

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Динчик Оксана Владимировна

Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ

Дата подписания: 06.04.2023 15:25:30

Уникальный программный ключ:

d85fa2f259a0913da9b082999858917304201817

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

«УТВЕРЖДАЮ»

Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

\_\_\_\_\_ П.О. Румянцев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### «Теоретическая механика, динамика машин»

Направление подготовки **01.06.01 – Математика и механика**

Направленность(специальность) **Теоретическая механика, динамика машин**

Квалификация (степень) выпускника **Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Форма обучения **очная**

г. Снежинск, 2021 г.

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**1.1 Цель изучения дисциплины** – формирование у аспирантов углублённых профессиональных знаний в области положений аналитической механики и теории динамических систем, связанных с проблемой устойчивости равновесия, теории линейных и нелинейных колебаний, теории колебаний упругих тел с сосредоточенными массами, о тензорах напряжений и деформаций, о полной системе уравнений теории упругости, об основных задачах теории упругости и о методах решения задач о концентрации напряжений, о методах оценки конструкционной прочности, включающих оценку критериев прочности, надёжности и долговечности, о методах и средствах динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

### **1.2 Задачи изучения дисциплины:**

- сформировать у аспирантов представление о многообразии теоретических подходов аналитической механики и теории динамических систем, о методах динамики и устойчивости упругих систем;

- дать представление о критериях прочности, их механических характеристиках, получаемые при испытаниях;

- овладеть знаниями об условиях эксплуатации и факторах, увеличивающих опасность хрупкого разрушения; о процессах, вызывающих постепенное накопление необратимых изменений в материале и его разрушение; динамические процессы в гидравлических и пневмогидравлических машинах и методы расчета аэрогидродинамических колебательных процессов; о методах и средствах динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

- подготовить аспирантов к применению полученных знаний при проведении реальных расчётов колебаний в динамических системах, при проведении реальных расчётов устойчивости динамических системах.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО**

Дисциплина Б1.В.04 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» относится к вариативной части Блока Б1 «Дисциплины (модули)» ООП ВО по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика». Основная задача курса – дать необходимые научные знания об условиях эксплуатации, факторах, процессах, методах и средствах, возникающих при динамических испытаниях машин, приборов и аппаратуры. Изучение дисциплины способствует углублённым профессиональным знаниям в данной научной области исследования.

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

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика».

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

УК-1 – способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

УК-2 – способностью проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;

ПК-1 – способностью самостоятельно осваивать, создавать и использовать новые математические понятия, гипотезы, теоремы, физико-математические модели и численные алгоритмы и программы, в том числе для исследований в физических и других естественных науках;

ПК-2 – способностью самостоятельно исследовать свойства и создавать алгоритмы численных решений задач для обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений математической физики;

ПК-3 – способностью самостоятельно применять математический инструментарий дифференциальных уравнений для описания и исследования свойств физических и других процессов и объектов;

ОСПК-1 – способностью к преподаванию математических дисциплин в образовательных организациях основного общего, среднего общего, среднего профессионального и высшего образования;

ОСПК-3 – способностью разрабатывать аналитические обзоры состояния области прикладной математики и механики;

ОСПК-4 – способностью использовать профессиональные информационные ресурсы, включая базы данных научного цитирования Elibrary, Web of Science, Scopus, при планировании и оформлении результатов научных исследований.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

- **владеть:** уравнениями Лагранжа второго рода для задач теории колебаний и устойчивости, асимптотическим методом Крылова-Боголюбова и методом медленно изменяющихся коэффициентов Бубнова-Галёркина; видами уравнений равновесия, уравнений совместности деформаций, уравнениях в перемещениях, постановкой основных задач теории упругости, критериями прочности, надёжности, долговечности, факторами, влияющими на конструкционную

прочность; динамических процессах в гидравлических и пневмогидравлических машинах, методах расчета аэрогидродинамических колебательных процессов.

- **знать:** теоремы Ляпунова устойчивости невозмущённого движения по первому (линейному) приближению, задачи теории свободных и вынужденных линейных колебаний, методы нелинейных колебаний; основные задачи теории упругости, плоскую деформацию и плоское напряженное состояние, функцию напряжений, дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений, методы решения задач (тригонометрических рядов, преобразования Фурье, конечных разностей, конечных элементов, граничных разностей), применение теории функций комплексного переменного, формулы Колосова-Мусхелишвили, кручение цилиндрических стержней, методы решения задач о концентрации напряжений (диски и пластина с отверстием, стержни с надрезом); методы испытаний на растяжение, ползучесть, длительную прочность, хладноломкость, усталость, твёрдость, термины и определения (предел пропорциональности, предел упругости, физический предел текучести, истинное напряжение разрушения...); ударные нагрузки, определение коэффициентов динамичности при ударе, защиту от ударных воздействий, методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

- **уметь:** использовать методы подходы и методы аналитической механики и теории динамических систем в реальных задачах; использовать методы подходы и методы аналитической динамики и устойчивости упругих систем в реальных задачах; проводить расчёты показателей конструкционной прочности и проводить все виды испытаний; методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр	Трудоем- кость, кр.	Объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Контроль	СРС, час.	Форма Контроля, Экз./зачет
5	4	144	36	36	-	72	зачёт
6	5	180	36	36	54	54	кандидатский экзамен
	9	324	72	72	54	126	

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 кредитов, 324 часа.

Наименование разделов и тем	Неделя	Всего учебных занятий (в часах)	Всего учебных занятий (в часах)			
			лекции	практические занятия	самостоятельная работа занятия	Экзамен/ зачет
1		2	3	4	5	6
Тема 1. Уравнения Лагранжа. Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы.	1-3	24	6	6	12	
Тема 2. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Метод функций Ляпунова. Устойчивость периодических решений.	4-6	24	6	6	12	
Тема 3. Теория нелинейных колебаний. Предельные состояния при колебаниях.	7-9	24	6	6	12	
Тема 4. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами-Митчела.	10-12	24	6	6	12	
Тема 5. Основные задачи теории упругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние.	13-15	24	6	6	12	
Тема 6. Методы решения задач о концентрации напряжений. Антиплоская деформация.	16-18	24	6	6	12	
		144	36	36	72	
Тема 7. Динамические задачи теории упругости. Температурные задачи теории упругости.	1-3	15	3	3	9	
Тема 8. Критерии прочности, надёжности, долговечности. Факторы, влияющие на конструкционную прочность.	4-6	15	3	3	9	
Тема 9. Испытания на растяжение, ползучесть, длительную прочность. Динамические испытания на прочность, хладноломкость, усталость, твёрдость.	7-10	27	9	9	9	
Тема 10. Усилия, действующие в машинах и их передача на фундамент. Динамические процессы в гидравлических и пневматических машинах. Аэродинамические колебательные процессы.	11-13	15	3	3	9	
Тема 11. Ударные нагрузки. Коэффициенты динамичности при ударе. Защита от ударных воздействий.	14-17	27	9	9	9	
Тема 12. Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.	18-20	15	3	3	9	
Тема 13. Аналитический обзор по теме диссертационного исследования	21-22	12	6	6		
		126	36	36	54	
<b>Кандидатский экзамен по дисциплине</b>						<b>54</b>
<b>Всего по курсу</b>		<b>324</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>126</b>	<b>54</b>

## Содержание разделов и тем

Тема 1. Уравнения Лагранжа. Колебания линейных систем с конечным числом степеней свободы.

Уравнения Лагранжа второго рода для голономных и неголономных систем. Потенциальные, гироскопические и диссипативные силы. Диссипативная функция Рэлея. Функция Гамильтона. Принцип Гамильтона-Остроградского.

Тема 2. Устойчивость по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Метод функций Ляпунова. Устойчивость периодических решений.

Асимптотическая устойчивость. Метод функций Ляпунова. Теоремы Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости. Теорема Дирихле. Теоремы Кельвина и Тэта. Устойчивость по первому приближению. Критерии устойчивости линейных систем. Определение областей неустойчивости. Параметрически возбуждаемые колебания.

Тема 3. Теория нелинейных колебаний. Предельные состояния при колебаниях.

Качественная теория Пуанкаре. Особые точки и их классификация. Типы фазовых траекторий. Методы малого параметра, Крылова-Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Автоколебательные системы. Предельные циклы и их устойчивость. Вынужденные и параметрические колебания нелинейных систем. Предельные состояния при колебаниях. Отстройка от резонансов.

Тема 4. Полная система уравнений теории упругости. Уравнения Бельтрами-Митчела.

Уравнения Бельтрами-Митчела. Уравнения в перемещениях. Постановка основных задач теории упругости. Теоремы о существовании и единственности. Прямой, обратный и полуобратный методы решения задач теории упругости. Принцип Сен-Венана. Вариационные принципы теории упругости. Принцип Лагранжа. Теорема Клапейрона. Теорема Бетти. Принцип Кастильяно. Вариационные методы решения задач теории упругости (Ритца, Бубнова-Галеркина, Треффца).

Тема 5. Основные задачи теории упругости. Плоская деформация и плоское напряженное состояние.

Плоская деформация и плоское напряженное состояние. Функция напряжений. Дифференциальные уравнения и краевые условия для функции напряжений. Методы решения задач (тригонометрических рядов, преобразования Фурье, конечных разностей, конечных элементов, граничных разностей).

Тема 6. Методы решения задач о концентрации напряжений. Антиплоская деформация.

Методы решения задач о концентрации напряжений (диски и пластина с отверстием, стержни с надрезом). Трещина антиплоского сдвига в упругом теле. Кручение и изгиб призматического тела (задача Сен-Венана). Теоремы о циркуляции касательного напряжения при кручении и изгибе. Центр изгиба. Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца.

Тема 7. Динамические задачи теории упругости. Температурные задачи теории упругости.

Уравнения движения в форме Ламе. Динамические, геометрические и кинематические условия совместности на волновом фронте. Свободные волны в неограниченной изотропной упругой среде. Общее решение в форме Ламе. Фундаментальное решение динамических уравнений теории упругости для пространства. Плоские гармонические волны. Коэффициенты отражения, прохождения и трансформации. Полное отражение. Поверхностные волны Релея. Волны Лява. Установившиеся колебания упругих тел. Частоты и формы собственных колебаний. Вариационный принцип Релея.

Тема 8. Критерии прочности, надёжности, долговечности. Факторы, влияющие на конструкционную прочность.

Критерии прочности: временное сопротивление  $\sigma_B$ ; условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$ ; модуль упругости  $E$ ; предел выносливости  $\sigma_{-1}$ . Критерии надёжности: относительное удлинение после разрыва  $\delta$ ; относительное сужение после разрыва  $\psi$ ; ударная вязкость  $KCT, KCV, KCU$ ; вязкость разрушения  $KIc$ ; температурный порог хладноломкости  $t_{50}$ . Причины постепенного отказа: усталость, изнашивание, ползучесть, коррозия, радиационное разбухание и др. Факторы, влияющие на конструктивную прочность: природа и строение металла, конструкция и условия эксплуатации.

Тема 9. Испытания на растяжение, ползучесть, длительную прочность. Динамические испытания на прочность, хладноломкость, усталость, твёрдость.

Предел пропорциональности, предел упругости, физический предел текучести, предел текучести условный, временное сопротивление (предел прочности), истинное напряжение разрушения, относительное сужение после разрыва, относительное удлинение после разрыва, модуль упругости, ползучесть, предел ползучести, длительная прочность, предел длительной прочности, работа удара, ударная вязкость, хрупкое разрушение, вязкое разрушение, хладноломкость, критическая температура хрупкости, порог хладноломкости, масштабный фактор разрушения, усталость, предел выносливости, усталостная долговечность, твёрдость по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу.

Тема 10. Усилия, действующие в машинах и их передача на фундамент. Динамические процессы в гидравлических и пневматических машинах. Аэродинамические колебательные процессы.

Усилия, действующие в машинах, и их передача на фундамент. Колебания вращающихся валов с дисками. Влияние различных факторов (податливость опор, форма сечения вала, гироскопические эффекты, сила тяжести, различные виды трения) на критические скорости. Уравновешивание роторных машин. Методы статической и динамической балансировки. Динамические процессы в гидравлических и пневмогидравлических машинах. Методы расчета аэрогидродинамических колебательных процессов. Виброизоляция машин, приборов и аппаратуры. Активная и пассивная виброзащиты. Каскадная виброизоляция. Виброакустика машин. Источники и траектории виброакустических волн. Методы виброакустической защиты машин.

Тема 11. Ударные нагрузки. Коэффициенты динамичности при ударе. Защита от ударных воздействий.

Прочность при динамических нагрузках. Динамические контрактные задачи со смешанными граничными условиями. Соударение твёрдого тела и системы с одной степенью свободы. Механические испытания на удар. Расчёт динамического коэффициента при ударной нагрузке. Оценка прочности при ударной нагрузке. Определение напряжений при скручивающем ударе. Расчёты движущихся деталей при заданных ускорениях. Расчёт поступательно движущихся систем. Напряжения в тонкостенном вращающемся кольце. Расчёт равномерно вращающегося прямого бруса. Вращающиеся рамы.

Тема 12. Методы и средства динамических испытаний машин, приборов и аппаратуры.

Ударный метод. Метод вырыва. Компенсационный метод. Метод контроля трещин в конструкциях. Неразрушающие методы испытаний. Ультразвуковой метод. Радиометрические методы: методика определения плотности материала, методика определения влажности материала. Магнитный метод. Теплофизический метод. Акустический метод. Геодезический метод. Метод стереофотограмметрии.

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При реализации различных видов учебной работы в рамках курса предусмотрено проведение лекций с применением мультимедийных средств обучения в виде презентации PowerPoint, с целью в наиболее концентрированном виде представить материал с указанием значимых моментов содержания дисциплины, освещением основных понятий и категорий, а также для формирования у студентов общего представления о месте дисциплины в общем перечне дисциплин ООП ВО 01.06.01 «Математика и механика» и о формируемых этой дисциплиной компетенциях.

Практические занятия проводятся в интерактивной форме общения студентов между собой и заслушивании рефератов, подготовленных студентами. В рефератах излагаются основные положения излагаемых проблем.

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

**Практические (семинарские) занятия** предусмотрены в рамках соответствующих лекционных разделов.

1. Решение задач асимптотической устойчивости, применение метода функций Ляпунова, теорем Ляпунова и Четаева об устойчивости и неустойчивости, теорем Дирихле, Кельвина и Тэта. Оценка устойчивости по первому приближению, применение критериев устойчивости линейных систем.

2. Определение особых точек и их классификация. Построение фазовых траекторий. Решение задач методами малого параметра, Крылова-Боголюбова, Ван-дер-Поля, гармонической линеаризации. Исследование автоколебательных систем. Анализ вынужденных и параметрических колебаний нелинейных систем, предельных состояний при колебаниях.



3. Решение задач с помощью уравнений Бельтрами-Митчела и уравнений в перемещениях. Решение задач теории упругости прямым, обратным и полуобратным методами. Использование вариационных принципов теории упругости при решении задач (Ритца, Бубнова-Галеркина, Треффца).
4. Задачи плоской деформации и плоского напряженного состояния. Решение дифференциальных уравнений с учётом краевых условий для функций напряжений. Решение задач методами тригонометрических рядов, преобразования Фурье, конечных разностей, конечных элементов, граничных разностей.
5. Решение задач методами концентрации напряжений (диски и пластина с отверстием, стержни с надрезом). Задача Сен-Венана. Применение теоремы о циркуляции касательного напряжения при кручении и изгибе. Задача о действии штампа с плоским основанием на полуплоскость. Контактная задача Герца.
6. Оценка предела пропорциональности, предела упругости, физического предела текучести, предела текучести, предела длительной прочности. Оценка работы удара, ударной вязкости, хрупкого разрушения, вязкого разрушения, хладноломкости, оценка критической температуры хрупкости, порога хладноломкости. Оценка твёрдости по Бринеллю, по Роквеллу, по Виккерсу.
7. Решение динамических контрактных задач со смешанными граничными условиями. Задачи соударения твёрдого тела и системы с одной степенью свободы. Расчёт динамического коэффициента при ударной нагрузке. Оценка прочности при ударной нагрузке. Определение напряжений при скручивающем ударе. Расчёт поступательно движущихся систем. Расчёт равномерно вращающегося прямого бруса, вращающейся рамы.

### **Самостоятельная работа**

Цель самостоятельной работы аспирантов – изучение учебного материала, перенесенного с аудиторных занятий на самостоятельную проработку, закрепление полученных теоретических знаний и приобретение практических навыков.

В рамках дисциплины «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» предполагается самостоятельное изучение материала в рамках разделов: аналитическая механика и теория колебаний; динамика и устойчивость упругих систем; динамика машин, приборов и аппаратуры; конструкционная прочность.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основная литература**

Вульфсон И. И. Динамика машин. Колебания: учебное пособие для вузов / И. И. Вульфсон. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 275 с. — (Высшее образование). — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/491984>

### **Дополнительная литература**

Детали машин и основы конструирования: учебник и практикум для вузов / Е. А. Самойлов [и др.]; под редакцией Е. А. Самойлова, В. В. Джамая. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 419 с. — (Высшее образование). — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/498830>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и практического типа (л221).

АРМ преподавателя:

персональный компьютер – 1 шт.,  
мультимедийный проектор Aser X1260 – 1 шт.,  
проекционный экран Lumien Master Picture – 1 шт.,  
доска школьная – 1 шт.,  
наглядные пособия;

46 рабочих мест для студентов.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика».

Автор:            доцент кафедры Технической механики Зуев Ю.С.

Рецензент:

---

Программа одобрена на заседании Технической механики

Зав. кафедрой Технической механики \_\_\_\_\_ Зуев Ю.С.