

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе


_____ Н.В.Лобов

« 09 » декабря 20 19 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина: Динамика и устойчивость конструкций и механических систем
(наименование)

Форма обучения: очная
(очная/очно-заочная/заочная)

Уровень высшего образования: магистратура
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

Общая трудоёмкость: 180 (5)
(часы (ЗЕ))

Направление подготовки: 15.04.03 Прикладная механика
(код и наименование направления)

Направленность: Вычислительная механика и компьютерный инжиниринг
(наименование образовательной программы)

1. Общие положения

1.1. Цели и задачи дисциплины

Ознакомление студентов с основными положениями курса, исследующего вопросы динамического поведения машиностроительных конструкций и их элементов; ознакомление с основными методами исследования устойчивости механических систем и элементов машиностроительных конструкций.

Задачи дисциплины:

- формирование знаний современных подходов и методов решения задач по динамике и устойчивости механических систем;
- формирование умений проводить вычислительные эксперименты для исследования динамических процессов в механических системах, решения вопросов устойчивости;
- формирование навыков владения методиками применения программных средств для проведения вычислительных экспериментов, навыками анализа результатов численного эксперимента.

1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- механические системы и машины, конструкции и их элементы сложной пространственной геометрии, нагруженные реальными динамическими воздействиями;
- современные приближенные методы и прикладные пакеты для определения динамических характеристик механических систем, методы анализа свободных и вынужденных колебаний.

1.3. Входные требования

Не предусмотрены

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|--|--|----------------------------|
| ПК-1.2 | ИД-1ПК-1.2 | Знает современные подходы и методы решения задач по динамике и устойчивости механических систем. | Знает этапы выполнения научных исследований в области прикладной механики, методы осуществления мультидисциплинарных расчетов и оптимизации конструкций; | Коллоквиум |
| ПК-1.2 | ИД-2ПК-1.2 | Умеет проводить вычислительные эксперименты для исследования динамических процессов в механических системах, решения вопросов устойчивости | Умеет разрабатывать и применять компьютерные модели сложных механических объектов в CAE-системах, самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики; | Защита лабораторной работы |

| Компетенция | Индекс индикатора | Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть) | Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения | Средства оценки |
|-------------|-------------------|---|---|-----------------|
| ПК-1.2 | ИД-3ПК-1.2 | Владеет методиками применения программных средств для проведения вычислительных экспериментов, навыками анализа результатов численного эксперимента | Владеет навыками использования современных программных средств компьютерного анализа механических систем (САЕ-системами мирового уровня). | Экзамен |

3. Объем и виды учебной работы

| Вид учебной работы | Всего часов | Распределение по семестрам в часах | |
|--|-------------|------------------------------------|---|
| | | Номер семестра | |
| | | 1 | 2 |
| 1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме: | 54 | 54 | |
| 1.1. Контактная аудиторная работа, из них: | | | |
| - лекции (Л) | 9 | 9 | |
| - лабораторные работы (ЛР) | 18 | 18 | |
| - практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ) | 25 | 25 | |
| - контроль самостоятельной работы (КСР) | 2 | 2 | |
| - контрольная работа | | | |
| 1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС) | 90 | 90 | |
| 2. Промежуточная аттестация | | | |
| Экзамен | 36 | 36 | |
| Дифференцированный зачет | | | |
| Зачет | | | |
| Курсовой проект (КП) | | | |
| Курсовая работа (КР) | 18 | 18 | |
| Общая трудоемкость дисциплины | 180 | 180 | |

4. Содержание дисциплины

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|--|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| 2-й семестр | | | | |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| Динамические расчеты режимов механических систем | 3 | 14 | 15 | 38 |
| <p>Тема 1. Динамические расчеты рабочих режимов. Вариационная постановка задачи о свободных колебаниях трехмерного упругого тела. Применение метода Релея-Ритца к задачам о свободных колебаниях трехмерных упругих тел. Полуаналитический метод конечных элементов в задачах динамики геометрически осесимметричных, циклически симметричных трехмерных упругих конструкций и тел, обладающих поворотной циклической симметрией. Колебания осесимметричных оболочек со сложной образующей. Пространственные частоты и формы колебаний осесимметричных элементов машиностроительных конструкций. Учет влияния напряженного состояния на собственные значения.</p> <p>Тема 2. Вынужденные колебания элементов конструкций. Природа диссипативных сил в конструкциях. Некоторые модели рассеяния энергии в распределенных системах. Линейная вязкоупругая среда, как модель системы с внутренним трением. Методы построения периодических решений динамических задач с учетом линейной вязкоупругости. Прямой метод решения задачи о вынужденных установившихся колебаниях пространственных машиностроительных конструкций. Амплитудно-частотная характеристика системы. Влияние демпфирующих свойств системы на частоту и амплитуду вынужденных колебаний. Метод разложения по собственным формам. Примеры реализации на практике.</p> | | | | |
| Динамический анализ роторных машин | 1 | 0 | 0 | 17 |
| <p>Тема 3. Влияние вращения на динамическое поведение конструкций и балансировка роторных машин. Методы реализации задачи балансировки. Автоматическая балансировка. Критические состояния вращающихся валов и роторов. Модельные задачи: критические состояния жесткого ротора на упругих опорах, исследование динамики ротора вертолета, самоуравновешивание роторов и роторных систем. Расчетные и математические модели в задачах динамического поведения вращающихся деформируемых конструкций.</p> | | | | |
| Устойчивость конструкций механических систем | 5 | 4 | 10 | 35 |
| Тема 4. Устойчивость состояния равновесия и | | | | |

| Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | Объем внеаудиторных занятий по видам в часах |
|---|---|----|----|--|
| | Л | ЛР | ПЗ | СРС |
| <p>стационарных режимов движения.</p> <p>Устойчивость состояния равновесия. Теоремы Лагранжа. Линейные и линеаризованные уравнения равновесия упругих систем. Метод Эйлера.</p> <p>Приближенные и численные методы определения собственных значений краевых задач. Критерий Сильвестра.</p> <p>Малые колебания системы около положения устойчивого равновесия. Устойчивость движения системы с конечным числом степеней свободы.</p> <p>Дифференциальные уравнения возмущенного движения системы. Исследование возможных решений уравнения возмущенного движения.</p> <p>Тема 5. Устойчивость упругих систем.</p> <p>Постановка задач устойчивости тонкостенных систем. Энергетический метод решения задач устойчивости. Метод Релея-Ритца в задачах устойчивости.</p> <p>Устойчивость прямолинейных стержней.</p> <p>Закритическое поведение стержней. Устойчивость криволинейных стержней.</p> <p>Устойчивость пластин. Устойчивость оболочек.</p> <p>Постановка задачи об устойчивости пространственных упругих конструкций с учетом неконсервативности системы.</p> <p>Тема 6. Введение в теорию устойчивости</p> <p>Определение устойчивости движения по Ляпунову.</p> <p>Основные понятия и критерии теории устойчивости линейных систем. Простейшие типы точек покоя.</p> <p>Уравнение в возмущениях.</p> <p>Функции Ляпунова и их применение. Определение устойчивости движения по Ляпунову. Прямой метод Ляпунова. Теоремы об устойчивости движения.</p> <p>Теоремы о неустойчивости движения. Способы построения функций Ляпунова. Теорема Лагранжа как следствие теоремы Ляпунова об устойчивости движения. Циклические координаты. Устойчивость по первому приближению. Влияние структуры сил на устойчивость движения.</p> | | | | |
| ИТОГО по 2-му семестру | 9 | 18 | 25 | 90 |
| ИТОГО по дисциплине | 9 | 18 | 25 | 90 |

Тематика примерных практических занятий

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия |
|--------|--|
| 1 | Аналитические методы исследования колебаний стержней с бесконечным числом степеней свободы |

| № п.п. | Наименование темы практического (семинарского) занятия |
|---------------|---|
| 2 | Свободные колебания прямоугольных пластин. Аналитическое решение |
| 3 | Вывод дифференциального уравнения колебания пластин. Учет граничных условий |
| 4 | Свободные колебания круглых пластин. Реализация граничных условий. Функции Бесселя |
| 5 | Метод обратных итераций при решении задач на собственные значения. Разработка алгоритма решения задачи о свободных колебаниях пластин |
| 6 | Метод парабол отыскания корней алгебраических и трансцендентных уравнений в задачах на собственные значения для изгибных колебаний |
| 7 | Метод разложения по собственным формам в задачах о вынужденных колебаниях пластин |
| 8 | Теорема Лагранжа-Дирихле. Критерий Сильвестра. Устойчивость равновесного состояния консервативных систем |
| 9 | Дифференциальные уравнения возмущенного движения |
| 10 | Устойчивость упругих стержней (формула Эйлера, статический, динамический, энергетический подходы к решению задач устойчивости) |
| 11 | Устойчивость пластин и оболочек |
| 12 | Теоремы Ляпунова об устойчивости движения |

Тематика примерных лабораторных работ

| № п.п. | Наименование темы лабораторной работы |
|---------------|---|
| 1 | Приближенные методы определения собственных частот колебаний механических систем |
| 2 | Численная реализация метода обратных итераций при решении задач на собственные значения. Разработка алгоритма решения задачи о свободных колебаниях пластин |
| 3 | Численная реализация решения задачи о вынужденных колебаниях пластин |
| 4 | Анализ поведения конструкции за пределами устойчивости |

Тематика примерных курсовых проектов/работ

| № п.п. | Наименование темы курсовых проектов/работ |
|---------------|--|
| 1 | Анализ динамических характеристик пространственных систем с учетом предварительного напряженного состояния |
| 2 | Исследование роторных систем при различных параметрах |
| 3 | Устойчивость параметрически возбуждаемых колебаний |
| 4 | Моделирование явления флаттера |

5. Организационно-педагогические условия

5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

6.1. Печатная учебно-методическая литература

| № п/п | Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц) | Количество экземпляров в библиотеке |
|-------------------------------|--|---|
| 1. Основная литература | | |
| 1 | Паршаков А. Н. Современное введение в физику колебаний : учебное пособие / А. Н. Паршаков. - Долгопрудный: Интеллект, 2013. | 15 |
| 2 | Шевелев Н.А. Аналитическая динамика и теория колебаний : учебное пособие. Исследование динамики механических систем / Н.А. Шевелев, Т.Е. Мельникова. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2007. | 47 |

| 2. Дополнительная литература | | |
|---|---|-----|
| 2.1. Учебные и научные издания | | |
| 1 | Динамика механизмов : учебное пособие / А. А. Головин [и др.] ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана; Под ред. А. А. Головина .— 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006 .— 159 с | 11 |
| 2 | Лекции по основам теории вибрационных машин и технологий : учебное пособие для вузов / Г. Я. Пановко ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана .— Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008 .— 192 с. | 73 |
| 3 | Прикладная теория механических колебаний : учебное пособие для вузов / В.Л.Бидерман .— М. : Высш. шк., 1972 .— 416 с. | 25 |
| 4 | Теория колебаний : учебное пособие для вузов / И. М. Бабаков .— 4-е изд., испр. — Москва : Дрофа, 2004 .— 592 с. | 127 |
| 5 | Теория колебаний : учебное пособие для вузов / М. М. Ильин, К. С. Колесников, Ю. С. Саратов ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана .— 2-е изд., стер. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003 .— 271 с. | 49 |
| 6 | Устойчивость движения и равновесия : учебник для вузов / Н. А. Алфутов, К. С. Колесников ; Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана .— 2-е изд., стер. — Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003 .— 253 с. | 50 |
| 2.2. Периодические издания | | |
| | Не используется | |
| 2.3. Нормативно-технические издания | | |
| | Не используется | |
| 3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины | | |
| | Не используется | |
| 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента | | |
| | Не используется | |

6.2. Электронная учебно-методическая литература

| Вид литературы | Наименование разработки | Ссылка на информационный ресурс | Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ) |
|---------------------|--|---|---|
| Основная литература | Аналитическая динамика и теория колебаний : учебное пособие. Исследование динамики механических систем / Н.А. Шевелев, Т.Е. Мельникова ; Пермский государственный технический университет .— Пермь : Изд-во ПГТУ, 2007.— 44 с. | https://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2619 | сеть Интернет; свободный доступ |

6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Вид ПО | Наименование ПО |
|--|---|
| Операционные системы | Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching) |
| Офисные приложения. | Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567 |
| Прикладное программное обеспечение общего назначения | MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г. |

6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

| Наименование | Ссылка на информационный ресурс |
|---|---|
| База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU) | https://elibrary.ru/ |
| Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета | http://lib.pstu.ru/ |
| Электронно-библиотечная система Лань | https://e.lanbook.com/ |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks | http://www.iprbookshop.ru/ |
| Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс | http://www.consultant.ru/ |

7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

| Вид занятий | Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения | Количество единиц |
|----------------------|---|-------------------|
| Курсовая работа | Мультимедиа-проектор | 1 |
| Лабораторная работа | Компьютерный класс | 8 |
| Лекция | Компьютер для показа презентаций или ноутбук | 1 |
| Лекция | Мультимедиа-проектор | 1 |
| Практическое занятие | Компьютерный класс | 8 |

8. Фонд оценочных средств дисциплины

| |
|------------------------------|
| Описан в отдельном документе |
|------------------------------|