МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное   
образовательное учреждение высшего образования**   
**«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет   
им. Н.И. Лобачевского»**

|  |
| --- |
| Институт информационных технологий, математики и механики |

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО

решением ученого совета ННГУ

протокол от

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_

**Рабочая программа дисциплины**

|  |
| --- |
| Динамика и устойчивость упругих механических систем |

*(наименование дисциплины (модуля))*

Уровень высшего образования

|  |
| --- |
| бакалавриат |

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

|  |
| --- |
| 01.03.02 Прикладная математика и информатика |

*(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)*

Направленность образовательной программы

|  |
| --- |
| Математическое моделирование и вычислительная математика |

*(указывается профиль / магистерская программа / специализация)*

Форма обучения

|  |
| --- |
| очная |

*(очная / очно-заочная / заочная)*

Нижний Новгород

 2021 год

1. **Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Динамика и устойчивость упругих механических систем» (код Б1.В.07.02) относится к вариативной части Блока Б1

.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ варианта** | **Место дисциплины в учебном плане образовательной программы** | **Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД** |
| 2 | Блок 1. Дисциплины (модули) вариативная часть | Дисциплина Б1.В.07.02 «Динамика и устойчивость упругих механических систем» относится к вариативной части ОПОП направления подготовки 01.03.02 Прикладная математика и информатика |

1. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)**

| **Формируемые компетенции** (код, содержание компетенции) | **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции** | | **Наименование оценочного средства** |
| --- | --- | --- | --- |
| **Индикатор достижения компетенции**\*(код, содержание индикатора) | **Результаты обучения  по дисциплине\*\*** |
| *ПК-2*  Способен анализировать поставленную задачу, использовать корректные методы её решения, применять математически сложные алгоритмы в современных специализированных программных комплексах, реализовывать в них новые алгоритмы | *ПК-2.1.*  **Знает** теоретические основы и методологию построения решений фундаментальных задач, основы информационных технологий. | **Знает** основные понятия и правила в области распределенных упругих механических систем. | *Экзамен* |
| *ПК-2.2.*  **Умеет** самостоятельно осуществлять анализ и выбор методов и алгоритмов решения задач профессиональной деятельности. | **Умеет** использовать на практике математический аппарат и современные программные комплексы для описания динамики механических моделей, исследования их на устойчивость. | *Расчетно-графическая работа, экзамен* |
| *ПК-2.3.*  **Имеет практический опыт** решения задач в соответствии с выбранным методом и построенным алгоритмом с использованием современных программных комплексов. | **Владеет навыками** использования на практике аппарата современной теории распределенных упругих механических систем для математического и численного моделирования различных физических процессов. | *Расчетно-графическая работа, экзамен* |

1. **Структура и содержание дисциплины**
   1. **Трудоемкость дисциплины**

|  |  |
| --- | --- |
|  | **очная форма обучения** |
| **Общая трудоемкость** | **4   з.е.** |
| **Часов по учебному плану** | **144** |
| **в том числе** |  |
| **аудиторные занятия (контактная работа):** |  |
| **- занятия лекционного типа** | **32** |
| **- занятия семинарского типа**  **- КСР** | **32**  **2** |
| **самостоятельная работа** | **42** |
| **Промежуточная аттестация – экзамен** | **36** |

* 1. **Содержание дисциплины**

| **Очная форма обучения** | | | | | | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание  разделов и тем дисциплины** | **Всего (часы)** | в том числе | | | | |
| **Контактная работа  (работа во взаимодействии с преподавателем), часы**  из них | | | | **СР**1**, часы** |
| **ЗЛеТ**2 | **ЗСеТ**3 | **ЗЛаТ**4 | **Всего** |
| Введение. | 8 | 2 | 2 |  | 4 | 4 |
| Изгибные колебания стержня. | 12 | 4 | 4 |  | 8 | 4 |
| Проблема собственных значений. | 24 | 8 | 8 |  | 16 | 8 |
| Приближенные методы решения проблемы собственных значений. | 20 | 6 | 6 |  | 12 | 8 |
| Устойчивость и поведение вблизи границы устойчивости распределенных механических систем | 20 | 6 | 6 |  | 12 | 8 |
| Классификация и виды потери устойчивости. | 12 | 4 | 4 |  | 8 | 4 |
| Обзор курса | 10 | 2 | 2 |  | 4 | 6 |
| Итого | 106 | 32 | 32 |  | 64 | 42 |
| 1**Самостоятельная работа обучающегося.**  2**Занятия лекционного типа.**  3**Занятия семинарского типа.**  4**Занятия лабораторного типа.** | | | | | | |
| КСР 2 | | | | | | |
| Экзамен 36 | | | | | | |

***Краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля)***

1. Введение. Математическое моделирование упругих распределенных систем.
2. Изгибные колебания стержня. Вывод уравнения изгибных колебаний стержня. Матрично-операторная форма колебаний. Альтернативные, геометрические и физические краевые условия.
3. Проблема собственных значений. Постановка проблемы собственных значений, зависимость решения от свойств операторов. Связь проблемы собственных значений с проблемой устойчивости. Формула Релея. Постановка и решение проблемы собственных значений для консольно закрепленного и шарнирно закрепленного стержня.
4. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Ритца. Метод Бубнова-Галеркина.
5. Устойчивость и поведение вблизи границы устойчивости распределенных механических систем. Устойчивость и поведение вблизи границы устойчивости распределенных упругих моделей в зависимости от граничных условий.
6. Классификация и виды потери устойчивости. Динамическая и статическая потеря устойчивости. Консервативная и не консервативная потеря устойчивости.
7. Обзор курса. Подготовка к промежуточной аттестации.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в традиционных формах (экзамен).

1. **Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

В рамках дисциплины предусмотрены следующие виды самостоятельной работы (порядок их выполнения, форма контроля):

* повторение материала, пройденного на занятиях лекционного типа (в течение всего семестра, опрос на занятиях лекционного и семинарского типа),
* самостоятельное изучение отдельных вопросов программы (1 раз в семестр, опрос на занятиях семинарского типа),
* подготовка к занятиям семинарского типа, решение задач по списку, представленному преподавателем (в течение всего семестра, опрос на занятиях семинарского типа),
* подготовка к промежуточному контролю успеваемости (экзамен).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

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

Фонд оценочных средств включает: контрольные материалы для проведения текущего контроля в форме *задач (практических заданий)*, *расчетно-графических работ* и контрольные материалы для проведения промежуточной аттестации в форме вопросов и заданий к *экзамену*.

* 1. **Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

| **Шкала оценивания сформированности компетенций** | | **Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)** | | |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Знания | Умения | Навыки |
| **плохо** | **не зачтено** | Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа | Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа |
| **неудовлетворительно** | Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. | При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. | При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки. |
| **удовлетворительно** | **зачтено** | Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. | Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. | Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами |
| **хорошо** | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. |
| **очень хорошо** | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. |
| **отлично** | Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. | Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. |
| **превосходно** | Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. | Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов | Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач |

**Шкала оценки при промежуточной аттестации**

| **Оценка** | | **Уровень подготовки** |
| --- | --- | --- |
| зачтено | превосходно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно» |
| отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» |
| очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» |
| хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» |
| удовлетворительно | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно» |
| незачтено | неудовлетворительно | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» |
| плохо | Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо» |

* 1. **Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения**
     1. **Контрольные вопросы на экзамен**

| *Вопросы* | *Код формируемой компетенции* |
| --- | --- |
| 1. Вывод уравнений изгибных колебаний стержня. Альтернативные, геометрические и физические краевые условия в случае изгибных колебаний стержня. | *ПК-2* |
| 2. Матрично-операторная форма уравнений колебаний распределенных систем. Пример для изгибных колебаний стержня. | *ПК-2* |
| 3. Примеры матрично-операторной формы уравнений. | *ПК-2* |
| 4. Проблема собственных значений. Постановка, зависимость решения от свойств операторов. | *ПК-2* |
| 5. Постановка и решение проблемы собственных значений для шарнирно закрепленного стержня. | *ПК-2* |
| 6. Постановка и решение проблемы собственных значений для консольного стержня. | *ПК-2* |
| 7. Связь проблемы собственных значений с проблемой устойчивости. Формула Релея. | *ПК-2* |
| 8. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Ритца. | *ПК-2* |
| 9. Приближенные методы решения проблемы собственных значений. Метод Бубнова-Галеркина. | *ПК-2* |
| 10. Устойчивость и поведение вблизи границы устойчивости шарнирно закрепленного стержня при продольном сжатии. | *ПК-2* |
| 11. Устойчивость консольно закрепленного стержня. Исследование методом Бубнова-Галеркина. | *ПК-2* |
| 12. Устойчивость консольно закрепленного стержня. Исследование с использованием полиномов. | *ПК-2* |
| 13. Схема и результаты точного исследования решения задачи об устойчивости консольного стержня. | *ПК-2* |
| 14. Устойчивость шарнирно закрепленного стержня на упругом основании. | *ПК-2* |
| 15. О статической и динамической потери устойчивости. О консервативной и неконсервативной потери устойчивости. Физический и математический смысл. Примеры. | *ПК-2* |

* + 1. **Типовые задания/задачи для оценки   
       сформированности компетенции   ПК-2**

1. Написать уравнение продольных колебаний стержня в матричной форме, у которого один конец закреплен шарнирно, а другой свободен.

2. Написать уравнение продольных колебаний стержня, у которого оба конца закреплены шарнирно. Проверить операторы на самосопряженность.

3. Записать в матричной форме колебания струны.

* + 1. **Пример задания для расчетно-графической работы**

Уравнение поперечных колебаний стержня имеет вид:

,

где *EI* – изгибная жесткость стержня, *m* – распределенная масса, P – сжимающая нагрузка.

1. Проверить операторы задачи на самосопряженность в случае, когда оба конца стержня жестко закреплены: ,  (*l* – длина стержня).

2. При отсутствии сжимающей нагрузки поставить задачу проблемы нахождения собственных значений и собственных форм деформации. Найти первые три собственных значения и соответствующие им формы деформации.

Найти первые три формы деформации в полиномиальном виде из условий согласования с граничными условиями и условиями ортонормированности форм и построить их график. Провести сравнительный анализ этих форм с формами, полученными из задачи на проблему собственных значений, используя метод среднего квадратичного отклонения в *n* узловых точках (*n*=1000).

Для наглядности соответствующие формы деформации, полученные разными подходами, должны быть изображены на одном графике.

3. Найти критическое значение сжимающей нагрузки, при которой происходит потеря устойчивости.

1. **Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

| **№** | **а) основная литература:** | **К-во**[[1]](#footnote-1) |
| --- | --- | --- |
|  | Смирнов Л.В., Капитанов Д.В. Динамика упругого сжатого стержня при потере устойчивости: Учебно–методическое пособие. – Н. Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2010. – 20 с. (<http://www.unn.ru/books/met_files/dynamic.doc>) | Э |
|  | Элементы теории колебаний: Учеб. пособие для вузов. – 2е изд., перераб. и доп. / В.Д. Горяченко – М: Высш. шк., 2001. – 395с. | 390 э |

| **№** | **б) дополнительная литература:** | **К-во**1 |
| --- | --- | --- |
|  | Болотин В.В. Неконсервативные задачи теории упругой устойчивости. – М.: Государственное издательство физико–математической литературы, 1961. – 340 с. (http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Bolotin1961ru.djvu) | Э |
|  | Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем (2-е изд.). М.: Наука, 1967 (http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/books/Volmir1967ru.djvu) | Э |

| **№** | **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы  (в соответствии с содержанием дисциплины)** | **«Л» или «С»**[[2]](#footnote-2) |
| --- | --- | --- |
|  | http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mechanics/solid.htm | С |

1. **Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: мультимедийная техника (компьютер, проектор, экран).

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО 01.03.02 Прикладная математика и информатика

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Автор(ы) |  | к.ф.-м.н., доцент  Капитанов Д.В. |
| Рецензент(ы) |  |  |
| Заведующий кафедрой  теоретической, компьютерной и экспериментальной механики |  | д.ф.-м.н., профессор  Игумнов Л.А. |

Программа одобрена на заседании методической комиссии института информационных технологий, математики и механики

от 24.02.2021 года, протокол № 5.

1. Указывается количество экземпляров в библиотеке ННГУ. Если издание доступно в электронном виде (указана ссылка), указывается буква «Э». [↑](#footnote-ref-1)
2. Указывается буква «Л», если программное обеспечение – лицензионное, или «С» – в свободном доступе. [↑](#footnote-ref-2)