

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе



Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 01.06.01 Математика и механика

Направленность (специальность) 01.02.06 Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины по выбору

«Динамика и устойчивость конструкций»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.1.1

Всего: 108 часов

Семестр 1, в том числе

6 часов – контактная работа,
84 часов – самостоятельная работа,
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 01.06.01 «Математика и механика», утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 866, и паспорта специальности 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является изучение основных понятий и методов расчетов конструкций на динамические воздействия и методов исследования устойчивости положений равновесия элементов конструкций.

Задачами дисциплины являются

- изучение основных методов исследования собственных колебаний конструкций;
- освоение методов расчета конструкций на динамические воздействия различного рода;
- изучение методов исследования устойчивости положений равновесия конструкций при действии консервативных и неконсервативных нагрузок.

В процессе освоения дисциплины формируются следующие **компетенции:**

- Способность выявлять сущность научно-технических проблем динамики, прочности, надежности и безопасности машин, устройств и конструкций и привлекать, модернизировать и разрабатывать для их решения теоретические и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования (ПК-1) ;
- Способность самостоятельно осваивать и применять современные математические концепции и вычислительные методы, системы компьютерной математики, компьютерного проектирования и инжиниринга

для эффективного решения проблем динамики, прочности, надежности и безопасности машин, устройств и конструкций (ПК-3);

- Готовность самостоятельно планировать и осуществлять прикладную научно-техническую деятельность в области динамики, прочности, надежности и безопасности машин, устройств и конструкций в интересах удовлетворения потребностей различных отраслей промышленности, топливно-энергетического комплекса, транспорта и строительства (ПК-4)

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- аналитические и численные методы определения собственных частот и форм механических систем (ПК-4);
- методы и их численную реализацию по определению реакций конструкций на различные динамические воздействия (ПК-1);
- методы расчета устойчивости положений равновесия конструкций при действии сил, явно не зависящих от времени (ПК-4);

уметь

- проводить практические расчеты динамической прочности и устойчивости элементов конструкций при стационарном и нестационарном нагружении на этапах проектирования и эксплуатации (ПК-4);

владеть:

- методикой нормативных расчетов динамической прочности и устойчивости конструкций (ПК-4);
- навыками разработки математических моделей, алгоритмизации и программирования вычислений при расчетах на динамическую прочность и устойчивость, а также навыками использования современных вычислительных комплексов (ПК-3).

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ

Вариационный вывод уравнений колебаний для упругого тела

Принцип Гамильтона-Остроградского для упругого тела. Динамические уравнения теории упругости. Вариационный вывод уравнений колебаний и естественных граничных условий для одномерных и двумерных систем. Уравнение продольных, крутильных и изгибных колебаний стержней. Уточненная теория изгибных колебаний стержней. Уравнения колебаний и естественные граничные условия колебаний пластин. Применение принципа Даламбера для вывода уравнений динамики упругих систем.

Общие свойства и методы определения спектров собственных колебаний

Общие свойства спектров собственных колебаний. Операторное уравнение для определения собственных частот и форм. Свойства упругого и инерционного операторов, иллюстрация этих свойств на примере изгибных колебаний стержней. Действительность частот собственных колебаний. Ортогональность собственных форм по потенциальной и кинетической энергии. Структура спектра частот собственных колебаний. Полнота системы форм собственных колебаний. Энергетическое пространство упругого оператора. Энергетическая норма. Вариационные принципы теории собственных колебаний. Минимальное свойство низшей собственной частоты. Минимальные свойства высших собственных частот. Классификация методов определения собственных частот и форм. Методы малого параметра и последовательных приближений. Методы физической дискретизации (дискретизация масс). Вариационные методы определения собственных частот и форм колебаний. Методы Релея, Ритца, Бубнова-Галеркина и коллокаций. Метод конечных элементов.

Собственные колебания стержней, пластин и оболочек

Собственные колебания стержней, пластин и оболочек. Продольные, крутильные и изгибные колебания стержней постоянного поперечного сечения.

Различные случаи опорного закрепления. Балочные функции и их свойства. Метод начальных параметров в задаче об изгибных колебаниях стержней. Методы расчленения в теории собственных колебаний стержней (метод динамических податливостей, метод динамических жесткостей). Влияние осевых усилий на собственные изгибные колебания стержней. Влияние инерции вращения и деформаций поперечного сдвига на изгибные колебания стержней. Собственные колебания прямоугольных пластин. Граничные условия Навье. Плотность собственных частот пластин. Прямоугольная пластина с краевыми условиями Леви. Колебания круговых и кольцевых пластин. Применение вариационных методов в задачах о собственных колебаниях пластин. Асимптотический метод Болотина для определения спектров собственных колебаний. Применение асимптотического метода к расчету прямоугольных пластин. Собственные колебания круговых цилиндрических оболочек. Граничные условия Навье. Осесимметричные и преимущественно изгибные колебания. Собственные колебания пологих оболочек.

Учет диссипации энергии и вынужденные колебания упругих систем

Учет диссипации энергии при колебаниях упругих систем. Природа диссипации энергии в упругих системах. Характеристики рассеяния энергии. Методы учета рассеяния энергии при колебаниях. Внутреннее трение в материале – модель Фойхта (представление решения собственных колебаний, декремент, относительное рассеяние энергии за цикл колебаний). Внешнее трение при колебаниях упругих систем (представление решения собственных колебаний, декремент, относительное рассеяние энергии за цикл колебаний). Рассеяние энергии, характеристики которого не зависят от частоты. Вынужденные колебания упругих систем. Установившиеся колебания под действием периодических сил. Решения, получаемые в замкнутой форме. Представление решения в виде разложения по формам собственных колебаний. Метод разложения по собственным формам в задачах о неустановившихся колебаниях упругих систем. Установившиеся колебания в системах с демпфированием.

Поперечные колебания вращающихся валов с неуравновешенными дисками. Вывод уравнений колебаний упругого вала с симметрично расположенным диском. Критические скорости вращения вала. Прецессионное движение. Влияние гироскопических сил, собственного веса и сил внутреннего трения на критические скорости вала с дисками.

Колебания упругих систем под действием подвижных и ударных нагрузок

Постановка задачи о действии подвижных нагрузок на упругую конструкцию. Задача о движении инерционного груза по безинерционной балке. Задача о действии подвижной безинерционной нагрузки на балку с распределенной массой. Постановка задачи о движении груза по балке с распределенной массой. Ударное действие нагрузок. Элементарная теория удара твердого тела об упругую систему (теория удара Кокса). Волновая теория удара Сен-Венана – Буссинеска. Теория удара С.П.Тимошенко.

Общая теория упругой устойчивости

Общая теория упругой устойчивости. Определение устойчивости по Ляпунову для распределенных систем. Уравнение в вариациях для упругого тела. Случай «жесткого» невозмущенного состояния. Учет поведения нагрузок при составлении уравнений в вариациях. Постановка задачи об устойчивости упругих систем при действии сил, явно не зависящих от времени.

Статический и динамический методы исследования устойчивости

Статический метод исследования устойчивости. Область применения статического метода исследования устойчивости. Динамический метод исследования устойчивости упругих систем. Устойчивость консольного стержня, сжатого «мертвой» и следящей силой. Типы потери устойчивости. Особенности неконсервативных задач теории упругой устойчивости. Формула Релея в задачах упругой устойчивости. Частные случаи: стержни, пластины, упругое тело. Энергетическое истолкование формулы Релея. Вариационный принцип

Треффца. Приближенные методы определения критических нагрузок: метод Ритца, метод Бубнова-Галеркина, метод конечных элементов

Устойчивость стержней, пластин и оболочек

Продольный изгиб сжатых стержней. Различные случаи граничных условий. Устойчивость стержней на упругом основании. Устойчивость прямоугольных пластин при сжатии. Шарнирно опертая пластина, сжатая в одном направлении. Устойчивость прямоугольной пластины при сжатии в двух направлениях. Устойчивость пластин при сдвиге. Устойчивость круговых и кольцевых пластин. Устойчивость тонких упругих оболочек. Вариационный принцип Треффца для оболочек. Устойчивость круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии и при внешнем гидростатическом давлении. Сопоставление численных результатов линейной теории устойчивости оболочек с экспериментальными данными. Устойчивость за пределами упругости. Границы применимости теории упругой устойчивости. Продольный изгиб упругопластического стержня. Касательно-модульная и приведенно-модульная критические силы. Частный случай: стержень прямоугольного поперечного сечения.

ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 3 семестр – дифференцированный зачет.

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Чем отличается математическая модель описания динамического поведения системы с распределенными параметрами от модели системы с конечным числом степеней свободы?
2. Сформулируйте вариационный принцип Гамильтона – Остроградского и как с его помощью можно получить уравнения колебаний и естественные граничные условия.
3. В чем состоят поправки Релея для продольных и изгибных колебаний стержней?

4. Дайте определение основным свойствам упругого и инерционного операторов.
5. Какими свойствами обладают собственные частоты и собственные формы колебаний распределенных систем?
6. Чем отличается энергетическое пространство упругого оператора от области его определения?
7. Какие наиболее популярные в инженерной практике энергетические методы определения характеристик собственных колебаний существуют и в чем они заключаются?
8. Какую оценку для основной собственной частоты дает формула Релея?
9. Каким образом можно свести распределенную систему к системе с конечным числом степеней свободы?
10. В каких случаях можно получить точные значения для собственных частот и точные выражения для форм собственных колебаний?
11. Что такое балочные функции, и какими свойствами они обладают?
12. В чем состоит метод начальных параметров, и какими преимуществами он обладает?
13. Как влияет учет деформаций поперечного сдвига на величину собственных частот при изгибных колебаниях стержня?
14. По какому закону распределяются собственные частоты в пластинах?
15. С помощью каких специальных функций определяются формы собственных колебаний круговых пластин?
16. Сформулируйте гипотезы, которые принимаются в классической теории колебаний пластин.
17. Какими свойствами обладают продольные и поперечные волны в неограниченной изотропной упругой среде?
18. Что такое дисперсионное уравнение, и какие характеристики волн оно связывает?
19. Определение устойчивости по Ляпунову для распределенных систем.
20. Применение метрических пространств для определения устойчивости упругих систем.
21. Уравнения нелинейной теории упругости при конечных деформациях.
22. Уравнение в вариациях для упругого тела. Случай «жесткого» невозмущенного состояния.
23. Учет поведения нагрузок при составлении уравнений в вариациях.
24. Постановка задачи об устойчивости упругих систем при действии сил, явно не зависящих от времени.
25. Статический метод исследования устойчивости. Пример, иллюстрирующий неприменимость статического метода.

26. Область применения статического метода исследования устойчивости.
27. Динамический метод исследования устойчивости упругих систем. Устойчивость консольного стержня, сжатого «мертвой» и следящей силой.
28. Типы потери устойчивости. Особенности неконсервативных задач теории упругой устойчивости.
29. Формула Релея в задачах упругой устойчивости. Частные случаи: стержни, пластины, упругое тело.
30. Энергетическое истолкование формулы Релея. Вариационный принцип Треффца.
31. Приближенные методы определения критических нагрузок: метод Ритца, метод Бубнова-Галеркина.
32. Элементы теории бифуркаций Пуанкаре. Предельные точки, точки ветвления форм равновесия.
33. Применение теории бифуркаций к задачам упругой устойчивости.
34. Продольный изгиб сжатых стержней. Различные случаи граничных условий.
35. Устойчивость стержней на упругом основании.
36. Устойчивость прямоугольных пластин при сжатии. Шарнирно опертая пластина, сжатая в одном направлении.
37. Устойчивость прямоугольной пластины при сжатии в двух направлениях.
38. Устойчивость пластин при сдвиге.
39. Устойчивость круговых и кольцевых пластин.
40. Устойчивость круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии и при внешнем гидростатическом давлении.
41. Сопоставление численных результатов линейной теории устойчивости оболочек с экспериментальными данными.
42. Границы применимости теории упругой устойчивости.
43. Касательно-модульная и приведенно-модульная критические силы.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Окопный Ю.А., Радин В.П., Чирков В.П. Колебания линейных систем. – М.: ИД "Спектр", 2014. – 422 с. , ISBN 978-5-4442-0041-4., (доступно 248 экз.).
2. Майлыбаев А.А., Сейранян А.П. Многопараметрические задачи устойчивости. Теория и приложения в механике. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 400 с., ISBN 978-5-9221-1196-6, (доступно 1 экз.).
3. Алдошин, Г. Т. Теория линейных и нелинейных колебаний: учебное пособие для физико-технических вузов. Серия: Учебники для вузов. Специальная литература. Лань, 2013 . 320 с., ISBN 978-5-8114-1460-4. (доступно 28 экз.).

Дополнительная литература:

4. Радин В.П., Самогин Ю.Н., Чирков В.П. Метод конечных элементов в динамических задачах сопротивления материалов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 314 с. ISBN 978-5-9221-1485-1, (доступно 78 экз.)
5. Костюк А.Г. Динамика и прочность турбомашин. – М.: Изд. дом МЭИ, 2007. – 476 с. ISBN 978-5-383-00130-1. (доступно 279 экз.).
6. Радин В.П., Щугорев А.В. Методы исследования устойчивости неконсервативных механических систем. – М.: МЭИ, 2010. – 80 с. ISBN 978-5-383-00559-0, (доступно 275 экз.).