

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Саровский физико-технический институт -
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(СарФТИ НИЯУ МИФИ)

1

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра Теоретической и экспериментальной механики

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФТФ,

член-кор. РАН, д.ф.-м.н.,

_____ **А.К. Чернышев**

«___» _____ **2022г.**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Аналитическая динамика и теория колебаний

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность)	<u>15.03.03 Прикладная механика</u>
Наименование образовательной программы	<u>Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры</u>
Квалификация (степень) выпускника	<u>бакалавр</u>
Форма обучения	<u>очная</u>

Программа одобрена на заседании кафедры _____ Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.
_____ А.Л. Михайлов
протокол № от _____ 20 г. «___» _____ 2022г.

г. Саров, 2022 г.

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202___/202___ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202___/202___ учебный год.

2

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202___/202___ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

Программа переутверждена на 202___/202___ учебный год с изменениями в соответствии с семестровыми учебными планами академических групп ФТФ, ФИТЭ на 202___/202___ учебный год.

Зав. кафедрой ТиЭМ, доцент, д.т.н.

А.Л. Михайлов

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель дисциплины - обеспечение специальной подготовки в области теории колебаний для проведения научных исследований в области исследования динамических характеристик материалов, конструкций и механических систем, а также в области исследования конструкций и систем на вибропрочность и виброустойчивость.

Научить будущего специалиста необходимыми знаниями для решения прямой и обратной задачи динамики и методам исследования характеристик колебательных процессов механических систем, а также современным методам измерений и анализа параметров колебательных процессов.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Знания, в курсе полученные в курсе «Аналитическая динамика и теория колебаний», используются при изучении следующих дисциплин:

- методы измерения неэлектрических величин;
- методы измерения быстропротекающих процессов;
- динамика машин;
- экспериментальная механика;
- основы конструирования неядерных боеприпасов;
- оптимальное проектирование;
- при изучении программного обеспечения по расчету и исследованию конструкций на вибропрочность и виброустойчивость.

3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Ожидается, что в результате освоения дисциплины студент приобретет следующие компетенции:

- Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности (**ОПК-1**);
- Способен к разработке конструкторской документации на агрегаты, узлы, системы, комплексы в составе подсистем изделий, стенды для отработки подсистем изделий (**ПК-6**).

3.1 Индикаторы достижения профессиональных компетенций:

ОПК-1 Знать физические основы механики, физику колебаний и волн, молекулярную физику и термодинамику, электричество и магнетизм, оптику, атомную и ядерную физику, методы математического анализа.

У-ОПК-1 Уметь на практике применять знание физических законов к решению учебных, научных и научно-технических задач; находить аналогии между различными явлениями природы и техническими процессами.

В-ОПК-1 Владеть методами проведения физического эксперимента математической обработки полученных результатов, их анализировать и обобщать их; составлять отчет о своей работе с анализом результатов.

З-ПК-6 Знать нормативно-техническая документация: единая система конструкторской документации; руководство для конструкторов по прочности и по ресурсу; нормы прочности; перечни нормализованных элементов узлов и деталей.

У-ПК-6 Уметь применять методический аппарат и технологии конструирования систем и агрегатов изделий; использовать имеющиеся базы данных при конструировании деталей, узлов, агрегатов и систем, кинематических узлов; применять инструментарий: пользоваться стандартным программным обеспечением при оформлении документации; пользоваться стандартными пакетами прикладных программ при проведении расчетных, конструкторских и проектировочных работ, графическом оформлении проекта.

В-ПК-6 Владеть подготовкой и обработка исходных данных для разработки технического задания на агрегаты и системы; конструкторским сопровождением испытаний.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 кредитов, 144 часов, интерактивные часы - 8.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел *
			Лекции 32	Практ. занятия/ семинары 16	Лаб. работы ---			
5 семестр								
1	Дифференциальные уравнения произвольной системы движения материальных точек		4	4		Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
2	Колебания систем с одной степенью свободы		4	2		Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
3	Теоретические и экспериментальные методы измерения и анализа колебательных процессов		4	4		Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
4	Устойчивость равновесия и движения системы		2	4		Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
5	Малые колебания систем с n степенями свободы		3	2		Контр. работа/ устный опрос	Контр. работа/ устный опрос	
...	Экзамен							0 - 50
	СРС – 60 час							100

4.1. Содержание разделов дисциплины.

1. Дифференциальные уравнения движения произвольной системы материальных точек. Свободные и несвободные системы. Связи и их классификация. Возможные и виртуальные перемещения. Идеальные связи. Принцип виртуальных перемещений. Голономные системы. Обобщенные координаты и обобщенные силы. Выражение кинетической энергии через обобщенные скорости и координаты. Условия равновесия в обобщенных координатах. Общее уравнение динамики. Уравнения Лагранжа первого рода. Принцип Даламбера. Основные пространства аналитической механики. Голономные системы. Независимые координаты. Обобщенные силы. Элементарная работа. Уравнения Лагранжа второго рода в независимых координатах. Исследование уравнений Лагранжа. Задачи на составление уравнений Лагранжа второго рода. Особенности применения уравнений Лагранжа второго рода к системам с неидеальными и неударяющими связями. Диссипативная функция Релея Теорема об изменении полной энергии. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Электромеханические аналогии. Решение задач.

2. Колебания систем с одной степенью свободы. Расчетные схемы и уравнения движения

Свободные колебания консервативной системы с одной степенью свободы. Частота собственных колебаний. Начальные условия. Фазовый портрет. Свободные колебания диссипативной системы с одной степенью свободы. Начальные условия. Влияние трения на характер колебания системы

- понятие декремента затухания и методика его определения;
- влияние вязкого трения; -влияние сухого трения; -влияние позиционного трения;
- влияние внутреннего трения, коэффициент поглощения, конструкционный гистерезис.

Энергетическая оценка сил сопротивления. Определение энергетическими методами коэффициентов поглощения:

- для вязкого трения;
- для сухого трения;
- для позиционного трения.

Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы при гармоническом воздействии. Импульсная нагрузка. Возмущающая сила, изменяющаяся по произвольному закону. Внезапная нагрузка. Весовая и импульсно переходная функции. Интеграл Дюамеля. Гармоническое и негармоническое возбуждение Влияние периодических внешних сил на колебания консервативной системы.

3. Теоретические и экспериментальные методы измерения и анализа колебательных процессов. Характеристики и классификация колебательных процессов и систем.

Параметры, подлежащие измерению. Основные проблемы, возникающие при измерении колебательных процессов. Методы анализа колебательных процессов. Постановка задачи об определении параметров колебательных процессов. Прямая и обратная задачи измерений. Проблемы, возникающие при измерении и анализе колебательных процессов.

Прямое и обратное преобразование Фурье и Лапласа. Их применение. Физическая реализация этих методов. Понятие передаточной функции, амплитудно-частотной и фазовой- частотной характеристик. Методы определения частоты собственных колебаний системы. Операторные методы определения реакции системы на произвольное воздействие. Корни характеристического уравнения действительные и разные; Корни характеристического уравнения комплексно-сопряженные; Корни характеристического уравнения кратные. Экспериментальные методы определения АЧХ и ФЧХ. Типы регистрирующих приборов для анализа колебаний. Их особенности и применение. Виброметр, велосиметр, акселерометр. Баллистические приборы. Реакция колебательной системы на произвольное воздействие. Понятие идеального измерительного устройства параметров колебательных процессов. Преобразование сигналов с помощью фильтра нижних частот, верхних частот, полосового фильтра. Измерительная цепь как последовательное и параллельное соединение преобразователей. Определение установившегося значения колебательных процессов с помощью передаточной функции. Влияние переходного процесса на отклик преобразователя.

4. Устойчивость равновесия и движения системы. Теорема Лагранжа об устойчивости положения равновесия. Критерии устойчивости. Признаки неустойчивости положения равновесия. Асимптотическая устойчивость положения равновесия. Устойчивость линейных систем.

5. Малые колебания систем с n степенями свободы. Собственные колебания консервативной системы с n степенями свободы. Определение частот и форм собственных колебаний линейных систем с конечным числом степеней свободы. Экстремальные свойства частот консервативной системы. Теорема Релея об изменении частот с изменением инерции и жесткости системы. Определение частот и форм собственных колебаний системы с двумя степенями свободы на примере балки с двумя степенями свободы. Разложение движения системы по формам ее собственных колебаний. Понятие главных координат. Выражение кинетической и потенциальной энергии через главные координаты. Колебание системы с тремя степенями свободы на примере балки с тремя сосредоточенными массами. Вынужденные колебания системы с n степенями свободы без трения в главных координатах. Вынужденные колебания системы с n степенями свободы при гармонической вынуждающей силе. Собственные колебания диссипативной системы с n степенями свободы.

Формы самостоятельной работы и виды текущего контроля.

РГР – выполнение расчётно-графической работы.

ДЗ – домашнее задание.

ПТ – подготовка к тестированию.

ПЗ – подготовка к зачёту.

ПЭ – подготовка к экзамену.

СИ – самостоятельное изучение.

ПКТ – подготовка к компьютерному тестированию.

КТ – компьютерное тестирование.

ПДЗ – проверка и приём домашнего задания.

Опрос:

– проверка и приём расчётно-графической работы.

– проверка уровня готовности студентов.

– интернет-тестирование.

– устный опрос.

Методические рекомендации для преподавателя.

Курс читается в течение одного семестра.

Формой контроля знаний студентов является – экзамен.

Календарно-тематические планы занятий составляются на каждый семестр на основе рабочей программы курса, и они содержат календарный план проведения лекций, семинарских занятий, тематику домашних заданий, а также сроки проведения контрольных работ.

Планируя лекционный материал, необходимо увязывать его с темами практических занятий, так как только при этом условии практические занятия можно проводить точно по намеченному плану.

В плане проведения практических занятий указываются темы каждого практического занятия. В этом плане по каждой теме следует указать те задачи, которые как типовые рекомендуется решить преподавателю, и те, которые должны быть решены студентами самостоятельно

Лекция является одним из основных источников знаний, так как она содержит в себе информацию в обобщенном и законченном виде, и в этом заключается ее важное познавательное значение.

К методике чтения лекций необходимо предъявлять следующие требования: доступность и последовательность изложения, выделение главного, связь нового материала с ранее изученным и др. В лекции следует обращать внимание на тонкости, которые могут ускользнуть от студента при чтении учебника.

На лекциях студентам сообщаются материалы, которые позволяют им получить представление о взаимосвязях курса с техникой и другими отраслями наук, с запросами производства, о роли отечественных ученых в развитии аналитической динамики и теории колебаний.

При чтении лекции по курсу лектору постоянно приходится делать на доске различные математические выкладки. Стремясь быстрее записать эти выкладки в конспект, многие студенты в процессе записи не вникают в сущность полученных лектором зависимостей. Поэтому рекомендуется на лекциях излагать только принципиальные вопросы вывода используемых соотношений и более подробно объяснять применение этих соотношений при решении задач. Поэтому наиболее трудоемкие вопросы вывода расчетных соотношений студенты должны изучать самостоятельно. Основное внимание следует уделить практическим вопросам применения теоретического материала.

В начале лекционного курса лектор должен указать и охарактеризовать основную литературу, выделив при этом учебник как обязательное руководство, подчеркнув, что лекция и учебник служат основой для самостоятельной работы студентов.

Несмотря на то, что конспектирование лекции активизирует мыслительный процесс и является совершенно обязательным, нельзя ориентировать студентов на изучение курса по конспекту, который не может заменить собой учебника.

Переноса некоторые вопросы на самостоятельное изучение, нужно обязательно своевременно проверить, усвоили ли студенты этот материал, используя для этого различные формы проверки.

Качество и глубина усвоения студентами курса теоретической механики всецело зависят от их систематической работы в семестре по изучению теоретического материала и от полученных ими навыков в решении задач. Поэтому в домашнюю работу студентов в семестре должны входить изучение теоретического материала курса по учебнику, ознакомление с методикой и особенностью решения примеров, приведенных в учебниках, выполнение домашних заданий.

Контроль за изучением студентами теории должен также осуществляться и при защите ими заданий.

Для проверки полученных студентами навыков в решении задач по некоторым разделам курса студенты выполняют домашние задания, причем, предварительно заданные задачи, анализируются в форме контрольно-консультационной работы на семинарских занятиях (при этом выясняется степень знания данного материала), а затем студенты заканчивают решение заданной задачи дома. За решение таких задач студент получает оценку, которая учитывается при сдаче зачета, причем на экзамен студент уже имеет оценку

по теме, на которую он решал и сдал задачу. Если полученная оценка не устраивает студента, он отвечает на эту тему дополнительно.

Практика показывает, что при таком подходе студенты стараются решать все задаваемые задачи, но при этом необходимо подбирать специальные задачи, охватывающие достаточное число вопросов этого раздела и позволил бы преподавателю убедиться в том, что студент овладел методикой решения задач по этому разделу курса.

Эти задачи должны быть примерно одинаковой трудности, так как это позволит объективно оценить знания всех студентов. Если студент в установленные сроки не представлял решенные им задачи, то прием задач проводится на консультациях. При несданных задачах и контрольных работах студенту проставляется неудовлетворительная оценка. Прием домашних заданий осуществляется в рамках часов, запланированных на прием домашних заданий, и при проведении консультаций, семинаров.

Перед сдачей экзамена студент должен представить преподавателю тетрадь семинарских занятий с решением всех задач, решавшихся на этих занятиях и задававшихся на дом.

Методические рекомендации для студентов.

Требования к оформлению пояснительной записки.

1. Данные для выполнения задачи выдаются студенту преподавателем по каждой теме.
2. Все задания должны быть выполнены самостоятельно после изучения соответствующего раздела курса "Аналитическая динамика и теория колебаний" (см. список литературы). Несамостоятельно выполненные задания позволяют преподавателю обратить внимание студента на его неподготовленность.
3. Задания выполняются на стандартных листах писчей бумаги формата А4 (297x210 мм) или в школьной тетради. В тетради допускается выполнение нескольких работ.
4. Все расчеты и пояснения к ним выполняются чернилами.
5. Графическая часть задания выполняется в масштабе.
6. При решении каждой задачи необходимо:
 - написать полное условие, привести численные данные и вычертить заданную схему, соответствующую варианту;
 - начертить с соблюдением масштаба расчетную схему;
 - привести решение в общем виде, подставив численные значения только в конечные буквенные выражения (соблюдается последовательность подстановки и единицы измерения соответствующих величин);
 - записать численное значение результата с точностью до трех значащих цифр (независимо от положения запятой) и указать единицу измерения;

Титульный лист оформляется по образцу, приведенному на рис.1.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ	
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение	
высшего образования	
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»	
(НИЯУ МИФИ)	
Саровский физико-технический институт - филиал НИЯУ МИФИ	
Физико-технический факультет	
Кафедра «Теоретическая и экспериментальная механика»	
Задача 1.1	
по аналитической динамике и теории колебаний	
Группа	ДП-35Д
Студент	Петров В.А.
Преподаватель	Иванов В.Г.
Саров 2018	

Рис. 1. Образец титульного листа

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В основу образовательных технологий по предмету заложены общепринятые дидактические принципы:

- научность
- систематичность
- связь теории с практикой
- сознательность и активность
- наглядность
- прочность усвоения знаний
- доступность

позволяющие реализовать задачи современного этапа высшего профессионального образования.

Лекции, как вариант компонентно-деятельного подхода, предполагают освоение студентами необходимого объёма информации в процессе активной деятельности и приобретения ими в результате такой деятельности определённых компетенций, обуславливаемых как готовность студента к их применению в процессе будущей профессиональной деятельности.

Использование самостоятельной работы студентов, практические занятия, выполнение индивидуальных расчётно-графических работ (РГР) и практических заданий (ПЗ) как основной формы организации образовательного процесса, направленного на выработку стойких знаний, умений и навыков в освоении предмета.

Использование электронной библиотеки по самостоятельному изучению аналитической динамики и теории колебаний.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.

Вопросы к экзамену.

1. Характеристики и классификация колебательных процессов и систем. Параметры, подлежащие измерению. Основные проблемы, возникающие при измерении колебательных процессов.
2. Методы анализа колебательных процессов. Постановка задачи об измерении параметров колебательных процессов. Прямая и обратная задачи измерений параметров колебательных процессов. Проблемы, возникающие при измерении и анализе колебательных процессов.
3. Свободные колебания консервативной системы с одной степенью свободы. Частота собственных колебаний. Начальные условия.
4. Свободные колебания диссипативной системы с одной степенью свободы. Частота собственных колебаний. Начальные условия.
5. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы при гармоническом воздействии.
6. Вынужденные колебания системы с одной степенью свободы при произвольном воздействии.
7. Коэффициент динамичности.

8. Типы регистрирующих приборов для анализа колебаний. Их особенности и применение.
9. Акселерометр. АЧХ и ФЧХ акселерометра.
10. Приборы для измерения перемещений и скорости.
11. Баллистические приборы.
12. Весовая функция. Ее определение и применение.
13. Переходная функция. Ее определение и применение
14. Реакция измерительной системы на произвольное воздействие.
15. Понятие идеального измерительного устройства. Преобразование сигналов с помощью фильтра
нижних частот, верхних частот, полосового фильтра.
16. Операторные методы определения реакции системы на произвольное воздействие.
- 18.1. Корни характеристического уравнения действительные и разные;
- 18.2. Корни характеристического уравнения комплексно-сопряженные;
- 18.3. Корни характеристического уравнения кратные.
17. Измерительная цепь как последовательное и параллельное соединение преобразователей с обратной связью.
18. Следящая система. Ее применение для анализа колебательных процессов.
19. Определение установившегося значения колебательных процессов с помощью передаточной
функции. Влияние переходного процесса на отклик преобразователя.
20. Собственные колебания консервативной системы с n степенями свободы.
21. Расчет частот и форм собственных колебаний на примере балки с тремя (двумя)
степенями свободы.
22. Разложение движения системы по формам ее собственных колебаний.
23. Выражение кинетической и потенциальной энергии через главные координаты.
24. Определение движения системы с n степенями свободы по начальным условиям.
25. Движение системы с двумя степенями свободы на примере балки с двумя
сосредоточенными массами
26. Вынужденные колебания системы с n степенями свободы без трения в главных
координатах.
27. Колебания системы с тремя степенями свободы в главных координатах на примере
балки с тремя сосредоточенными массами.
28. Вынужденные колебания системы с n степенями свободы при гармонической
вынуждающей силе.
29. Динамическая податливость. Антирезонанс. Гасители колебаний.

30. Собственные колебания диссипативной системы с n степенями свободы.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Литература основная:

1. М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Керзон, Теоретическая механика в примерах и задачах. Т 2, 3, СПб ,издательство Лань, 2010.
2. В.Л. Бидерман, Теория механических колебаний, СПб ,2010 (Заключается договор о переиздании).
3. А. Д. Панков. Измерение и анализ динамических погрешностей в технологических процессах машиностроения. САРФТИ НИЯУ МИФИ, САРОВ. 2015

Литература дополнительная:

1. Е.С. Пятницкий, Н.М. Гархан, Ю.И. Хануев, Г.Н. Яковенко, Сборник задач по аналитической механике, М. "Наука", 1980 г. и последующие издания.
2. А. Д. Панков. Электронная библиотека по аналитической динамике и теории колебаний.

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Лабораторные модели, демонстрирующие основные положения курса, пакет прикладных программ АРМ Win Machine, .Matlab, Mathcad, Компас. Лабораторные работы проводятся в лабораториях и испытательных площадках ВНИИЭФ с использованием современного оборудования.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по направлению 15.03.03 Прикладная механика.

Программу составил: доцент кафедры ТиЭМ к.т.н., доцент Муравьев Н.Д

Рецензент: профессор кафедры СПР ФТФ, д.ф-м.н., доцент Герасимов С.И.