

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА (МИИТ)»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИТТСУ



П.Ф. Бестемьянов

08 сентября 2017 г.



Кафедра «Электропоезда и локомотивы»

Авторы Савоськин Анатолий Николаевич, д.т.н., профессор
Сердобинцев Евгений Васильевич, д.т.н., профессор

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Аналитическая механика

Направление подготовки:	<u>13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника</u>
Профиль:	<u>Электрический транспорт</u>
Квалификация выпускника:	<u>Бакалавр</u>
Форма обучения:	<u>очно-заочная</u>
Год начала подготовки	<u>2015</u>

<p style="text-align: center;">Одобрено на заседании Учебно-методической комиссии института Протокол № 1 06 сентября 2017 г. Председатель учебно-методической комиссии</p>  <p style="text-align: right;">С.В. Володин</p>	<p style="text-align: center;">Одобрено на заседании кафедры</p> <p style="text-align: center;">Протокол № 2 04 сентября 2017 г. Заведующий кафедрой</p>  <p style="text-align: right;">О.Е. Пудовиков</p>
---	---

Москва 2017 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель преподавания дисциплины – изложение некоторых методов аналитической механики, применяемых для исследования динамики дос-таточно сложных систем, представляющих собой модели реальных конструкций подвижного состава (п.с.) железных дорог. В связи с развитием и совершенствованием методов исследования динамических процессов в рельсовом подвижном составе, возникает необходимость конкретизировать и выделить отдельные важные для рассматриваемого профиля №12 «Электрический транспорт» вопросы механики. Настоящий курс должен подготовить студента к восприятию методов, используемых при описании статического и динамического состояния подвижного состава с использованием современной вычислительной техники.

Задачи дисциплины:

- студент должен приобрести навыки выбора наиболее подходящего метода решения конкретных задач по исследованию движения сложных систем;
- студент должен приобрести навыки разработки кинематических схем моделей электроподвижного состава(э.п.с.) ;
- уметь определить число степеней свободы и создать математическую модель э.п.с. путем составления систем дифференциальных уравнений;
- уметь составить и решить уравнения движения всех видов подвижного состава;
- овладеть методами исследования свободных и вынужденных колебаний моделей электроподвижного состава;
- иметь опыт анализа результатов исследований и выбора на основании этого анализа необходимых параметров рессорного подвешивания.
- приобретение студентами навыков самостоятельной работы с науч-но-технической литературой по исследованию динамики э.п.с.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Учебная дисциплина "Аналитическая механика" относится к блоку 1 "Дисциплины (модули)" и входит в его вариативную часть.

2.1. Наименования предшествующих дисциплин

Для изучения данной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

2.1.1. Теоретическая механика:

Знания: понятия и законы статики, кинематики и динамики твердых тел; современные образовательные и информационные технологии

Умения: использовать на практике механические модели движения тела (системы тел) с применением соответствующего математического аппарата на основе законов динамики; пользоваться современными образовательными и информационными технологиями

Навыки: способностью на основе знаний законов статики и динамики твердых тел исследовать работу элементов подвижного состава; способностью, приобретать новые математические и естественнонаучные знания, используя современные образовательные и информационные технологии

2.2. Наименование последующих дисциплин

Результаты освоения дисциплины используются при изучении последующих учебных дисциплин:

2.2.1. Конструкция и расчёт механического оборудования электрического транспорта

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

В результате освоения дисциплины студент должен:

№ п/п	Код и название компетенции	Ожидаемые результаты
1	ОПК-2 способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	<p>Знать и понимать: Знать последовательность выполнения обработки экспериментов и анализа полученных результатов по исследованию прочностных и динамических характеристик подвижного состава.</p> <p>Уметь: Уметь выполнять обработку экспериментов по исследованию прочности и динамики подвижного состава.</p> <p>Владеть: Владеть методами оценки результатов полученных при обработке экспериментальных данных по прочности и динамике подвижного состава.</p>
2	ПК-2 способностью обрабатывать результаты экспериментов	<p>Знать и понимать: Знать законы статики и динамики твердых тел</p> <p>Уметь: Уметь составлять кинематические схемы и дифференциальные уравнения колебаний моделей подвижного состава.</p> <p>Владеть: Владеть методами исследования динамики реальных конструкций и моделей подвижного состава.</p>

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ И АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСАХ

4.1. Общая трудоемкость дисциплины составляет:

3 зачетные единицы (108 ак. ч.).

4.2. Распределение объема учебной дисциплины на контактную работу с преподавателем и самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Количество часов	
	Всего по учебному плану	Семестр 5
Контактная работа	40	40,15
Аудиторные занятия (всего):	40	40
В том числе:		
лекции (Л)	18	18
практические (ПЗ) и семинарские (С)	18	18
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4
Самостоятельная работа (всего)	41	41
Экзамен (при наличии)	27	27
ОБЩАЯ трудоемкость дисциплины, часы:	108	108
ОБЩАЯ трудоемкость дисциплины, зач.ед.:	3.0	3.0
Текущий контроль успеваемости (количество и вид текущего контроля)	КР (1), ПК1, ПК2	КР (1), ПК1, ПК2
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	ЭК	ЭК

4.3. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	5	Раздел 1 Введение	6/2		6/2	4	15	31/4	КР
2	5	Раздел 2 Раздел 1. Основы аналитической механики	6/1		6/1		16	28/2	ПК1
3	5	Раздел 3 Раздел 3. Линейные колебания системы с двумя и конечным						27	ЭК
4	5	Раздел 4 Раздел 2. Малые колебания систем	6/1		6/1		10	22/2	ПК2
5		Тема 2.1 1.1. Основные сведения из геометрической механики, используемые в аналитической механике Принцип Даламбера для систем материальных точек. Задаваемые силы и реакции связей. Идеальные связи. Применение принципа Даламбера для составления дифференциальных уравнений движения в форме геометрических уравнений равновесия. Динамические реакции связей.							
6		Тема 2.2 1.2. Некоторые основные положения аналитической механики Обобщённые координаты. Аналитическое описание связей. Кинематические (дифференциальные) и геометрические							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		<p>(конечные) связи. Голономные и неголономные системы. Возможные скорости и возможные мощности. Число степеней свободы. Возможные перемещения. Аналитическое выражение возможной скорости точки несвободной системы. Некоторые дифференциальные принципы:</p> <ul style="list-style-type: none"> — принцип задаваемых мощностей; — принцип возможных мощностей; — общие уравнения динамики системы; — принцип Журдена (Лагранжа) как необходимое условие обеспечения равновесия системы. Обобщённые силы. Общее уравнение динамики в обобщённых силах. Условия равновесия в обобщённых силах. Определение обобщённой силы инерции с помощью оператора Лагранжа. Уравнение Лагранжа II рода. Определение обобщённых сил для консервативных систем. Понятие о диссипативных системах. Применение методов аналитической механики к электромеханиче- 							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		ским системам.							
7		Тема 2.3 1.3. Устойчивость равновесия и движения системы Понятие об устойчивости равновесия по Ляпунову. Достаточное условие устойчивости равновесия консервативной системы. Теорема Лагранжа — Дирихле. Пример оценки устойчивости равновесия кузова подвижного состава. Понятие об условии устойчивости стационарного движения в малом. Теорема А.М. Ляпунова. Понятие об областях устойчивости как совокупности параметров системы, при которых обеспечивается условие устойчивости.							
8		Тема 3.1 3.1 Методы исследования линейных колебаний систем Кинетическая и потенциальная энергия системы с двумя степенями свободы при малых отклонениях от положения устойчивого равновесия. Система дифференциальных уравнений свободных колебаний и её							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		<p>решение. Собственные частоты и формы колебаний (коэффициенты распределения амплитуд). Законы изменения обобщённых координат. Вынужденные колебания под действием одной обобщённой силы. Установившиеся процессы колебаний. Резонансные режимы на двух собст-венных частотах колебаний. Колебания системы с конечным числом степеней свободы. Матричная форма записи кинетической и потенциальной энергии системы. Система дифференциальных уравнений свободных колебаний диссипативной системы в матричной форме. Случай консервативной системы. Собственные частоты и формы как собственные числа и собственные вектора инерционно-упругой матрицы. Выражение решения для свободных колебаний в виде суперпозиции главных колебаний с собственными частотами.</p>							
9		Тема 3.2 3.2. Анализ динамических							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		<p>систем при вынужденных колебаниях</p> <p>Вынужденные колебания неконсервативных систем. Установившийся режим. Определение частотных характеристик как реакций на единичное комплексное гармоническое возмущение. Анализ динамических свойств системы по амплитудным и фазовым частотным характеристикам. Определение установившихся реакций системы с помощью частотных характеристик.</p>							
10		<p>Тема 4.1</p> <p>2..1. Свободные колебания</p> <p>Свободные колебания системы с одной степенью свободы.</p> <p>Консервативная система. Выражения для кинетической и потенциальной энергии при малых отклонениях от положения устойчивого равновесия.</p> <p>Дифференциальное уравнение свободных колебаний консервативной системы. Общий интеграл дифференциального уравнения свободных колебаний. Влияние сил вязкого сопротивления.</p>							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Определение обобщённой диссипативной силы. Дифференциальные уравнения затухающих колебаний и его решение.							
11		Тема 4.2 2..2. Вынужденные колебания Вынужденные колебания. Случай действия гармонической обобщённой возмущающей силы. Общее решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний с учётом сил сопротивления. Установившийся режим. Способы исследования вынужденных колебаний и области их применения. Аналитический способ решения систем дифференциальных уравнений. Исследование вынужденных колебаний с применением ЦВМ, как наиболее универсальный способ. Особенности задания возмущений при решении дифференциальных уравнений на аналоговых и цифровых вычислительных машинах. Интеграл свёртки (Дюамеля), как способ определения реакции системы на							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		<p>произвольное возмущение по реакциям на типовые единичные возмущения: единичный скачок и единичный импульс. Переходная функция и импульсная (весовая) характеристика, как реакции на единичный скачок и единичный импульс. Примеры их определения для одномассовой модели экипажа, как системы с одной степенью свободы. Операторный способ решения системы дифференциальных уравнений. Понятие о преобразованиях Лапласа и передаточной функции. Определение изображения и оригинала реакции. Связь передаточной функции и импульсной характеристики. Частотный способ решения системы дифференциальных уравнений. Понятие о преобразованиях Фурье и частотной характеристике, как реакции на единичное гармоническое возмущение. Вещественная, мнимая, амплитудная (АЧХ) и фазовая (ФЧХ) частотные характеристики. Определение изображения и оригинала реакции.</p>							

№ п/п	Семестр	Тема (раздел) учебной дисциплины	Виды учебной деятельности в часах/ в том числе интерактивной форме						Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
			Л	ЛР	ПЗ	КСР	СР	Всего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		<p>Преимущества частотного метода при исследовании установившихся вынужденных колебаний.</p> <p>Матричная форма записи выражений для частотных характеристик и реакций системы при кинематическом и силовом возмущениях.</p> <p>Использование преобразования Фурье для отыскания установившихся вынужденных колебаний линейной динамической системы при гармоническом возмущении.</p> <p>Понятие о спектрах Фурье. Связь частотной характеристики с передаточной функцией и импульсной характеристикой.</p> <p>Резонанс.</p> <p>Импульсная характеристика, передаточная функция и частотная характеристика, как динамические характеристики системы.</p>							
12		Всего:	18/4		18/4	4	41	108/8	

4.4. Лабораторные работы / практические занятия

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

Практические занятия предусмотрены в объеме 18 ак. ч.

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Наименование занятий	Всего часов/ из них часов в интерактивной форме
1	2	3	4	5
1	5		Введение	6 / 2
2	5		Раздел 1. Основы аналитической механики	6 / 1
3	5		Раздел 2. Малые колебания систем	6 / 1
ВСЕГО:				18 / 4

4.5. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Выполняется курсовая работа на тему «Исследование свободных колебаний упрощенных динамических моделей электроподвижного состава»

Работа предусматривает выполнение следующих этапов:

- 7.1. Составление дифференциальных уравнений, описывающих малые колебания заданной упрощенной кинематической модели электроподвижного состава.
- 7.2. Приведение системы дифференциальных уравнений к форме Коши.
- 7.3. Исследование свободных колебаний путем решения на ПЭВМ системы дифференциальных уравнений.
- 7.4. Анализ результатов расчета.
- 7.5. Составление исходной матрицы из коэффициентов системы дифференциальных уравнений и вычисление ее членов для заданного варианта исходных данных.
- 7.6. Расчёты собственных частот и форм свободных колебаний с помощью QR-алгоритма.
- 7.7. Исследование свободных колебаний путем выражения решения в виде суперпозиции главных колебаний с их собственными частотами.
- 7.8. Анализ результатов расчета.
- 7.9. Выводы.
- 7.10. Список литературы.

Наряду с объяснениями преподавателя на консультациях, основными методическими указаниями являются: Бурчак Г.П., Поляков А.И., Савоськин А.Н., Сердобинцев Е.В. и Васильев А.П. Методические указания и задания для курсовой работы по дисциплине «Динамика систем». «Составление дифференциальных уравнений малых колебаний упрощенных моделей электроподвижного состава и исследования их свободных колебания», Бурчак Г.П., Савоськин А.Н. Методические указания и задания для самостоятельной работы «Колебания рельсовых экипажей», часть II. «Свободные колебания», Бурчак Г.П., Савоськин А.Н. Методические указания и задания для самостоятельной работы «Колебания рельсовых экипажей», часть III. «Вынужденные колебания» и Винник Л.В., Савоськин А.Н., Сердобинцев Е.В. «Колебания рельсовых экипажей», часть IV. Методические указания для самостоятельной работы.

7.2 Контрольные работы

Не предусмотрены.

7.3 Рефераты
Не предусмотрены

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Темы и объем самостоятельной работы студентов варьируются преподавателем в зависимости от уровня усвоения ими лекционного материала и выдаются в виде домашних заданий для закрепления материала, освоенного на практических занятиях. Выполненные студентом домашние задания, расчеты и анализ их результатов контролируются преподавателем и учитываются при промежуточных контролях.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

№ п/п	№ семестра	Тема (раздел) учебной дисциплины	Вид самостоятельной работы студента. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы	Всего часов
1	2	3	4	5
1	5		Введение	15
2	5		Раздел 1. Основы аналитической механики	16
3	5		Раздел 2. Малые колебания систем	10
ВСЕГО:				41

7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

7.1. Основная литература

№ п/п	Наименование	Автор (ы)	Год и место издания Место доступа	Используется при изучении разделов, номера страниц
1	Краткий курс теоретической механики	С.М. Тарг	Выш. шк., 1995 НТБ (уч.1); НТБ (уч.3); НТБ (уч.6); НТБ (фб.); НТБ (чз.1); НТБ (чз.2)	Все разделы
2	Механическая часть тягового подвижного состава	И.В. Бирюков; А.Н. Савоськин; Г.П. Бурчак; Под ред. И.В. Бирюкова	Транспорт, 1992 НТБ (уч.3); НТБ (уч.6); НТБ (фб.)	Все разделы

7.2. Дополнительная литература

№ п/п	Наименование	Автор (ы)	Год и место издания Место доступа	Используется при изучении разделов, номера страниц
3	Курс теоретической механики	Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье	Гос. изд-во технико-теоретической лит., 1955 НТБ (фб.)	Все разделы
4	Теоретическая механика	А.П. Маркеев	Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990 НТБ (фб.)	Все разделы

8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ "ИНТЕРНЕТ", НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Для проведения практических занятий и выполнения курсовой работы необходимо иметь комплекс программ для ПЭВМ или пакеты «Mathcad» и «Matlab», обеспечивающие возможность выполнения следующих вычислений:

9. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Для проведения практических занятий и выполнения курсовой работы необходимо иметь комплекс программ для ПЭВМ или пакеты «Mathcad» и «Matlab», обеспечивающие возможность выполнения следующих вычислений:

10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Для проведения практических занятий и выполнения курсовой работы необходимо иметь комплекс программ для ПЭВМ или пакеты «Mathcad» и «Matlab», обеспечивающие возможность выполнения следующих вычислений:

1. Определение собственных значений и собственных векторов мат-риц с комплексными коэффициентами с помощью QR- алгоритма.
2. Расчёт свободных и вынужденных детерминированных и случайных колебаний и

показателей динамических качеств линейных и нелинейных упрощенных моделей электроподвижного состава во вре-менной области.

3. Расчёт амплитудных и фазовых частотных характеристик, а также исследование в частотной области вынужденных случайных колебаний и определение показателей динамических качеств различных линейных моделей электроподвижного состава.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

При изучении дисциплины «Аналитическая механика» студентам ре-комендуется систематическая работа над материалом, пройденным на лекциях, при подготовке к практическим занятиям, к выполнению разделов курсовой работы и самостоятельной работы. При появлении неясных вопросов при подготовке к практическим занятиям и выполнению самостоятельной работы необходимо изучить соответствующие разделы основной и дополнительной литературы. При изучении разделов 1,2 и 3 лекционного курса основной литературой является учебник 2 из списка основной литературы и методические указания 3,4 из того же списка, а также учебники 1-5 из списка дополнительной литературы.

11. Методические рекомендации для преподавателей

Дисциплина «Аналитическая механика» ввиду большого объема этой дисциплины и его разнородности является, как свидетельствует опыт, достаточно сложной для усвоения студентами. Поэтому расчеты, являющиеся заключительным этапом практических занятий, курсовой и самостоятельной работ, выполняются студентом на ПЭВМ совместно с преподавателем. К результатам расчетов преподаватель должен давать студенту пояснения таким образом, чтобы этим продолжить процесс освоения студентом разделов дисциплины, относящихся к практическим занятиям, курсовой и самостоятельной работам.

При чтении лекций, для повышения уровня восприятия студентами излагаемого материала необходимо в начале каждой лекции конспективно повторять материал, изложенный в предыдущей лекции.

Основой организации учебной деятельности студента по освоению дисциплины «Аналитическая механика» должна являться его систематическая работа над изученным лекционным материалом при подготовке к практическим занятиям и при выполнении курсовой работы.