическое изучение основных вопросов разделов дисциплины должно завершаться лабораторной работой. Темы задач, предлагаемых студентам для решения на практических занятиях, должны быть максимально приближены к

темам последних лекций по данной дисциплине. В связи с указанным, целесообразен тесный контакт лектора с преподавателями, ведущими лабораторные занятия.

Изучение дисциплины завершается зачетом. Оценка выставляется преподавателем и объявляется после ответа. Преподаватель, принимающий зачет, лично несёт ответственность за правильность выставления оценки.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по специальности 23.04.02 «Наземные транспортно-технологические средства».

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Самостоятельная работа студентов представляет собой важнейшее звено учебного процесса, без правильной организации которого обучающийся не может быть высококвалифицированным выпускником. Самостоятельная работа является одним из видов учебных занятий. Цель самостоятельной работы – практическое усвоение студентами вопросов устройства транспортных средств, рассматриваемых в процессе изучения дисциплины. Самостоятельная работа студентов направлена на изучение теоретического материала, подготовку к лекционным, лабораторным, семинарским (практическим) занятиям; выполнение контрольных заданий.

Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия.

Задачами самостоятельной работы студента являются:

- развитие навыков самостоятельной учебной работы;
- освоение содержания дисциплины;
- углубление содержания и осознание основных понятий дисциплины;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной подготовки к дифференцированному зачету и/или экзамену.

Студент должен помнить, что начинать самостоятельные занятия следует с первого семестра и проводить их регулярно. Каждый студент должен сам планировать свою самостоятельную работу, исходя из своих возможностей и приоритетов. Это стимулирует выполнение работы, создает более спокойную обстановку, что в итоге положительно сказывается на усвоении материала.

Студент должен помнить, что в процессе обучения важнейшую роль играет самостоятельная работа с технической литературой. Научиться работать с

технической литературой – важнейшая задача студента. Без этого навыка будет чрезвычайно трудно изучать программный материал, и много времени будет потрачено нерационально. Работа с технической литературой складывается из умения подобрать необходимые книги, разобраться в них, законспектировать, выбрать главное усвоить и применить на практике.

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

-подготовка к лабораторным занятиям и выполнение и защита их;

- выполнение проекта.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Шкала оценивания	**Описание**
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на другие конструкции.
Хорошо	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное, правильное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, либо если при этом были допущены 2-3 несущественные ошибки.
Удовлетворительно	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, в котором освещена основная, наиболее важная часть материала, но при этом допущена одна значительная ошибка или неточность.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

п.п.	Вопрос	Эталонный ответ
1.	На какие эксплуатационные характеристики транспортного средства оказывает влияние кратковременные токи разряда, длительные токи заряда, энергоёмкость и ресурс аккумулятора?	Кратковременные токи разряда оказывают влияние на динамику разгона транспортного средства. Длительный ток заряда оказывает влияние на время восполнения электрической энергии перезаряжаемой системы хранения энергии Энергоемкость перезаряжаемой системы хранения энергии влияет на запас хода транспортного средства на полном заряде. Ресурс аккумулятора оказывает влияние на количество лет эксплуатации перезаряжаемой системы хранения электрической энергии до деградации, запрещающей её дальнейшее использование.
2.	На какие эксплуатационные характеристики транспортного средства оказывает влияние диапазон рабочего напряжения, длительные токи разряда, кратковременные токи заряда и диапазон рабочей температуры?	Диапазон рабочего напряжения оказывает влияние на работу высоковольтного оборудования, снижение КПД. Длительные токи разряда влияют на поддержание транспортным средством высоких скоростей в течении длительного времени. Кратковременный ток заряда оказывает влияние на эффективность рекуперации при торможении транспортного средства. Диапазон рабочей температур оказывает влияние на скорость выхода на рабочий режим при отрицательных температурах окружающей среды.

3.	OCV и Методы определения OCV	Напряжение разомкнутой цепи (Open Circuit Voltage OCV) – это разность электрических потенциалов между положительным и отрицательным токовыводом ЕА без подключенной нагрузки. Методы определения: Инкрементный тест – последовательный разряд аккумулятора с шагом SOC 10% и менее с последующей релаксацией более 2 часов, затем последовательный заряд с шагом SOC 10% и менее с последующей релаксацией более 2 часов; Тест малым током – полный разряд аккумулятора током 0,05С и менее, затем полный заряд аккумулятора током 0,05С и менее.

		Тест по определению емкости – полный разряд током 0,3С и менее, затем полный заряд током 0,3С и менее.
4.	HPPC тест и методика проведения.	HPPC тест - Hybrid Pulse Power Characterization (характеристика мощности гибридного импульса). Цель теста определение: омического сопротивления, сопротивления и емкости полярязации, емкости аккумулятора, и проверка кратковременных токов заряда/разряда. 1) Полный разряд аккумулятора; 2) Полный заряд аккумулятора; 3) Релаксация 60 мин; 4) Разряд кратковременным током в течении допустимого времени; 5) Релаксация 30 мин; 6) Заряд кратковременным током в течении допустимого времени; 7) Релаксация 30 мин; 8) Разряд длительным током с шагом 10% SOC 9) Релаксация 60 мин; 10) Повтор шагов с 4 по 9 до полного разряда аккумулятора.
5.	R-модель. Уравнение падения напряжения под нагрузкой.	Схема замещения, включающая в себя: источник постоянного напряжения U_{OCV} и внутреннее сопротивление ячейки R_{DCIR} соединенное последовательно, замкнутые на нагрузку. Уравнение падения напряжения U_{Dyn} под нагрузкой: $$U_{Dyn} = U_{OCV} - IR_{DCIR},$$ где U_{OCV} – напряжение разомкнутой цепи в зависимости от SOC и температуры, В; I – ток разряда или заряда, А; R_{DCIR} – внутреннее сопротивление ячейки зависимости от SOC и температуры, Ом.
6.	1RC-модель. Уравнение падения напряжения под нагрузкой.	Схема замещения, включающая в себя: источник постоянного напряжения U_{OCV}, внутреннее сопротивление ячейки R_{DCIR} и RC-цепи, соединенные последовательно, замкнутые на нагрузку.

		Уравнение падения напряжения U_{Dyn} под нагрузкой: $$U_{Dyn} = U_{OCV} - IR_{DCIR} - U_1$$ где U_{OCV} – напряжение разомкнутой цепи в зависимости от SOC и температуры, В; I – ток разряда или заряда, А; R_{DCIR} – внутреннее сопротивление ячейки зависимости от SOC и температуры, Ом; C_1 и R_1 – емкость и сопротивление RC-цепи.
7.	2RC-модель. Уравнение падения напряжения под нагрузкой.	Схема замещения, включающая в себя: источник напряжения U_{OCV}, омическое сопротивление R_{DCIR}, R_1 и C_1 для описания краткосрочных характеристик релаксации, R_2 и C_2 для описания долгосрочных характеристик гистерезиса, соединенные последовательно, замкнутые на нагрузку. Уравнение падения напряжения U_{Dyn} под нагрузкой: $$U_{Dyn} = U_{OCV} - IR_{DCIR} - U_1 - U_2;$$ $$\dot{U_1} = \frac{I}{C_1} - \frac{U_1}{R_1 C_1};$$ $$\dot{U_2} = \frac{I}{C_2} - \frac{U_2}{R_2 C_2}.$$ где U_{OCV} – напряжение разомкнутой цепи в зависимости от SOC и температуры, В; I – ток разряда или заряда, А; R_{DCIR} – внутреннее сопротивление ячейки зависимости от SOC и температуры, Ом; C_1 и R_1 – емкость и сопротивление RC-цепи.
8.	Определение омического сопротивления R_{DCIR}	Омическое сопротивление R_{DCIR} – это сумма электрических сопротивлений токосъемников, активных материалов электродов, электролитов и других соединений (например: сварных швов, контактных сопротивлений и предохранительных элементов). Определяется, как линейная составляющая просадки напряжения под нагрузкой по формуле: $$R_{DCIR} = \frac{U_{Dyn} - U_{OCV}}{I},$$ где U_{OCV} – напряжение разомкнутой цепи в зависимости от SOC и температуры, В; I – ток

		разряда или заряда, А; U_{Dyn} – Напряжение под нагрузкой, В.
9.	Уравнение теплового баланса контейнера перезаряжаемой системы хранения электрической энергии	Для определения теплового состояния аккумуляторной батареи используется уравнение теплового баланса: $$N_{Bat} = N_{Amb} + N_{Heat} + N_{TMS},$$ где N_{Bat} – мощность воздействия на теплоемкость аккумуляторной сборки, Вт; N_{Amb} – воздействие окружающей среды, Вт; N_{Heat} – тепловая мощность генерируемая зарядом или разрядом накопителя энергии, Вт; N_{TMS} – тепловая мощность работы системы термостатирования через теплоотводящую пластину, Вт.
10.	Уравнение определения теплопроизводительности аккумулятора	Теплопроизводительность N_{Heat} единичного аккумулятора при заряде или разряде: $$N_{Heat} = I^2R_{DCIR} - I(T\frac{dU_{OCV}}{dT}),$$ где первая часть уравнения I^2R_{DCIR} является необратимой мощностью тепловыделения (эффект Джоуля), а вторая часть уравнения $I(T\frac{dU_{OCV}}{dT})$ обратимое тепловыделение, называемое энтропийным изменением, связанным с электрохимической реакцией.
11.	Энтропийный коэффициент и метод определения	Изменение энтропии выражается, как отношение между напряжением разомкнутой цепи U_{OCV} и температурой элемента, и определяется с применением потенциометрического метода: 100% заряженный ЕА помещается в термокамеру при 15 °C. После двухчасового отдыха, для достижения теплового равновесия, измеряется напряжение U_{OCV}. Чтобы получить отношение $\frac{dU_{OCV}}{dT}$, тот же самый процесс последовательно проводят при различных температурах. Весь описанный выше тест повторялся с интервалами 10% SOC до тех пор, пока заряд батареи не упадет до 0% SOC
12.	Уравнение тягового баланса прямолинейного движения транспортного средства	Движение транспортного средства характеризуется уравнением тягового баланса: $$F_T = F_\psi + F_A + F_d,$$ F_T - окружная сила на ведущих колесах (сила тяги); F_ψ - сила сопротивления дороги (сумма

		силы сопротивления качению и силы сопротивления подъему); F_A - сила сопротивления воздуху; F_d - сила сопротивления разгону вращающихся и поступательно движущихся масс.
13.	Факторы, воздействующие на тепловой баланс салона транспортного средства	Температура воздуха в салоне транспортного средства зависит от многих факторов, таких как: - прямое и рассеянное солнечное излучение; - выделяемое тепло пассажирами в салоне; - работа климатической системы; - вентиляция салона воздухом из окружающей среды; - смешивание салонного воздуха с уличным при открытии дверей; - теплопередача через кузов и стекла транспортного средства.
14.	Уравнение теплового состояния салона транспортного средства	Сумма мощности воздействия различных факторов равна мощности тепловой нагрузки воздуха в салоне N_{Tot}: $N_{Tot} = N_{Sol} + N_{Met} + N_{Amb} + N_{Ven} + N_{Opd} + N_{Clim}$, где N_{Sol} – мощность воздействия солнечных лучей, Вт; N_{Met} – суммарный метаболизм людей находящихся в салоне, Вт; N_{Amb} – мощность тепловых потерь в окружающую среду, Вт; N_{Ven} – мощность тепловых потерь связанных с вентиляцией, Вт; N_{Opd} – мощность воздействия температуры окружающей среды при открытии двери, Вт; N_{Clim} – мощность от климатической установки, Вт.
15.	Уравнение определения теплового воздействия от пассажиров	Метаболическую нагрузку N_{Met} можно рассчитать по формуле: $\mathrm{N_{Met}} = \sum_{\mathrm{Pass}} \mathrm{MA_{Du}k_{opS}}$, где M – скорость обмена веществ, Вт/м^2; A_{Du} – площадь поверхности человека, рассчитывается по формуле Дюбуа, м^2; k_{opS} – коэффициент открытой поверхности человека, в зависимости от времени года Площадь поверхности человека A_{Du}, определяется следующей формулой: $\mathrm{A_{Du}} = 0{,}202\mathrm{W}^{0.425}\mathrm{H}^{0.725}$,

		где W – масса человека, кг; H – рост человека, м.
16.	Уравнение определения мощности воздействия окружающей среды	Воздействие окружающей среды – это количество тепла, передаваемое воздуху салона из-за разницы температур между окружающей средой и воздухом салона. Уравнение определения мощности воздействия окружающей среды: $$N_{Amb} = \sum_{Surf} SU(T_{Amb}\text{-}T_{Sal}),$$ где S – площадь поверхности теплопередачи, м^2; U – общий коэффициент теплопередачи через многослойную стенку, Вт/(м^2·К); T_{Amb} – температура окружающей среды, К.
17.	Структура методики исследования характеристик перезаряжаемой системы хранения электрической энергии в составе транспортного средства	1. Определения характеристик транспортного средства и требования к эксплуатационным свойствам; 2. Расчётное моделирование для определения требований к перезаряжаемой системы хранения электрической энергии; 3. Сравнительный анализ по основным характеристикам перезаряжаемой системы хранения электрической энергии; 4. Виртуальные испытания транспортного средства, оснащенного перезаряжаемой системой хранения электрической энергии; 5. Многокритериальная оценка характеристик транспортного средства, оснащенного перезаряжаемой системой хранения электрической энергии.
18.	Перечень основных параметров, входящих в требования к перезаряжаемой системы хранения электрической энергии	1. Диапазон рабочих напряжений 2. Номинальная доступная энергия 3. Кратковременная пиковая мощность разряда 4. Кратковременная пиковая мощность заряда 5. Длительная мощность разряда 6. Длительная мощность заряда 7. Пропускная способность ТАБ 8. Сухая масса, не более 9. Диапазон температур
19.	Виртуальное испытание анализ динамических показателей. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Критерий отражает воздействие кратковременных токовых ограничений на разгонную динамику на ровном участке дороги и тяговую динамику при движении в продольный уклон ТС.

		Исходные данные для расчета: - Расчеты проводятся для SOC 50 %, 35 % и 20 % (диапазон приведен для проверки динамических показателей ТС при снижении токовых ограничений при SOC менее 50 %); - Полная загрузка ТС; - Продольный уклон дороги; - Максимальные собственные нужды. Результаты. Время разгона до назначенной скорости определяется из результатов скорости ТС в зависимости от времени. Возможность движения в требуемый уклон и скорость движения определяют также из зависимости скорости от времени.
20.	Виртуальное испытание максимальной скорости транспортного средства. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Критерий отражает влияние длительных токовых ограничений на движение с максимальной скоростью продолжительное время. Исходные данные для расчета: - Расчеты проводятся для SOC 50% и для минимально допустимых SOC при эксплуатации; - Полная загрузка ТС; - Максимальные собственные нужды. Результаты. Ограничение максимальной скорости оценивается исходя из графика скорости от времени.
21.	Виртуальное испытание рекуперативных мощностей заряда. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Данный критерий отражает свойство эффективного использования энергии торможения, за счет рекуперации токов в ТАБ. Учитываются 2 расчетных случая: а) Торможение с максимальной скоростью и реализацией полного рекуперативного момента электродвигателем, без применения вспомогательной системы торможения; б) Длительное поддержание скорости при движении в спуск с различным уклоном определенной протяженности. Исходные данные для расчета:

		- Расчеты проводятся для SOC 50% и для максимально допустимых SOC при эксплуатации; - Полная загрузка ТС; - Минимальные собственные нужды. Результаты. Величина кратковременной максимальной мощности рекуперации определяется из графика мощности заряда ТАБ, в зависимости от времени. При этом также оценивается путь торможения. Величина длительной мощности заряда оценивается из графика мощности заряда ТАБ, в зависимости от времени.
22.	Виртуальное испытание времени заряда. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Время заряда ТАБ определяет, насколько быстро ЭТС может пополнить энергию от зарядной станции. Исходные данные для расчета: - Мощность и ток зарядной станции; - Напряжение зарядной станции; - Максимальное напряжение заряда ТАБ; - Ограничения токов заряда ТАБ. Результаты. Время заряда оценивается исходя из графика значений SOC в зависимости от времени.
23.	Виртуальное испытание дневной эксплуатации транспортного средства при различных температурах. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Данный вид виртуального испытания определяет пробег транспортного средства в зависимости от температуры окружающей среды, расхода энергии, а также оценка снижения мощности при движении по циклу. Исходные данные для расчета: - Расчеты проводятся при температурах от -40°С до +40°С, с шагом 10°С; - С начальной температурой ТАБ +20°С; - Средние значения собственных нужд. - Заданные значения кол-ва рейсов; - Средние значения собственных нужд на каждом рейсе; - Протяженность каждого рейса; - Коэффициент загрузки ТС на каждом рейсе; - Время заряда после каждого рейса; - Мощность собственных нужд при заряде. Результаты.

		Пробег, удельный расход энергии и оценка мощности при движении по циклу оценивается по результатам расчетов.
24.	Виртуальное испытание определения времени выхолаживания перезаряжаемой системы хранения электрической энергии. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Данный критерий отражает время выхолаживания ТАБ при низких температурах. Исходные данные для расчета: - Начальная температура ТАБ; - Температура окружающей среды; - Мощность теплового нагрева; - Температура отключения подогрева. Результаты. Определение времени выхолаживания по графику температуры ТАБ. Расчет останавливается при достижении температуры ТАБ равной температуре окружающей среды или до температур, при которых ТАБ не замкнет контакторы.
25.	Виртуальное испытание определения времени прогрева перезаряжаемой системы хранения электрической энергии. Описание. Исходные данные для расчета. Результаты	Описание. Данный критерий отражает время прогрева ТАБ до температур, допускающих эксплуатацию ТС, без ограничения тяговой динамики и работы агрегатов собственных нужд. Исходные данные для расчета: - Начальная температура ТАБ - Температура окружающей среды - Мощность теплового нагрева - Температура отключения подогрева Результаты. Определение времени прогрева батареи по графику температуры ТАБ. Время прогрева батареи должно считаться пока допустимая разрядная мощность не достигнет требуемого значения.
26.	Пропускная способность перезаряжаемой системы хранения электрической энергии	Пропускная способность $E_{\text{проп}}$ определяется как: $$E_{\text{проп}} = L_{\text{ср.дн}} \cdot s_{\text{уд.проп}} \cdot n_{\text{дн}} \cdot n_{\text{лет}},$$ где $L_{\text{проб}}$ – средний дневной пробег ЭТС, км; $s_{\text{уд.проп}}$ – удельная энергия пропускной способности ТАБ; $n_{\text{дн}}$ – количество дней эксплуатации в году; $n_{\text{лет}}$ – количество лет эксплуатации до замены ТАБ.
27.	Удельная энергия пропускной способности перезаряжаемой	Удельная энергия пропускной способности ТАБ – это энергия разряда без учета заряда при рекуперации. Рассчитывается с помощью

	системы хранения электрической энергии	имитационной модели, путем интегрирования только разрядной энергии $E_{\text{разр}}$: $$s_{\text{уд.проп}} = \frac{\int E_{\text{разр}}\, dt}{L_{\text{проб}}},$$ где $L_{\text{проб}}$ – средний дневной пробег ЭТС, км. При отсутствии возможности определить удельную пропускную способность с помощью имитационной модели, данную характеристику можно рассчитать, как: $$s_{\text{уд.проп}} = y_{\text{уд.расх}} \cdot k_{\text{рекуп}},$$ где $k_{\text{рекуп}}$ – коэффициент увеличения расхода энергии без учета рекуперации, для ЭТС $k_{\text{рекуп}} = 1{,}2 \dots 1{,}3$; $y_{\text{уд.расх}}$ – удельный расход энергии ЭТС, кВт·ч/км.