**Программа утверждена на заседании кафедры теории упругости**

**Протокол № 4 от 14 октября 2015 г.**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

1. Код и наименование дисциплины (модуля) Динамика пластин и оболочек

2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

3. Направление подготовки: 01.06.01 — «Математика и механика».

Направленность программы:

специальность 01.02.04 — «Механика деформируемого твердого тела»

4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП.

Тип дисциплины (модуля) по характеру ее освоения:

электив на любом периоде обучения

5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

|  |  |
| --- | --- |
| **Формируемые компетенции**  ***(код компетенции)*** | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)** |
| *УК-1* | З1 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях  У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов |
| *ОПК-1* | З1 (ОПК-1) Знать основные понятия, результаты и задачи фундаментальной математики и механики.  У1 (ОПК-1) Уметь применять основные математические методы и алгоритмы для решения стандартных задач математики.  В1 (ОПК-1) Владеть методами математического моделирования. |
| *ПК-9* | З (ПК-9)-1 Знать основные понятия, подходы, основные модели и уравнения механики сплошных сред и тел, находящихся в условиях физико-механических воздействий  У (ПК-9)-1 Уметь использовать методы фундаментальной и вычислительной математики, физики при анализе задач механики деформируемого твердого тела |

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетных единицы, всего 72 часа, из которых 40 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 0 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 2 часа индивидуальные консультации, 0 часов мероприятия текущего контроля успеваемости, 4 часа мероприятия промежуточной аттестации), 32 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:

Знание основ механики сплошной среды, механики деформируемого твердого тела, математического анализа, теории дифференциальных уравнений, основ дифференциальной геометрии.

8. Формат обучения: аудиторные занятия.

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего**  **(часы**) | В том числе | | | | | | | | |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | | | **Самостоятельная работа обучающегося, часы**  из них | | |
| Занятия лекционного типа | Занятия семинарского типа | Групповые консультации | Индивидуальные консультации | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др. | **Всего** | Выполне-ние домашних заданий, самостоятельное изучение материала лекций,  подготовка к экзамену | Подготовка рефератови т.п.. | **Всего** |
| **1. Уравнения изгиба пластин – классическая линейная теория.** Гипотезы Кирхгофа-Лява. Кривизна и кручение срединной поверхности. Выражения для деформаций. Вектора усилий и моментов. Вывод уравнений равновесия пластин из принципа возможных перемещений Лагранжа. Возможные виды граничных условий. Обобщенная перерезывающая сила Кирхгофа. Разделение задачи о деформировании пластины на задачи изгиба и деформирования в ее плоскости. Уравнение С.Жермен-Лагранжа. Принцип минимума полной потенциальной энергии. Метод Ритца. Метод Бубнова-Галеркина. Примеры: изгиб прямоугольных и круглых пластин, оценки погрешности приближенных решений. | 20 | 10 | 0 |  |  | 0 | 10 | 10 |  | 10 |
| **2. Колебания пластин.** Уравнения колебаний. Собственные поперечные колебания. Собственные формы колебаний, собственные частоты, спектр, частота основного тона. Пример: собственные частоты и собственные формы колебаний прямоугольной шарнирно опертой пластины. Вариационный принцип Гамильтона в динамических задачах теории упругости. Уравнения движения Лагранжа 2 рода для упругого тела. Уравнения колебаний пластины, записанные в обобщенных координатах. Метод Рэлея. Методы Ритца и Бубнова-Галеркина для отыскания собственных частот и собственных форм колебаний пластины. Сходимость приближенных методов. Пример применения приближенного метода отыскания частоты основного тона. | 24 | 12 |  |  |  |  | 12 | 12 |  | 12 |
| **3. Пластины переменной толщины**. Уравнения изгиба и колебаний. Собственные колебания. Спектральная задача. Метод Бубнова-Галеркина. Метод Ритца. Задачи оптимизации для пластин переменной толщины: оптимизация по собственным частотам, пластины максимальной жесткости. | 8 | 4 |  |  |  |  | 4 | 4 |  | 4 |
| **4. Цилиндрическая оболочка.** Уравнения изгиба и колебаний круговой цилиндрической оболочки в осесимметричном случае. Краевой эффект и безмоментное напряженное состояние. | 12 | 6 |  |  |  |  | 6 | 6 |  | 6 |
|  | 4 |  |  | 2 | 2 |  |  |  |  |  |
| Промежуточная аттестация: экзамен | 4 |  |  | | | | | ХХ | | |
| **Итого** | 72 | 32 | 0 | 2 | 2 |  | 32 | 32 | 0 | 32 |

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине (модулю):

Научная библиотека МГУ им. А.М.Горького

Электронная библиотека попечительского совета механико-математического факультета МГУ (lib.mexmat.ru)

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ**  **по дисциплине (модулю)** | **КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ**  **по дисциплине (модулю) и**  **ШКАЛА оценивания** | | | | | **ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ** |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |  |
| З1 (УК-1) Знать методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач | Общие, но не структурированные знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных | Сформированные систематические знания методов критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методов генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе междисциплинарных | Индивидуальное собеседование |
| У1 (УК-1) Уметь анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов | Отсутствие умений | Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов | В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов | В целом успешно, но содержащие отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов решения исследовательских задач и оценка потенциальных выигрышей/проигрышей реализации этих вариантов | Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов | Практические контрольные задания |
| *З1 (ОПК1)* | Отсутствие знаний | Фрагментарные представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях | Неполные представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях | Сформированные систематические представления о результатах, проблемах, методах научных исследований в области математики и смежных областях | Индивидуальное собеседование |
| *У1 (ОПК1)* | Отсутствие умений | Фрагментарное умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований | В целом успешное, но не систематическое умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований | Сформированное умение разработки и применения методов и алгоритмов научных исследований | Практические контрольные задания |
| З (ПК-9)- Знать основные понятия, подходы, основные модели и уравнения механики сплошных сред и тел, находящихся в условиях физико-механических воздействий | Отсутствие знаний | Фрагментарные представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела, методах исследования механических систем, современных тенденциях в механике | Неполные представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела, методах исследования механических систем, современных тенденциях в механике | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела, методах исследования механических систем, современных тенденциях в механике | Сформированные систематические представления об основных и специальных разделах механики деформируемого твердого тела, методах исследования механических систем, современных тенденциях в разработке моделей механики | Индивидуальное собеседование |
| У (ПК-9)-1 Уметь использовать методы фундаментальной и вычислительной математики, физики при анализе задач механики деформируемого твердого тела | Отсутствие умений | Фрагментарное умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем, анализировать протекающие процессы | В целом успешное, но не систематическое умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем, анализировать протекающие процессы | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем, анализировать протекающие процессы | Сформированное умение физически корректно ставить задачи механики деформируемого твердого тела, выбирать методы их анализа и решения, представлять и интерпретировать полученные результаты, давать качественные заключения о поведении сложных механических систем, анализировать протекающие процессы | Практические контрольные задания |

* Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций:

Сформулировать постановку задачи для описания собственных колебаний прямоугольной жестко закрепленной пластины.

Указать методы решения полученной начально-краевой задачи

Проиллюстрировать предложенные методы решения на конкретной задаче.

**Другие примеры контрольных заданий**

1. Для тонкостенной длинной цилиндрической оболочки с днищами, находящейся под действием внутреннего давления, найти компоненты тензора напряжений (вне зоны краевого эффекта).

2. На основании первой гипотезы Кирхгофа-Лява получить выражение для компонент тензора деформации.

3. Сформулировать граничные условия для прямоугольной пластины, две стороны которой жестко закреплены, а две другие свободны (шарнирно закреплены).

4. Применить метод Бубнова-Галеркина для приближенного решения задачи об изгибе прямоугольной жестко защемленной пластины, находящейся под действием равномерной поперечной нагрузки.

5. Найти собственные частоты колебаний прямоугольной шарнирно закрепленной пластины.

6. Решить задачу об осесимметричном изгибе круглой пластины.

7. Привести примеры узловых линий в задачах о собственных колебаниях прямоугольных и круглых пластин.

8. Вывести формулу Рэлея для частоты собственных колебаний пластины.

9. Найти прогибы длинной цилиндрической оболочки при осесимметричной нагрузке.

* Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения:

Вопросы к экзамену

1. Гипотезы Кирхгофа-Лява.
2. Выражения для деформаций через кривизну и кручение срединной поверхности.
3. Усилия и моменты.
4. Вывод уравнений равновесия пластин и статических граничных условий из принципа возможных перемещений Лагранжа.
5. Обобщенная перерезывающая сила Кирхгофа. Возможные виды граничных условий.
6. Вывод уравнений равновесия пластины из условия равновесия ее бесконечно малого элемента.
7. Уравнение С.Жермен-Лагранжа.
8. Принцип минимума полной потенциальной энергии. Полная потенциальная энергия при изгибе пластины.
9. Метод Ритца решения задач об изгибе пластин.
10. Метод Бубнова-Галеркина решения задач об изгибе пластин.
11. Изгиб прямоугольных и круглых пластин, оценки погрешности приближенных решений.
12. Уравнения поперечных колебаний пластин.
13. Постановка задачи о собственных поперечных колебаниях пластин. Собственные формы колебаний, собственные частоты, спектр, частота основного тона. Узловые линии.
14. Пример нахождения собственных частот и собственных форм колебаний: собственные частоты и собственные формы колебаний прямоугольной шарнирно опертой пластины.
15. Вариационный принцип Гамильтона в динамических задачах теории упругости. Уравнения движения Лагранжа 2 рода для упругого тела.
16. Получение уравнений собственных поперечных колебаний пластины из уравнений Лагранжа 2 рода. Приближенное решение задачи о собственных колебаниях пластин.
17. Отношение Рэлея.
18. Вариационная постановка задачи отыскания минимальной собственной частоты.
19. Методы Рэлея-Ритца и Бубнова-Галеркина для отыскания собственных частот и собственных форм колебаний пластины.
20. Сходимость приближенных методов. Пример применения приближенного метода отыскания частоты основного тона.
21. Постановка задачи о собственных колебаниях пластин переменной толщины.
22. Задачи оптимизации для пластин переменной толщины: оптимизация по собственным частотам, пластины максимальной жесткости.
23. Уравнения изгиба и колебаний круговой цилиндрической оболочки в осесимметричном случае.
24. Краевой эффект и безмоментное напряженное состояние цилиндрической оболочки.

Экзаменационный билет содержит теоретический вопрос (А) и контрольное задание (Б). Например:

Билет 1.

А. Постановка задачи о собственных поперечных колебаниях пластин. Собственные формы колебаний, собственные частоты, спектр, частота основного тона. Узловые линии.

Б. Для тонкостенной длинной цилиндрической оболочки с днищами, находящейся под действием внутреннего давления, найти компоненты тензора напряжений (вне зоны краевого эффекта).

—

12. Ресурсное обеспечение:

* Перечень основной и дополнительной учебной литературы
  + Ляв А. Математическая теория упругости. ОНТИ. М.—Л., 1935.
  + Новожилов В.В. Теория тонких оболочек. Л. . Судпромгиз, 1951.
  + Строительная механика летательных аппаратов. Под ред. И.Ф.Образцова. М., Машиностроение, 1986.
  + Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. М., Мир, 1987.
  + Черных К.Ф. Линейная теория оболочек. Л., Изд-во ЛГУ, 1962.
  + Тимошенко С.П., Войсовский-Кригер С. Пластины и оболочки. М., ГИФМЛ, 1963.
  + Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1979.
  + Огибалов П.М., Колтунов М.А. Оболочки и пластины. М., Изд-во МГУ, 1969.
  + Михлин М. Вариационные методы в математической физике. М., Наука, 1970.
  + Филин А.П. Элементы теории оболочек. Л., Стройиздат, 1987.
  + Фын Я.Ц. Введение в теорию аэроупругости. Физматгиз. 1959.
  + Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов. М. Наука, 1986.
  + Бисплингхофф Р. и др. Аэроупругость. М. ИИЛ, 1958.
  + Баничук Н.В. Оптимизация форм упругих тел. М. Наука, 1980.
* Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Электронная библиотека попечительского совета механико-математического факультета МГУ (lib.mexmat.ru)

* Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):

Мультимедийные средства представления информации (мультимедиа-проектор)

* Описание материально-технической базы:
* Мультимедийные средства представления информации (персональный компьютер, мультимедиа-проектор)
* Традиционные средства представления информации (доска меловая; доска пластиковая)

13. Язык преподавания.

Русский

14. Преподаватель

Мартынова Е.Д., доцент, к.ф.-м.н.

Заведующий кафедрой теории упругости

механико-математического факультета МГУ

д.ф.-м.н., профессор РАН Д.В. Георгиевский