

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

«Вычислительная механика»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.1

Всего: 108 часов

Семестр 3, 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 современных подходов к численному моделированию поведения конструкций с применением компьютерных технологий, необходимых в профессиональной деятельности по выбранному профилю.

Задачами дисциплины являются

- познакомить с современными подходами к исследованию прочности и надежности машин и конструкций, ориентируясь на применение компьютерных технологий;
- научить принципам разработки альтернативных математических и расчетных моделей при решении сложных задач механики;
- привить навыки инженера-исследователя, способного критически анализировать получаемые результаты;
- приучить оформлять сделанную работу в соответствии с правилами, принятыми в научно-инженерной среде.

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).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

знать:

- алгоритмы решения инженерных задач с использованием компьютерных технологий (ПК-3);
- основные источники информации (книги, журналы, сайты Интернет), касающиеся методов анализа прочности и надежности машин и конструкций средствами вычислительной математики (ПК-4);

уметь:

- провести в полном объеме вычислительный эксперимент: составить расчетную модель, выбрать численный метод, разработать собственный программный код или воспользоваться подходящим программным средством, проанализировать полученные результаты, составить отчет по выполненной работе (ПК-3);

владеть:

- навыками расчета деталей машин и элементов конструкций с использованием вычислительных методов и компьютерных технологий (ПК-4);
- навыками применения методов математического и компьютерного моделирования механических систем и процессов (ПК-3);
- умением пользоваться объектно-ориентированными разделами инженерных программных комплексов (ПК-4).

Краткое содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Методы обработки числовых данных

1.1. Постановка задачи о приближении функций.

1.2. Интерполяция

- 1.2. Среднеквадратичное приближение функций, заданных в табличной форме.
- 1.3. Полиномиальные формулы численного дифференцирования.
- 1.4. Численное интегрирование

Раздел 2. Численное решение задач линейной алгебры в механике конструкций

- 2.1. Алгоритмы расчета конструкций, приводящие к системам линейных алгебраических уравнений.
- 2.2. Оценки обусловленности систем линейных уравнений.
- 2.3. Метод исключения Гаусса его точность и численная устойчивость.
- 2.4. Общая характеристика методов решения полной проблемы собственных значений.
- 2.5. Анализ собственных колебаний систем с большим числом степеней свободы методом итераций в подпространстве.

Раздел 3. Расчет собственных колебаний и устойчивости конструкций МКЭ

- 3.1. Принципы разработки расчетных схем МКЭ в задачах динамики конструкций.
- 3.2. Оценка погрешности конечноэлементного расчета собственных частот и форм колебаний.
- 3.3. Линейная и нелинейная постановки задачи о потере устойчивости. Особенности построения геометрической матрицы жесткости.
- 3.4. Решение частичной проблемы собственных значений для модели МКЭ.
- 3.5. Решение нелинейной задачи методом переменной жесткости.
- 3.6. Численный критерий потери устойчивости

Раздел 4. Расчет сложных составных систем методом суперэлементов

- 4.1. Алгоритм статической конденсации – основа метода суперэлементов.
- 4.2. Принципы разбиения сложной конструкции на составные части.
- 4.3. Процесс формирования суперэлементов и сборки подструктур.
- 4.4. Последовательный расчет перемещений и напряжений.

Раздел 5. Введение в программный комплекс ANSYS

- 5.1. Система команд и приемы работы с главным меню.
- 5.2. Построение твердотельных моделей, задание типов элементов, формирование сетки, задание граничных условий, запуск на решение и интерпретация результатов.
- 5.3. Расчет оболочечных конструкций
- 5.4. Динамический расчет стержневых систем
- 5.5. Комбинированные модели.
- 5.6. Апостериорные оценки погрешности

Раздел 6. Решение задач механики сплошной среды методом конечных разностей

- 6.1. Аппроксимация уравнений в частных производных разностными соотношениями.
- 6.2. Принципы построения разностных схем
- 6.3. Интегро-интерполяционный метод составления разностных схем.
- 6.4. Понятия аппроксимации, устойчивости и сходимости.
- 6.5. Критерий устойчивости Неймана и его геометрическое истолкование.
- 6.6. Решение линейных параболических задач.
- 6.7. Решение эллиптических задач итерационным методом Либмана.
- 6.8. Решение гиперболических задач.
- 6.9. Первое дифференциальное приближение.
- 6.10. Дисперсия и диссипация на разностной сетке.

Оценочные средства

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

Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Почему при изгибе балки, нагруженной сосредоточенными силами (моментами) МКЭ дает точное решение для изгибающего момента (в пренебрежении вычислительной погрешностью)?
2. Почему на участках балки с распределенной поперечной нагрузкой МКЭ дает приближенное решение?
3. Как расчетным путем убедиться, что конструкция имеет способность к жестким смещениям?
4. Поясните на простейшем примере качественную зависимость частот собственных колебаний от основных характеристик конструкции.
5. Почему расчет методом конечных элементов дает завышенные оценки собственных частот относительно истинных значений?
6. Как влияет уточнение кэ-модели конструкции на расчетные оценки собственных частот?
7. Почему в динамике конструкций для моделей с большим числом степеней свободы решают частичную, а не полную проблему собственных значений?
8. Почему формы колебаний, рассчитанные методом конечных элементов, получаются заведомо приближенными? Как это обстоятельство влияет на оценки собственных частот?
9. Для кэ-модели симметричной закрепленной балки с центральной упругой опорой (линейной пружиной) определяются три первые собственные частоты изгибных колебаний. Объясните, почему вторая частота не зависит от жесткости пружины.
10. К какой математической задаче сводится линейный анализ устойчивости конструкции?
11. Поясните на примерах, какой эффект учитывает матрица начальных усилий $\mathbf{K}_0$ при расчете конструкций с большими перемещениями.
12. Почему в задаче расчета на устойчивость решается не полная, а частичная проблема собственных значений?
13. Приведите качественную картину аппроксимации перемещений и напряжений на линейных и квадратичных элементах в плоской задаче теории упругости.
14. Чем отличается плоское напряженное состояние от состояния плоской деформации?
15. Какой простейший прием используется для стыковки разнородных элементов в МКЭ?
16. Каким образом можно выявить опасную потенциальную подвижность (существенную податливость) конструкции?
17. Какие проблемы ожидаются при расчете конструкций с входящими углами на границах?
18. Какой расчетный параметр позволяет установить зоны конечноэлементной модели, где может потребоваться сгущение сетки?
19. Что такое «разностная схема»?
20. Что такое «шаблон» разностной схемы?
21. В чем состоит принципиальное отличие явных и неявных разностных схем решения параболических и гиперболических задач?
22. Каким преимуществом обладает центрированная схема Крэнка-Никольсона в решении задач теплопереноса?
23. Объясните роль фиктивных точек при разностной аппроксимации дифференциальных граничных условий.

24. Какой параметр характеризует с количественной стороны понятие «аппроксимация» в теории разностных схем?
25. Дайте любое определение устойчивости разностной схемы.
26. Основная теорема теории разностных схем (упрощенная формулировка).
27. Почему анализ устойчивости методом разделения переменных справедлив только для линейных разностных схем?
28. Какие разностные схемы называются «условно устойчивыми»?
29. Какие разностные схемы называются абсолютно устойчивыми?
30. Сформулируйте критерий Неймана устойчивости разностных схем для задач с одной зависимой переменной.
31. Сформулируйте критерий Неймана устойчивости разностных схем для задач с несколькими зависимыми переменными.
32. Что такое «спектр множителей перехода» в теории разностных схем?
33. Геометрическая интерпретация критерия устойчивости Неймана.
34. Почему точное решение уравнения переноса имеет вид бегущей волны?
35. Физический смысл условия Куранта.
36. Опишите с качественной стороны поведение разностного решения уравнения переноса при различном числе Куранта в явных и неявных схемах.

Рекомендуемая литература

Основная:

1. Бахвалов Н. С. , Жидков Н. П. , Кобельков Г. М. . Численные методы : учебное пособие для физико-математических специальностей вузов. – 4-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006 . – 636 с.(Классический университетский учебник) . - 250-лет МГУ им. М.В. Ломоносова . - ISBN 5-947743-96-5 (доступно 100 экз.).
2. Кукуджанов В.Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций: Учебное пособие. - М.: МФТИ, 2008. - 215 с. ISBN 978-5-7417-0238-3 (доступно 1 экз.).

Дополнительная:

3. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. М.: Машиностроение-1, 2005. – 512 с. (доступно 1 экз.).