

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Гаранин Максим Александрович

Должность: Ректор

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Дата подписания: 14.01.2026 10:13:42

Уникальный программный ключ:

7708e3a47e66a8ee02711b298d7c78bd1e40bf88

## Теория электрической тяги

### рабочая программа дисциплины (модуля)

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) Электрический транспорт

Квалификация **бакалавр**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Виды контроля в семестрах:

зачеты с оценкой 5

#### Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	5 (3.1)		Итого	
	Недель	16		
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	16	16	16	16
Лабораторные	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Конт. ч. на аттест. в период ЭС	0,15	0,15	0,15	0,15
В том числе в форме практ.подготовки	32	32	32	32
Итого ауд.	48	48	48	48
Контактная работа	48,15	48,15	48,15	48,15
Сам. работа	51	51	51	51
Часы на контроль	8,85	8,85	8,85	8,85
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

к.т.н., доцент, Ляшенко Виктория Владимировна; Старикова А.Г.

Рабочая программа дисциплины

**Теория электрической тяги**

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 144)

составлена на основании учебного плана: 13.03.02-25-4-ЭЭб.plmplx

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника Направленность (профиль) Электрический транспорт

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

**Тяговый подвижной состав**

Зав. кафедрой к.т.н., доцент Муратов А.В.

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1	Целью дисциплины является формирование профессиональных компетенций ПК-1, в части представленных ниже знаний, умений и навыков. Задачами дисциплины является изучение понятийного аппарата дисциплины, основных теоретических положений и методов, развитие навыков применения теоретических знаний для решения практических задач.
-----	---

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	Б1.В.06
-------------------	---------

## 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ПК-1 Способен рассчитывать и оценивать параметры и режимы функционирования подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи
ПК-1.11 Анализирует взаимосвязи элементов конструкции подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи
ПК-1.12 Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта

**В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен**

3.1	<b>Знать:</b>
3.1.1	устройства и взаимодействия узлов и деталей городского электрического транспорта, свойства подвижного состава городского электрического транспорта (ПС ГЭТ), зависимость этих свойств от конструктивных параметров подвижного состава, закономерностях его движения, процесс движения городского электрического транспорта (ГЭТ), основное уравнение движения и его анализ, коэффициент инерции вращающихся частей, основные режимы движения
3.2	<b>Уметь:</b>
3.2.1	выполнять исследования на механико-математических моделях и проводить анализ результатов исследований по определению эксплуатационных свойств подвижного состава, выбирать рациональные режимы движения ГЭТ, конструктивные параметры подвижного состава, обеспечивающие нормативные или заданные оценочные критерии его эксплуатационных свойств
3.3	<b>Владеть:</b>
3.3.1	методами расчета внутреннего электроснабжения электрического транспорта: метод сечения графика движения; метод равномерно-распределенной нагрузки; обобщенный аналитический метод;
3.3.2	методами нормирования расхода энергоресурсов на тягу ГЭТ и эффективными и безопасными режимами движения в заданных условиях эксплуатации.

## 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Примечание
	<b>Раздел 1. Основы электроснабжения электрического транспорта. Тяговые подстанции.</b>			
1.1	Общие сведения об электрическом транспорте. Классификация электрического транспорта. Общая схема энергоснабжения. ГЭТ как часть энергосистемы. Механическая система «подвижной состав–опорная поверхность». Условия работы подвижного состава ГЭТ и системы электроснабжения. Взаимодействие колесного движителя с опорной поверхностью. /Лек/	5	2	
1.2	Изучение и сравнительный анализ схем внешнего и внутреннего электроснабжения электрического транспорта. Централизованное и децентрализованное питание тяговой сети /Пр/	5	2	Практическая подготовка
1.3	Взаимодействие подвижного состава с внешней средой. /Лек/	5	2	
1.4	Изучение на модели конструкции, принципа работы и назначения основных элементов контактной сети городского электрического транспорта. /Лаб/	5	4	Практическая подготовка
1.5	Тягово-скоростные свойства подвижного состава. Тормозные свойства подвижного состава. Устойчивость подвижного состава. /Лаб/	5	2	Практическая подготовка
1.6	Проведение проверочного расчета оборудования тяговой подстанции. /Пр/	5	2	Практическая подготовка
1.7	Изучение правил эксплуатации основных узлов тяговых подстанций городского электрического транспорта. /Лаб/	5	2	Практическая подготовка
	<b>Раздел 2. Основы электрической тяги и торможения</b>			

2.1	Механика движения подвижного состава (ПС). Основное уравнение движения поезда и его анализ. Коэффициент инерции вращающихся частей. Основные режимы движения ПС. /Лек/	5	2	
2.2	Реализация сил тяги и торможения. Ограничение силы тяги. Образование тормозной силы. Образование силы сцепления. Коэффициент сцепления. /Лек/	5	2	
2.3	Методы определения коэффициента инерции вращающихся частей подвижного состава. /Лаб/	5	2	Практическая подготовка
2.4	Сопротивление движению ПС. Природа сил сопротивления. Полное сопротивление, сопротивление от трения, деформации пути, от кривой пути и от уклона. Сопротивление воздушной среды. Пути уменьшения и методы измерения сил сопротивления движению. /Лек/	5	2	
2.5	Расчет сил сопротивления движению подвижного состава /Пр/	5	2	Практическая подготовка
2.6	Методы определения основного сопротивления движению подвижного состава. /Лаб/	5	2	Практическая подготовка
2.7	Сравнение двигателей различных систем возбуждения. Механическая устойчивость. Распределение нагрузок между двигателями с различными характеристиками. Возникновение боксования. /Лек/	5	2	
2.8	Расчет электромеханических характеристик тягового электрического двигателя на ободе движущего колеса. /Пр/	5	4	Практическая подготовка
2.9	Торможение подвижного состава. Системы торможения. Механическое торможение. Вращательно-фрикционные тормоза. Расчет и ограничение тормозной силы. Механическая устойчивость. Дисковый и рельсовый тормоз. /Лек/	5	2	
2.10	Криволинейное движение (управляемость) подвижного состава. Маневренность и проходимость подвижного состава. Колебания и плавность хода подвижного состава /Лаб/	5	4	Практическая подготовка
2.11	Построение тормозных характеристик. Тормозные задачи. /Пр/	5	2	Практическая подготовка
2.12	Тяговые расчеты. Построение кривых движения ПС. Способы построения кривых движения. Кривые потребляемого подвижным составом тока. Назначение и построение кривых потребляемого тока. Определение расхода энергии на движение подвижного состава. Основные составляющие расхода энергии. /Лек/	5	2	
2.13	Правила проведения тяговых расчетов: спрямление профиля пути; определение расхода энергии и нагревания тяговых электродвигателей. /Пр/	5	4	Практическая подготовка
2.14	Методы расчета и построения кривых движения подвижного состава. /Ср/	5	8	
2.15	Сравнительный анализ и особенности применения тяговых двигателей различных систем возбуждения. /Ср/	5	3	
<b>Раздел 3. Самостоятельная работа</b>				
3.1	Подготовка к практическим занятиям /Ср/	5	16	
3.2	Подготовка к лабораторным занятиям /Ср/	5	16	
3.3	Подготовка к лекциям /Ср/	5	8	
<b>Раздел 4. Контактная работа</b>				
4.1	Сдача зачета /КЭ/	5	0,15	

### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации обучающихся приведены в приложении к рабочей программе дисциплины.

Формы и виды текущего контроля по дисциплине (модулю), виды заданий, критерии их оценивания, распределение баллов по видам текущего контроля разрабатываются преподавателем дисциплины с учетом ее специфики и доводятся до сведения обучающихся на первом учебном занятии.

Текущий контроль успеваемости осуществляется преподавателем дисциплины (модуля) в рамках контактной работы и самостоятельной работы обучающихся. Для фиксирования результатов текущего контроля может использоваться ЭИОС.

### 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

#### 6.1. Рекомендуемая литература

### 6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Эл. адрес
Л1.1	Ляшенко В. В., Тычков А. С., Пидченко С. С.	Теория тяги поездов: метод. указ. к вып. разделов курс. работы (практ. работ) для студ. спец. 190300.65 Подвижной состав ж. д. специализ. 19030001.65 Локомотивы, 19030002.65 Вагоны, 19030003.65 Электрический трансп., 19030005.65 Высокоскоростной наземный трансп. очн. и заоч. форм обуч.	Самара: СамГУПС, 2014	21COM=F&I21DBN=K1
Л1.2	Ягодкина Т. В., Беседин В. М.	Теория автоматического управления: учебник и практикум для вузов	Москва: Юрайт, 2025	tps://urait.ru/bcode/55665

### 6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Эл. адрес
Л2.1	Бажанов В. Л.	Теория автоматического управления: конспект лекций	Самара: СамГУПС, 2016	://e.lanbook.com/book/13

## 6.2 Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю)

### 6.2.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

6.2.1.1	Microsoft Office
---------	------------------

### 6.2.2 Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

6.2.2.1	База книг и публикаций Электронной библиотеки "Наука и Техника". <a href="http://www.n-t.ru">http://www.n-t.ru</a>
---------	--

6.2.2.2	База данных Объединения производителей железнодорожной техники. <a href="http://www.opzt.ru">www.opzt.ru</a>
---------	--

6.2.2.3	База данных Роспатента. <a href="https://new.fips.ru">https://new.fips.ru</a>
---------	---

6.2.2.4	Гарант, Аспижт
---------	----------------

6.2.2.5	Федеральный портал «Российское образование» (Единое окно доступа к образовательным ресурсам. <a href="http://www.edu.ru/">http://www.edu.ru/</a> )
---------	--

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1	Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения: мультимедийное оборудование для предоставления учебной информации большой аудитории и/или звукоусиливающее оборудование (стационарное или переносное).
7.2	Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, укомплектованные специализированной мебелью и техническими средствами обучения: мультимедийное оборудование для предоставления учебной информации большой аудитории и/или звукоусиливающее оборудование (стационарное или переносное).
7.3	Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.
7.4	Помещения для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГИ**

---

(наименование дисциплины(модуля))

Направление подготовки / специальность

13.03.02. Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование)

Направленность (профиль)/специализация

Электрический транспорт

(наименование)

## **Содержание**

1. Пояснительная записка.
2. Типовые контрольные задания или иные материалы для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих уровень сформированности компетенций.
3. Методические материалы, определяющие процедуру и критерии оценивания сформированности компетенций при проведении промежуточной аттестации.

## **1. Пояснительная записка**

Цель промежуточной аттестации – оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине, обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы.

Формы промежуточной аттестации: зачет с оценкой, 5 семестр.

Перечень компетенций, формируемых в процессе освоения дисциплины

Код и наименование компетенции	Код индикатора достижения компетенции
ПК-1: Способен рассчитывать и оценивать параметры и режимы функционирования подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи.	ПК-1.11: Анализирует взаимосвязи элементов конструкции подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи
	ПК-1.12: Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта

Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочные материалы (семестр )
ПК-1.11: Анализирует взаимосвязи элементов конструкции подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи	Обучающийся знает: устройства и взаимодействия узлов и деталей городского электрического транспорта, свойства подвижного состава городского электрического транспорта (ПС ГЭТ), зависимость этих свойств от конструктивных параметров подвижного состава, закономерностях его движения.	Вопросы (1 -34 ) Задания (1 - 10)
	Обучающийся умеет: выполнять исследования на механико-математических моделях и проводить анализ результатов исследований по определению эксплуатационных свойств подвижного состава, выбирать рациональные режимы движения ГЭТ.	Задания (1 - 3)
	Обучающийся владеет: методами расчета внутреннего электроснабжения электрического транспорта: метод сечения графика движения; метод равномерно-распределенной нагрузки; обобщенный аналитический метод.	Задания (1 )
ПК-1.12: Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта	Обучающийся знает: процесс движения городского электрического транспорта (ГЭТ), основное уравнение движения и его анализ, коэффициент инерции врачающихся частей, основные режимы движения	Вопросы (1 -50 ) Задания (11 - 20)
	Обучающийся умеет: определять конструктивные параметры подвижного состава, обеспечивающие нормативные или заданные оценочные критерии его эксплуатационных свойств.	Задания (4 - 6)

	Обучающийся владеет: методами нормирования расхода энергоресурсов на тягу ГЭТ и эффективными и безопасными режимами движения в заданных условиях эксплуатации.	Задания (2 - 3)
--	--	-----------------

Промежуточная аттестация (зачет с оценкой) проводится в одной из следующих форм:

- 1) ответ на билет, состоящий из теоретических вопросов и практических заданий;
- 2) выполнение заданий в ЭИОС университета.

**2. Типовые<sup>1</sup> контрольные задания или иные материалы для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих уровень сформированности компетенций**

**2.1 Типовые вопросы (тестовые задания) для оценки знаниевого образовательного результата**

Проверяемый образовательный результат:

---

<sup>1</sup> Приводятся типовые вопросы и задания. Оценочные средства, предназначенные для проведения аттестационного мероприятия, хранятся на кафедре в достаточном для проведения оценочных процедур количестве вариантов. Оценочные средства подлежат актуализации с учетом развития науки, образования, культуры, экономики, техники, технологий и социальной сферы. Ответственность за нераспространение содержания оценочных средств среди обучающихся университета несут заведующий кафедрой и преподаватель – разработчик оценочных средств.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Образовательный результат
ПК-1.11: Анализирует взаимосвязи элементов конструкции подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи	Обучающийся знает: устройства и взаимодействия узлов и деталей городского электрического транспорта, теорию движения, характеристики режимов движения.

## Примеры вопросов/заданий

### Тест 1

Что обеспечивает конструкция подвижного состава электрического транспорта?

- а) безопасность движения при допускаемых скоростях на прямых и кривых участках пути, плавность хода, достаточную устойчивость и прочность.
- б) плавность хода, достаточную устойчивость и прочность
- в) безопасность движения при не допустимых скоростях на отдельных участках пути
- г) максимально развивающиеся скорость движения на прямых и кривых участках пути, с выбором определенных особенностей параметров локомотива.

### Тест 2

Энергосистема — это:

- а) совокупность крупных электрических станций, объединенных линиями электропередачи и совместно питающих потребителей электрической и тепловой энергией;
- б) небольшие электрические станции, объединенные линиями электропередач
- в) совокупность крупных потребителей, которые питаются электрической и тепловой энергией электрические станции;
- г) линии электропередач питающих потребителей электрической энергией.

### Тест 3

На каких участках особенно проявляется высокая эффективность электрической тяги?

- а) на участках с легким профилем пути;
- б) на участках со средним профилем пути;
- в) на ровных участках пути;
- г) на участках с тяжелым профилем пути.

### Тест 4

Какие внешние силы действуют на поезд электрического транспорта?

- а) управляемые — силы сопротивления движению  $W$ , сила тяги  $F_k$  и неуправляемые - тормозная сила  $B_t$ ;
- б) управляемые — силы сопротивления движению  $W$ , неуправляемые - тормозная сила  $B_t$  и сила тяги  $F_k$ ;
- в) управляемые – сила тяги  $F_k$  и тормозная сила  $B_t$ , и неуправляемые – силы сопротивления движению  $W$ .

### Тест 5

Назовите основные режимы движения поезда:

- а) режим тяги, выбега, холостого хода, торможения;
- б) режим тяги, выбега, торможения;
- в) режим тяги и торможения;
- г) режим торможения.

### Тест 6

За счет чего повышается технико-экономическая эффективность электрической тяги?

- а) за счет внедрения системы переменного тока промышленной частоты;
- б) за счет автоматизации управления устройствами электроснабжения;
- в) за счет меньшего оборудования для тяговых подстанций;
- г) все ответы верны

### Тест 7

В каких единицах рассчитываются удельные силы сопротивления?

- а) т/кг; б) т/т; в) кг/кг; г) кг/т.

### Тест 15

В какой последовательности включаются тяговые электродвигатели при увеличении скорости движения?

- а) С → СП → П; б) СП → С → П ~ С → П → СП; в) П → С → СП.

### Тест 8

От чего образуется дополнительное сопротивление поезда? а) от уклона пути; б) от кривизны пути; в) от атмосферных условий; г) все ответы верны.

### Тест 9

Скорость движения ГЭТ по участку с учетом времени на разгон, замедление и времени на стоянку:

- а) техническая
- б) ходовая
- в) участковая
- г) маршрутная

### Тест 10

Скорость движения ГЭТ по участку без учета времени на разгон, замедление и времени на стоянку:

- а) ходовая
- б) участковая
- в) техническая
- г) нет верного ответа

ПК-1.12: Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта

Обучающийся знает: процесс движения городского электрического транспорта (ГЭТ), сановное уравнение движения и его анализ. Коэффициент инерции вращающихся частей. Основные режимы движения.

## Примеры вопросов/заданий

### Тест 11

Скорость движения по участку без учета времени на разгон, замедление и времени на стоянку:

- a)ходовая
- б)участковая
- в)техническая
- г)нет верного ответа

### Тест 12

От чего не зависит безопасность движения подвижного состава электрического транспорта в кривых участках пути?

- а)От скорости движения
- б)От нагрузок от колесных пар на рельсы
- в)От бокового давления колеса на рельс
- г)От температуры окружающей среды

### Тест 13

Как следует рассматривать движение подвижного состава электрического транспорта в кривых участках пути?

- а)Как поступательное
- б)Как вращательное
- в)Как одновременно поступательное и вращательное
- г)Как неустойчивое

### Тест 14

Заклинивание колесных пар при торможении создает на поверхности бандажа:

- а)прокат
- б)ползун
- в)вертикальный подрез
- г)скользун

### Тест 15

Какие силы сопротивления движению поезда относятся к основному сопротивлению?

- а)сопротивление в кривых
- б)сопротивление трения в буксовых подшипниках
- в)сопротивление от проскальзывания колес по рельсам из-за возможной разницы в диаметрах колес
- г)сопротивление от ненормальных погодных условий
- д)сопротивление от трения качения колес по рельсам
- е)сопротивление от подъемов
- ж)сопротивление воздушной среды
- з)сопротивление от ударов на стыках и неровностях пути

### Тест 16

Снижение силы сопротивления движению от трения качения достигается за счет уменьшения:

- а)нагрузки от колесных пар на рельсы
- б)диаметра колес
- в)твердости материала колес и рельсов
- г)все ответы верны

### Тест 17

Уравнение движения поезда в общем виде это:

- а)связи между силами, действующими на поезд, длинной поезда и ускорением его движения
- б)связи между силами, действующими на поезд, массой поезда и ускорением его движения
- в)связи между внешними силами, действующими на поезд, массой поезда и ускорением его движения
- г)связи между силой тяги и силой сопротивления, действующими на поезд, длинной поезда и ускорением его движения

### Тест 18

Модель поезда в теории тяги ПС это:

- а)Материальная точка с массой поезда в центре его тяжести
- б)Система масс локомотивов и вагонов
- в)Система масс вагонов

### Тест 19

Что называется сцепным весом?

- а) вес приходящийся на весь локомотив
- б) вес приходящийся на сцепные КП
- в) вес приходящийся на сцепные КП, которые связаны с ТЭД
- г) часть веса приходящегося на ось

### Тест 20

Уравнение движения поезда в общем виде можно записать:

- а)  $F_y = m \frac{dv}{dt}$
- б)  $F_y = (1+\gamma)mv \frac{dv}{dt}$
- в)  $F_y = (m + \sum J_v (R_B^2) + \sum J_d (R_D^2) + \sum (J_y \mu^2) / (R_D^2)) \frac{dv}{dt}$
- г)  $F_y = \gamma(1+m)dv/dt$

## Проверяемый образовательный результат:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Образовательный результат
ПК-1.11: Анализирует взаимосвязи элементов конструкции подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи	Обучающийся умеет: выполнять сравнительный анализ схем внешнего и внутреннего электроснабжения электрического транспорта.

### Практическое задание № 1

#### Тема: Выбор схемы электроснабжения

Системы первичного питания служат для передачи электроэнергии с трансформаторных подстанций или распределительных пунктов энергосистем на тяговую подстанцию. Схемы первичного питания могут быть тупиковыми, радиальными или кольцевыми. Кроме того, бывают схемы питания на отпайках. Выбор той или иной схемы первичного питания тяговой подстанции связан с необходимостью обеспечения определенной надежности электроснабжения при оптимальных начальных затратах.

Применительно к тяговым подстанциям городского электротранспорта это разделение означает, что подстанции метрополитена относятся к потребителям первой категории, трамвайно-троллейбусные же подстанции централизованного электроснабжения -- ко второй категории, так как перерыв в электроснабжении трамвайной или троллейбусной линии не сопровождается таким серьезными последствиями, как перерыв в электроснабжении линий метрополитена.

Внутреннее электроснабжение осуществляется по схеме с радиальным питанием, которая не имеют резерва, поэтому повреждение питающей линии приводит к полному прекращению электроснабжения тяговой подстанции со стороны ввода 6 или 10 кВ. Такой принцип питания, как правило, приемлем лишь в том случае, если район питания тяговой сети может быть присоединен к шинам смежных тяговых подстанций.

#### План проведения занятия

- Цель данного раздела.
- Провести анализ и выбор той или иной схемы первичного питания тяговой подстанции.

### Практическое задание № 2

#### Тема: Определение массы ГЖТ

#### План проведения занятия

- Иметь представление о расчетном подъеме и как его определить
- Уметь определять массу состава для выбранного расчетного подъема

Целью практического занятия является – ознакомиться и научиться применять расчетные параметры. Что называется расчетным подъемом?

### Практическое задание 3

#### Тема: Проверка массы поезда на трогание с места, определение величины расчетного тормозного коэффициента

#### План проведения занятия

- Проверка массы на трогание с места.
- Определение удельного сопротивления состава при трогании с места
- Расчетный тормозной коэффициент поезда

Цель практического занятия – обсудить вопросы, касающиеся массы, величины расчетного тормозного коэффициента.

### ВОПРОСЫ К ЗАНЯТИЮ

- Как определить силу тяги при трогании с места?
- Обосновать для чего должно выдерживаться условие  $Q_{mp} > Q$ ?
- Что называется расчетным тормозным коэффициентом поезда?
- Для того чтобы составить массив сил тяги что необходимо предпринять?

ПК-1.12: Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта	Обучающийся умеет: выбирать рациональные режимы движения ГЭТ. Проводить анализ состояния безопасности движения.
---	---

#### Примеры /заданий

#### Задание:4

Спрямить профиль пути, который состоит в замене двух или нескольких смежных элементов продольного профиля пути одним элементом, длина которого  $s_c$  равна сумме длин спрямляемых элементов ( $s_1, s_2, \dots, s_n$ ), т.е.

$$s_c = s_1 + s_2 + \dots + s_n \quad (1)$$

а общая крутизна спрямляемых элементов  $i'_c$  вычисляется по формуле

$$i'_c = \frac{i_1 \cdot s_1 + i_2 \cdot s_2 + \dots + i_n \cdot s_n}{s_1 + s_2 + \dots + s_n}, \quad (2)$$

где  $i_1, i_2, \dots, i_n$  - крутизна элементов спрямляемого участка.

Чтобы расчеты скорости и времени движения поезда по участку были достаточно точными, необходимо выполнить проверку каждого спрямляемого элемента на возможность спрямления по формуле:

$$\Delta_i \cdot s_i \leq 2000; \quad (3)$$

где  $s_i$  – длина спрямляемого элемента, м;

$\Delta_i$  – абсолютная величина разности между уклоном спрямляемого участка и уклоном проверяемого элемента, %, т.е.  $|i'_c - i_{\text{эл}}|$ . Проверке по формуле (3) подлежит каждый элемент спрямляемой группы, но прежде всего тогда, когда спрямляемые соседние элементы резко отличаются друг от друга по крутизне и по длине.

На спрямленных элементах возможно расположение кривых, которые заменяются фиктивным подъемом. Величина фиктивного подъема определяется по формуле:

$$i''_c = \frac{700}{s_c} \sum_{i=1}^n \frac{s_{kpi}}{R_{kpi}}, \quad (4)$$

где  $s_{kpi}, R_{kpi}$  – длина и радиус кривых в пределах спрямленного участка, м.

Если элемент профиля не подлежит спрямлению, а на нем расположена кривая, то фиктивный подъем от кривой  $i''_c$  определяется по формуле

$$i''_c = \frac{700}{R_{kpi}}, \quad (5)$$

где  $R_{kp}$  – радиус кривой, м.

Окончательный уклон спрямленного участка в продольном профиле пути равен:

$$i_c = \pm i'_c + i''_c. \quad (6)$$

Необходимо заметить, что знак крутизны  $i'_c$  может быть и положительным (для подъемов), и отрицательным (для спусков); знак крутизны фиктивного подъема от кривой  $i''_c$  всегда положительный. Это обязательно надо учитывать при вычислениях.

### Задача №5

Чему равна масса поезда, если трогаясь с места, через 48 с набрал скорость 15 м/с, с силой тяги = 80кН?

#### Решение

По 2-му закону Ньютона:

$$\frac{F}{m} = \frac{V}{t}$$

#### Задача № 6

Состав массой  $m = 40$  т., двигаясь равно замедленно, в течении времени  $t=1$  мин уменьшает свою скорость от 40 км/ч, до 28 км/ч. Найти силу торможения  $F$ .

ПК-1.11: взаимосвязи конструкции состава транспорта, кабельных и воздушных линий электропередачи	Анализирует элементов подвижного электрического транспорта, подстанций,	Обучающийся владеет: методами расчета внутреннего электроснабжения электрического транспорта: метод сечения графика движения; метод равномерно-распределенной нагрузки; обобщенный аналитический метод.
--	--	---

#### Примеры/заданий

#### Расчёт электрических нагрузок тяговой сети

Расчёт параметров тяговых нагрузок производят по следующим данным:

Ш интервал движения троллейбусов в период максимальных тяговых нагрузок;

Ш количество маршрутов на линии;

Ш средний ток, потребляемый из сети;

Ш длина участков контактной сети;

Ш длина питающих кабелей.

Таблица 1 - исходные данные:

№	Название и номер уч.	Длина участка, км.	Кол. маршрутов, шт.
---	----------------------	--------------------	---------------------

1	XX Партизан	0,689	12
2	Победы	0,354	5
3	Свободы	0,367	5
4	Минская	0,403	4
5	Металлургов	0,590	5
6	Хлебзавод	0,470	3
7	Литвинова	0,350	

Для расчёта необходимо, также задаться интервалом движения троллейбусов на участках. Всего на пересечении улиц В. Хоружей и М. Богдановича и Сурганова курсирует 15 маршрутов следующих по маршрутам: 12, 22, 28, 29, 33, 34, 37, 38, 40, 43, 46, 52, 53, 54, 55. Интервал движения которых задаётся в минутах: 12-6, 22-10, 28-14, 29-8, 33-16, 34-8, 37-4, 38-20, 40-6, 43-13, 46-10, 52-15, 53-9, 54-6, 55-14.

Исходя из этих данных определяется количество машин  $n$ , шт для каждого из маршрутов курсирующих по заданным участкам

где  $t$  - интервал движения между попутными машинами одного направления, мин

$N_1 = 10$  (шт)  
 $N_2 = 6$  (шт)  
 $N_3 = 4$  (шт)  
 $N_4 = 8$  (шт)  
 $N_5 = 4$  (шт)  
 $N_6 = 8$  (шт)  
 $N_7 = 15$  (шт)  
 $N_8 = 3$  (шт)  
 $N_9 = 10$  (шт)  
 $N_{10} = 5$  (шт)  
 $N_{11} = 6$  (шт)  
 $N_{12} = 4$  (шт)  
 $N_{13} = 7$  (шт)  
 $N_{14} = 10$  (шт)  
 $N_{15} = 4$  (шт)

Находим суммарное количество машин ?, шт на каждом участке по формуле

где  $n$ , шт - сумма машин всех маршрутов на участке

$$N_3 + N_6 + N_{11} + N_{13} + N_5 + N_7 + N_8 + N_{12} + N_{14} + N_{15} + N_9 + N_{10}$$

$$4 + 8 + 6 + 4 + 15 + 3 + 4 + 10 + 4 + 10 + 5 + 7 = 80 \text{ (шт)}$$

$$N_7 + N_9 + N_{10} + N_{11} + N_{13}$$

$$15 + 10 + 5 + 6 + 7 = 43 \text{ (шт)}$$

$$N_1 + N_2 + N_{10} + N_5$$

$$10 + 6 + 10 + 5 = 31 \text{ (шт)}$$

$$N_1 + N_2 + N_4 + N_9 + N_{10}$$

$$10 + 6 + 8 + 10 + 5 = 39 \text{ (шт)}$$

$$N_7 + N_{11} + N_{13}$$

$$15 + 6 + 7 = 28 \text{ (шт)}$$

$$N_1 + N_2 + N_7 + N_9 + N_{10} + N_{11} + N_{13}$$

$$10 + 6 + 15 + 10 + 5 + 6 + 7 = 59 \text{ (шт)}$$

$$N_1 + N_2$$

$$10 + 6 = 16 \text{ (шт)}$$

$$N_1 + N_2 + N_3 + N_5 + N_8 + N_{14} + N_{15} + N_{12} + N_9 + N_{10}$$

$$+ 6 + 4 + 4 + 3 + 10 + 4 + 4 + 10 + 5 = 60 \text{ (шт)}$$

Движение на участках 1-11 выполняется троллейбусами марки АКСМ 321 средняя эксплуатационная скорость движения которого  $x_e = 17$  км/ч, средний потребляемый ток  $I_e = 127$  А. Движение на каждом из участков двухстороннее, поэтому

частоту движения машин  $n$ , пар машин в час (пм/ч) определяем по формуле для двухстороннего движения

$$n_1 = 6,5 \text{ (пм/ч)} n_2 = 1,8 \text{ (пм/ч)} n_3 = 1,9 \text{ (пм/ч)} n_4 = 1,5 \text{ (пм/ч)} n_5 = 2,7 \text{ (пм/ч)} n_6 = 1,5 \text{ (пм/ч)} n_7 = 1,2 \text{ (пм/ч)} n_8 = 4,9 \text{ (пм/ч)} n_9 = 1,1 \text{ (пм/ч)} n_{10} = 1,2 \text{ (пм/ч)} n_{11} = 3,6 \text{ (пм/ч)}$$

Нагрузку участков тяговой сети  $I_y$ , А рассчитываем по формуле

$$I_y = I_{cp} \cdot n, (4) I_{y1} = 127 * 6,5 = 825,5 \text{ (A)} I_{y2} = 127 * 1,8 = 228,6 \text{ (A)} I_{y3} = 127 * 1,9 = 241,3 \text{ (A)} I_{y4} = 127 * 1,5 = 190,5 \text{ (A)} I_{y5} = 127 * 2,7 = 342,9 \text{ (A)} I_{y6} = 127 * 1,5 = 190,5 \text{ (A)} I_{y7} = 127 * 1,2 = 152,4 \text{ (A)} I_{y8} = 127 * 4,9 = 622,3 \text{ (A)} I_{y9} = 127 * 1,1 = 139,7 \text{ (A)} I_{y10} = 127 * 1,2 = 152,4 \text{ (A)} I_{y11} = 127 * 3,6 = 457,2 \text{ (A)}$$

Находим общий ток  $I_{общ}$ , А по формуле

$$I_{общ} = I_{y1} + I_{y2} + I_{y3} + I_{y4} + I_{y5} + I_{y6} + I_{y7} + I_{y8} + I_{y9} + I_{y10} + I_{y11}, (5)$$

$$I_{общ} = 3543,3 \text{ (A)}$$

<i>ПК-1.12: Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта</i>	Обучающийся владеет: Методами реализации сил тяги и торможения, методами нормирования расхода энергоресурсов на тягу ГЭТ.
--	---

## Примеры/заданий

### Задание.2

#### Реализация сил тяги, ограничение силы тяги по условиям сцепления.

Для подвижного состава соотношение между силой тяги  $F$  и силой сцепления  $T$  будет иметь вид:  
, где  $T$ - сила сцепления;  $F$  - сила тяги;  $J$  - сопротивление движению от трения в подшипниках;  $J$  – момент инерции вращающихся частей;  $R$  – радиус колеса;  $\alpha$  - угловое ускорение.

Ограничение силы тяги. Сила тяги ограничивается предельно допустимой силой сцепления, имеющей природу сил трения. Если этот предел будет превышен, произойдет срыв сцепления. Движущие колеса начнут скользить относительно пути в точке касания.

Наибольшая допустимая по условию сцепления сила тяги .

Величины и малы по сравнению с величиной  $T_{\text{пр}}$ . Поэтому приближенно можно принять для подвижного состава .

Сила сцепления определяется как произведение силы нажатия  $G_k$  колеса на рельс и коэффициента сцепления  $\mu_k$  колеса с рельсом, т. е.

$$T_k = G_k \mu_k$$

Если измерять нажатие колеса на рельс в кН, то чтобы получить силу сцепления  $T_k$  в Н, в правую часть необходимо ввести коэффициент, равный 1000.

Следовательно, сила сцепления, Н:

$$T_k = 1000 G_k \mu_k$$

Тогда где  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес (сумма сил нажатия всех движущих осей подвижного состава, кН

$F_{\text{max}}$  – наибольшая допустимая по условиям сцепления сила тяги пс, Н

$\Psi$  – коэффициент сцепления;

$t_{\text{сц}}$  – сцепная масса пс, т;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Для определения коэффициента сцепления подвижного состава железных дорог (электровоза) проходящего кривой участок пути можно воспользоваться формулой:

, где  $R$  – наименьший радиус кривой, м

$\Psi_k$  – коэффициент сцепления без учета кривой, равный

### Задание.3

#### Ограничение тормозной силы.

Если в режиме торможения тормозная сила  $B$  превысит предельно допустимую силу сцепления  $T_{\text{пр}}$ , произойдет заклинивание колес. Тормозные колеса начнут скользить относительно пути в точке А. Это явление называется юзом. При юзе резко уменьшается тормозная сила, так как она определяется коэффициентом трения качения между колесом и рельсом при скольжении их относительно друг друга. А коэффициент скольжения всегда меньше коэффициента сцепления, соответствующего нормальному торможению. Таким образом, предельная сила сцепления всего подвижного состава будет иметь следующие ограничения:,

$T_{\text{пр}}$  – предельная сила сцепления;  $B$  – тормозная сила;  $J$  – момент инерции;  $R$  – радиус колеса;  $W_{\text{об}}$  – сила сопротивления движению;  $dw/dt$  – угловое ускорение.

Откуда наибольшая допустимая по условиям сцепления тормозная сила.

Величины и значительно меньше величины  $T_{\text{пр}}$ , поэтому приближенно можно принять, что

$$T_{\text{пр}} = 1000 G T \square;$$

$$T_{\text{пр}} = 1000 m T g \square;$$

$$B_{\text{max}} \square 1000 m T g \square.$$

$G T$  – сумма нажатий всех тормозных колес;  $\square$  – коэффициент сцепления.

Тормозная сила поезда: ,

$z$  – число тормозных осей пс,  $B_K$  – сила, развиваемая одной тормозной осью.

### 2.3. Перечень вопросов для подготовки обучающихся к промежуточной аттестации

ПК-1.11: Анализирует взаимосвязи элементов конструкции подвижного состава электрического транспорта, подстанций, кабельных и воздушных линий электропередачи

1. Классификация электрического транспорта.
2. Общая схема электроснабжения городского электрического транспорта (ГЭТ).
3. Устройства тягового электроснабжения ГЭТ. Общие понятия и определения.
4. Секционирование контактной сети.
5. Внутреннее электроснабжение. Схемы раздельного питания путей двухпутного участка.
6. Внутреннее электроснабжение. Схемы параллельного соединения путей.
7. Внутреннее электроснабжение. Схемы с постом секционирования.
8. Внутреннее электроснабжение. Одностороннее и двухстороннее питание секций контактной сети (КС).
9. Внутреннее электроснабжение. Схемы питания однопутных участков тяговой сети ГЭТ.
10. Способы резервирования элементов электроснабжения.
11. Влияние системы электроснабжения на ЭПС.
12. Влияние тяговых сетей на линии связи и подземные металлические сооружения.
13. Режимы работы тяговых сетей. Уровни напряжения в тяговой сети и на шинах тяговых подстанций ГЭТ.
14. Основные расчетные величины, характеризующие работу системы электроснабжения.
15. Расчет среднего и эффективного значений тока питающей линии.

16. Анализ диаграммы изменения тока в питающей линии.
17. Понятие расчетной максимальной нагрузки.
18. Средние потери напряжения до токоприемника. Кривые тока подвижной единицы и диаграмма изменения напряжения на токоприемнике.
19. Средняя потеря мощности в тяговой сети и средняя потеря напряжения в рельсовой сети.
20. Основные типы контактных проводов, несущих и усиливающих тросов, применяемых на КС ГЭТ.
21. Типы контактных подвесок.
22. Расчет эластичности контактной сети для различных типов подвесок.
23. Основные типы изоляторов, применяемых на КС ГЭТ.
24. Устройства сезонной регулировки натяжения КС.
25. Виды и конструкция опор КС ГЭТ.
26. Поддерживающие устройства КС ГЭТ.
27. Расчет нагрузок на провода и тросы КС. Метеорологические факторы.
28. Расчет простой подвески.
29. Уравнение состояния провода. Критический и эквивалентный пролет.
30. Расчет маятниковой подвески.
31. Расчет цепной подвески.
32. Методы расчета поддерживающих и опорных устройств.
33. Расчет сопротивления контактной сети ГЭТ.
34. Аналитический метод электрического расчета тяговой сети тяговых подстанций.

ПК-1.12: Выполняет анализ и обобщение результатов расчетов параметров и режимов движения подвижного состава электрического транспорта

1. Классификация электрической тяги.
2. Силы, действующие на поезд в различные периоды движения.
3. Основное уравнение движения подвижного состава (ПС). Формы уравнения и его анализ.
4. Построение кривых движения поезда.
5. Коэффициент инерции вращающихся частей ПС и методы его определения.
6. Уравнение движения применительно к основным режимам движения ПС.
7. Образование сил тяги и торможения.
8. Ограничения сил тяги и торможения, связанные со сцеплением.
9. Предельная сила сцепления.
10. Коэффициент сцепления. Экспериментальное определение коэффициента сцепления.
11. Полное сопротивление движению ПС. Природа сил сопротивления.
12. Сопротивление движению от трения.
13. Зависимость сил сопротивления от скорости движения ПС.
14. Сопротивление воздушной среды.
15. Сопротивление движению в режимах тяги, выбега и торможения.
16. Сопротивление движению от уклона и кривой пути.
17. Методы определения основного сопротивления движению.
18. Условия пуска ПС.
19. Плавный и ступенчатый реостатный пуск ПС.
20. Выбор пускового тока. Диаграмма ступенчатого пуска.
21. Способы регулирования скорости ПС.
22. Системы торможения электрического ПС.
23. Механическое торможение. Вращательно-фрикционные тормоза.
24. Расчет и ограничение тормозной силы.
25. Механическая устойчивость ПС.
26. Дисковый и рельсовый тормоз.
27. Понятие рекуперативного торможения.
28. Рекуперативное торможение при двигателях последовательного возбуждения.
29. Рекуперативное торможение при двигателях встречно-смешанного и независимого возбуждения.
30. Расчет рекуперативных характеристик.
31. Реостатное торможение при двигателях последовательного возбуждения.
33. Зависимость процесса самовозбуждения от сопротивления тормозного реостата и от скорости.
34. Расчет характеристик реостатного торможения.
35. Механическая устойчивость ПС при торможении на спусках.
36. Рекуперативно-реостатное торможение.
37. Электрическое торможение с помощью тиристорно-импульсных регуляторов.
38. Принципы и методы построения кривых движения.
39. Обработка профиля пути.
40. Расчетно-графический способ построения кривых движения.
41. Графический способ построения кривых движения.
42. Метод установившихся скоростей расчета движения поезда.
43. Метод подобных кривых расчета движения поезда.
44. Влияние колебаний напряжения в тяговой сети на кривые движения.
45. Методы решения тормозных задач.
46. Кривые потребляемого ПС тока. Назначение и построение кривых тока.

47. Определение расхода электрической энергии на движение ПС.
48. Мероприятия по сокращению расхода энергии. Контроль расхода энергии на движение поезда.
49. Ограничение мощности тяговых двигателей по нагреванию. Допускаемые температуры и перегревы.
50. Применение уравнения нагревания однородного тела к расчету нагревания электрооборудования.

### **3. Методические материалы, определяющие процедуру и критерии оценивания сформированности компетенций при проведении промежуточной аттестации**

#### **Критерии формирования оценок по ответам на вопросы, выполнению тестовых заданий**

- оценка «отлично» выставляется обучающемуся, если количество правильных ответов на вопросы составляет 100 – 90% от общего объёма заданных вопросов;
- оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, если количество правильных ответов на вопросы – 89 – 76% от общего объёма заданных вопросов;
- оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если количество правильных ответов на тестовые вопросы – 75–60 % от общего объёма заданных вопросов;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если количество правильных ответов – менее 60% от общего объёма заданных вопросов.

#### **Критерии формирования оценок по результатам выполнения заданий**

«Отлично/зачтено» – ставится за работу, выполненную полностью без ошибок и недочетов.

«Хорошо/зачтено» – ставится за работу, выполненную полностью, но при наличии в ней не более одной грубой ошибки и одного недочета, не более трех недочетов.

«Удовлетворительно/зачтено» – ставится за работу, если обучающийся правильно выполнил не менее 2/3 всей работы или допустил не более одной грубой ошибки и двух недочетов, не более одной грубой и одной негрубой ошибки, не более трех негрубых ошибок, одной негрубой ошибки и двух недочетов.

«Неудовлетворительно/не зачтено» – ставится за работу, если число ошибок и недочетов превысило норму для оценки «удовлетворительно» или правильно выполнено менее 2/3 всей работы.

*Виды ошибок:*

- *грубые ошибки: незнание основных понятий, правил, норм; незнание приемов решения задач; ошибки, показывающие неправильное понимание условия предложенного задания.*
- *негрубые ошибки: неточности формулировок, определений; нерациональный выбор хода решения.*
- *недочеты: нерациональные приемы выполнения задания; отдельные погрешности в формулировке выводов; небрежное выполнение задания.*

#### **Критерии формирования оценок по зачету с оценкой**

«Отлично/зачтено» – студент приобрел необходимые умения и навыки, продемонстрировал навык практического применения полученных знаний, не допустил логических и фактических ошибок

«Хорошо/зачтено» – студент приобрел необходимые умения и навыки, продемонстрировал навык практического применения полученных знаний; допустил незначительные ошибки и неточности.

«Удовлетворительно/зачтено» – студент допустил существенные ошибки.

«Неудовлетворительно/не зачтено» – студент демонстрирует фрагментарные знания изучаемого курса; отсутствуют необходимые умения и навыки, допущены грубые ошибки.