

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 15.03.06 Мехатроника и робототехника**

**Наименование образовательной программы: Компьютерные технологии управления в робототехнике и мехатронике**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Теория колебаний и динамика машин**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

|                                                                                   |                                                    |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|                                                                                   | Владелец                                           | Панкратьева Г.В.               |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Rd2a4c31b-PankratyevaGV-74e45d |

Г.В.  
Панкратьева

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

|                                                                                   |                                                    |                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                             |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                             |
|                                                                                   | Владелец                                           | Адамов Б.И.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | R2db20bbf-AdamovBI-4e0d2620 |

Б.И. Адамов

Заведующий  
выпускающей кафедрой

|                                                                                   |                                                    |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|                                                                                   | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|                                                                                   | Владелец                                           | Меркурьев И.В.                 |
|                                                                                   | Идентификатор                                      | Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883c |

И.В.  
Меркурьев

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. РПК-2 Способен использовать современные методы исследования и моделирования динамики мехатронных систем

ИД-1 Применяет аппарат теории колебаний для исследования динамики мехатронных систем

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Анализ управляемости в малом переходного процесса в задаче позиционирования манипулятора (Расчетно-графическая работа)
2. Вынужденные колебания консервативных систем с двумя степенями свободы (Домашнее задание)
3. Исследование асимптотической устойчивости тривиального решения систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)
4. Исследование управляемости линейных систем с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)
5. Матричная экспонента, решение систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами (Домашнее задание)
6. Метод Хевисайда решения линейных уравнений с постоянными коэффициентами, теорема Коши (Контрольная работа)
7. Определение условий асимптотической устойчивости положения равновесия манипулятора (Расчетно-графическая работа)
8. Решение по методу Булгакова однородных систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)
9. Собственные колебания консервативных линейных систем (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

### 5 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- |      |                                                                                                                                            |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| КМ-1 | Метод Хевисайда решения линейных уравнений с постоянными коэффициентами, теорема Коши (Контрольная работа)                                 |
| КМ-2 | Исследование асимптотической устойчивости тривиального решения систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами (Контрольная работа) |
| КМ-3 | Определение условий асимптотической устойчивости положения равновесия манипулятора (Расчетно-графическая работа)                           |
| КМ-4 | Матричная экспонента, решение систем линейных уравнений с постоянными                                                                      |

- коэффициентами (Домашнее задание)
- КМ-5 Исследование управляемости линейных систем с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)
- КМ-6 Анализ управляемости в малом переходного процесса в задаче позиционирования манипулятора (Расчетно-графическая работа)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Раздел дисциплины                                                                                                                      | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                                                                                        | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|                                                                                                                                        | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 10   | 13   | 15   | 15   |
| Собственные и вынужденные линейные колебания, описываемые одним дифференциальным уравнением. Операторный метод Хевисайда, теорема Коши |                                 |      |      |      |      |      |      |
| Собственные и вынужденные линейные колебания, описываемые одним дифференциальным уравнением. Операторный метод Хевисайда, теорема Коши | +                               |      |      |      |      |      |      |
| Элементы теории устойчивости линейных систем                                                                                           |                                 |      |      |      |      |      |      |
| Элементы теории устойчивости линейных систем                                                                                           |                                 | +    | +    |      |      |      |      |
| Колебания систем с конечным числом степеней свободы                                                                                    |                                 |      |      |      |      |      |      |
| Колебания систем с конечным числом степеней свободы                                                                                    |                                 |      |      |      | +    |      |      |
| Управляемые линейные системы                                                                                                           |                                 |      |      |      |      |      |      |
| Управляемые линейные системы                                                                                                           |                                 |      |      |      |      | +    | +    |
| Вес КМ:                                                                                                                                |                                 | 20   | 15   | 15   | 20   | 15   | 15   |

## 6 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Решение по методу Булгакова однородных систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)
- КМ-2 Собственные колебания консервативных линейных систем (Контрольная работа)
- КМ-3 Вынужденные колебания консервативных систем с двумя степенями свободы (Домашнее задание)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

| Раздел дисциплины                                                                                   | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|
|                                                                                                     | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 |
|                                                                                                     | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 13   |
| Структура полиномиальных матриц, метод Булгакова решения систем линейных дифференциальных уравнений |                                 |      |      |      |

|                                                                                                     |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|
| Структура полиномиальных матриц, метод Булгакова решения систем линейных дифференциальных уравнений | +  |    |    |
| Собственные колебания консервативных систем                                                         |    |    |    |
| Собственные колебания консервативных систем                                                         |    | +  |    |
| Вынужденные колебания консервативных систем, динамический гаситель колебаний                        |    |    |    |
| Вынужденные колебания консервативных систем, динамический гаситель колебаний                        |    |    | +  |
| Теоремы о частотном спектре консервативной системы                                                  |    |    |    |
| Теоремы о частотном спектре консервативной системы                                                  |    | +  |    |
| Вес КМ:                                                                                             | 30 | 40 | 30 |

### БРС курсовой работы/проекта

### 6 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

- КМ-1 Оценка выполнения раздела 1 КР: «Собственные колебания консервативной системы»  
КМ-2 Оценка выполнения раздела 2 КР: «Вынужденные колебания консервативной системы»  
КМ-3 Оценка выполнения раздела 3 КР: «Теоремы о частотном спектре консервативной системы»

#### Вид промежуточной аттестации – защита КР.

| Раздел дисциплины                                  | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |
|----------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|
|                                                    | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 |
|                                                    | Срок КМ:                        | 7    | 10   | 14   |
| Собственные колебания консервативной системы       |                                 | +    |      |      |
| Вынужденные колебания консервативной системы       |                                 |      | +    |      |
| Теоремы о частотном спектре консервативной системы |                                 |      |      | +    |
| Вес КМ:                                            |                                 | 40   | 30   | 30   |

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                             | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| РПК-2              | ИД-1 <sub>РПК-2</sub> Применяет аппарат теории колебаний для исследования динамики мехатронных систем | <p>Знать:</p> <p>основные понятия и критерии теории устойчивости линейных систем</p> <p>основные понятия и критерии управляемости линейных систем</p> <p>основные принципы анализа собственных колебаний консервативных систем</p> <p>основные принципы анализа вынужденных колебаний консервативных систем</p> <p>Уметь:</p> <p>записывать линейное с постоянными коэффициентами дифференциальное уравнение малых колебаний около положения равновесия механической системы и</p> | <p>КМ-1 Метод Хевисайда решения линейных уравнений с постоянными коэффициентами, теорема Коши (Контрольная работа)</p> <p>КМ-2 Исследование асимптотической устойчивости тривиального решения систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)</p> <p>КМ-3 Матричная экспонента, решение систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами (Домашнее задание)</p> <p>КМ-4 Исследование управляемости линейных систем с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)</p> <p>КМ-5 Определение условий асимптотической устойчивости положения равновесия манипулятора (Расчетно-графическая работа)</p> <p>КМ-6 Анализ управляемости в малом переходного процесса в задаче позиционирования манипулятора (Расчетно-графическая работа)</p> <p>КМ-7 Решение по методу Булгакова однородных систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами (Контрольная работа)</p> <p>КМ-8 Собственные колебания консервативных линейных систем (Контрольная работа)</p> <p>КМ-9 Вынужденные колебания консервативных систем с двумя степенями свободы (Домашнее задание)</p> |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>строить его решение с использованием метода Хевисайда</p> <p>записывать уравнения собственных колебаний консервативных систем, строить их решение и выполнять анализ характера колебаний</p> <p>записывать уравнения вынужденных колебаний консервативных механических систем и строить их решение с использованием типовых методик</p> <p>записывать линейные с постоянными коэффициентами системы дифференциальных уравнений малых колебаний около положения равновесия механической системы и строить их решение с использованием матричной экспоненты</p> <p>строить решение линейных однородных систем дифференциальных уравнений по методу Булгакова</p> <p>выполнять анализ</p> |  |
|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

|  |  |                                                                                                                                                                       |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p> управляемости малыми<br/> колебаниями около<br/> положения равновесия<br/> выполнять анализ<br/> асимптотической<br/> устойчивости положения<br/> равновесия </p> |  |
|--|--|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### 5 семестр

#### КМ-1. Метод Хевисайда решения линейных уравнений с постоянными коэффициентами, теорема Коши

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в письменной форме.

Ответ - решение предложенных задач  
Время на выполнение задания – 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

|                                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Найти общее решение однородного уравнения<br>$\ddot{x} - 2\dot{x} + 2x = 0$ .                                                                                                                          |
| 2. Найти общее решение неоднородного уравнения (сравнить с результатами предыдущей задачи).<br>$\ddot{x} - 2\dot{x} + 2x = 2e^t$ .                                                                        |
| 3. Найти общее решение неоднородного уравнения<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} - 3x = 1$ .                                                                                                                        |
| 4. Найти весовую функцию и частное решение неоднородного уравнения с нулевыми начальными условиями (по теореме Коши) (сравнить с результатами предыдущей задачи).<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} - 3x = 1$ .     |
| 1. Найти общее решение однородного уравнения<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} + 5x = 0$ .                                                                                                                          |
| 2. Найти общее решение неоднородного уравнения (сравнить с результатами предыдущей задачи).<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} + 5x = e^{3t}$ .                                                                      |
| 3. Найти общее решение неоднородного уравнения<br>$\ddot{x} + \dot{x} - 2x = e^{-t}$ .                                                                                                                    |
| 4. Найти весовую функцию и частное решение неоднородного уравнения с нулевыми начальными условиями (по теореме Коши) (сравнить с результатами предыдущей задачи).<br>$\ddot{x} + \dot{x} - 2x = e^{-t}$ . |

#### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                          | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: записывать линейное с постоянными коэффициентами дифференциальное уравнение малых колебаний около положения равновесия механической системы и строить его решение с использованием метода Хевисайда | <p>1. Запишите характеристическое уравнение для дифференциального уравнения</p> $3\ddot{x} + 5\dot{x} - \dot{x} + 4x = e^t$ <p>2. Запишите весовую функцию для уравнения</p> $\ddot{x} + \dot{x} - 2x = \sin t$ |

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, допускаются некоторые неточности в ответах

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство пунктов задания решено, выбрано верное направление для решения задач, допускаются некоторые неточности в ответах

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если выбрано верное направление для решения задач, задание выполнено частично, допущены некоторые ошибки в вычислениях

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если выбран ошибочный путь решения, большинство пунктов задания не выполнено или выполнено неверно

## КМ-2. Исследование асимптотической устойчивости тривиального решения систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме.

Ответ - решение предложенных задач. Время на выполнение задания – 90 минут.

### Краткое содержание задания:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Исследовать асимптотическую устойчивость тривиального решения уравнения<br>$\ddot{y} + \dot{y} + 2y = 0$ .                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 2. Исследовать асимптотическую устойчивость положения равновесия системы<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} + y + x = 0$ ,<br>$\ddot{y} + x + y + \dot{y} = 0$ .                                                                                                                                                                                                                                 |
| 3. Исследовать асимптотическую устойчивость программного движения захвата манипулятора, если уравнения для отклонений от программного движения имеют вид ( $m_1, m_2, \mu, l, r, g > 0$ )<br>$(m_1/2 + m_2)\ddot{z}_1 + m_2 l \ddot{z}_2 \cos \varphi_0 + \mu \dot{z}_1/r^2 = 0$ ,<br>$m_2 l \cos \varphi_0 \ddot{z}_1 + m_2 l^2 \ddot{z}_2 - m_2 g l \sin \varphi_0 \dot{z}_2 = 0$ . |
| 1. Исследовать асимптотическую устойчивость тривиального решения уравнения<br>$\ddot{y} + 2\dot{y} + 3\ddot{y} + 7\dot{y} + 2y = 0$ .                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2. Исследовать асимптотическую устойчивость положения равновесия системы<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} + y = 0$ ,<br>$\ddot{y} + x + y = 0$ .                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3. Исследовать асимптотическую устойчивость программного движения захвата манипулятора, если уравнения для отклонений от программного движения имеют вид ( $m, \mu, a > 0$ )<br>$2m \ddot{z}_1 + m \ddot{z}_2 \cos \alpha + \mu \dot{z}_1 = 0$ ,<br>$m \ddot{z}_2 + m \ddot{z}_1 \cos \alpha + a \dot{z}_2 = 0$ .                                                                     |

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                         | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные понятия и критерии теории устойчивости линейных систем    | 1. Как расположены корни характеристического уравнения в случае асимптотически устойчивого положения равновесия<br>2. Сформулируйте критерий Гурвица асимптотически устойчивой линейной системы                           |
| Уметь: выполнять анализ асимптотической устойчивости положения равновесия | 1. Нарисуйте эскиз графика поведения переменной состояния в случае асимптотически устойчивого положения равновесия<br>2. Проверьте, является ли асимптотически устойчивым тривиальное решение дифференциального уравнения |

|                                                   |                                            |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Запланированные результаты обучения по дисциплине | Вопросы/задания для проверки               |
|                                                   | $2\ddot{x} + 3\ddot{x} - \dot{x} + 8x = 0$ |

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, допускаются некоторые неточности в ответах

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство пунктов задания решено, выбрано верное направление для решения задач, допускаются некоторые неточности в ответах

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если выбрано верное направление для решения задач, задание выполнено частично, допущены некоторые ошибки в вычислениях

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если выбран ошибочный путь решения, большинство пунктов задания не выполнено или выполнено неверно

#### КМ-3. Определение условий асимптотической устойчивости положения равновесия манипулятора

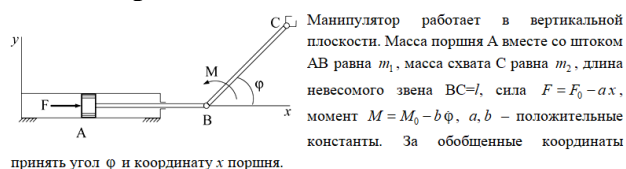
Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Расчетно-графическая работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

Процедура проведения контрольного мероприятия: Работа выполняется как индивидуальное домашнее задание. Изложение результатов работы составляет 5-6 страниц рукописного текста. Срок выполнения 3 недели.

#### Краткое содержание задания:



Требуется:

1. Составить уравнения движения Лагранжа II рода.
2. Определить  $F_0, M_0$  в положении равновесия  $\phi = \phi_0, x = x_0$ .
3. Линеаризовать уравнения в окрестности положения равновесия.
4. Записать характеристический полином полученной линейной системы.
5. Найти условие асимптотической устойчивости положения равновесия системы в зависимости от значения угла  $\phi_0$  в положении равновесия.

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                         | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные понятия и критерии теории устойчивости линейных систем    | 1.Сформулируйте критерий Стодолы асимптотически устойчивости положения равновесия манипулятора                                                                                |
| Уметь: выполнять анализ асимптотической устойчивости положения равновесия | 1.Запишите характеристическое уравнение системы и определители матрицы Гурвица для системы уравнений $\ddot{z}_1 + \dot{z}_1 + 2z_1 - z_2 = 0,$ $\ddot{z}_2 - z_1 + z_2 = 0.$ |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено на высоком уровне

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Допускаются принципиальные неточности в изложении материала. Есть замечания к оформлению

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено в большей степени, но не полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Имеются неточности в изложении материала

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание в целом не выполнено. Оформление расчетных и графических материалов не удовлетворяет требованиям. Имеются принципиальные неточности в изложении материала

**КМ-4. Матричная экспонента, решение систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется как индивидуальное домашнее задание. Срок выполнения 2 недели.

**Краткое содержание задания:**

1. Используя матричную экспоненту, найти по теореме Коши частное решение неоднородной системы уравнений

$$\dot{x} = 2x + y, \quad \dot{y} = x + 2y - 5 \text{ с начальными условиями } x(0) = 1, \quad y(0) = 0.$$

2. Найти экспоненту от матрицы  $e^{At}$ , если  $A = \begin{pmatrix} 5 & 3 & -3 \\ -2 & -2 & 1 \\ 2 & 1 & -2 \end{pmatrix}$ .

**Контрольные вопросы/задания:**

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                     | Вопросы/задания для проверки                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: записывать линейные с постоянными коэффициентами системы дифференциальных уравнений малых колебаний около положения равновесия механической системы и строить их решение с использованием матричной экспоненты | 1.<br><br>Найти $e^{At}$ , если $A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$ |

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, решение подробно изложено и аккуратно оформлено

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, в решении допущены не принципиальные ошибки, есть замечания к оформлению

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если решение задания не доведено до конца, имеются ошибки в вычислениях, есть замечания к изложению и оформлению

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если большинство пунктов задания не выполнено или выполнено неверно

**КМ-5. Исследование управляемости линейных систем с постоянными коэффициентами**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в письменной форме. Ответ - решение предложенной задачи. Время на выполнение задания – 90 минут.

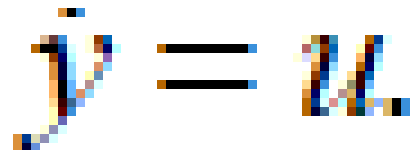
**Краткое содержание задания:**

Исследовать управляемость по критерию Калмана и по критерию Хаутуса

$$2m\ddot{z}_1 + m\ddot{z}_2 + 2cz_1 + cz_2 = u,$$

$$m\ddot{z}_1 + m\ddot{z}_2 + cz_1 + 2cz_2 = 0.$$

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                   | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные понятия и критерии управляемости линейных систем                    | 1. Выберите правильный вариант ответа:<br>“Определитель матрицы управляемости Калмана вполне управляемой линейной системы со скалярным управлением равен нулю”,<br>“Определитель матрицы управляемости Калмана вполне управляемой линейной системы со скалярным управлением отличен от нуля”.                   |
| Уметь: выполнять анализ управляемости малыми колебаниями около положения равновесия | 1. Запишите матрицу управляемости Калмана для системы <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> |

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, допускаются не принципиальные неточности в ответах

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство пунктов задания выполнено, допускаются не принципиальные неточности в ответах

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если выбрано верное направление для решения задач, задание выполнено частично, допущены некоторые ошибки в вычислениях

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-6. Анализ управляемости в малом переходного процесса в задаче позиционирования манипулятора

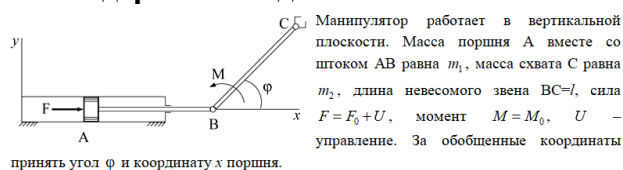
**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Расчетно-графическая работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется как индивидуальное домашнее задание. Изложение результатов работы составляет 5-6 страниц рукописного текста. Срок выполнения 3 недели.

### Краткое содержание задания:



принять угол  $\varphi$  и координату  $x$  поршня.

**Требуется:**

1. Составить уравнения движения Лагранжа II рода.
2. Определить  $F_0, M_0$  в положении равновесия  $\varphi = \varphi_0, x = x_0$ .
3. Линеаризовать уравнения в окрестности положения равновесия.
4. Исследовать управляемость системы по критерию Калмана и (не приводя систему к форме Коши) по критерию Хаутуса.

### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                   | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные понятия и критерии управляемости линейных систем                    | <p>Матрица управляемости Калмана <math>W</math> для линейной системы со скалярным управлением <math>\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A} \mathbf{x} + \mathbf{b} u</math></p> <p>равна <math>W = (\mathbf{b}, \mathbf{A}\mathbf{b}, \mathbf{A}^2\mathbf{b}, \dots, \mathbf{A}^{n-1}\mathbf{b})</math> или <math>W = (\mathbf{b}, \mathbf{A}\mathbf{b}, \mathbf{A}\mathbf{b}^2, \dots, \mathbf{A}\mathbf{b}^{n-1})</math>.</p> <p>1.</p> |
| Уметь: выполнять анализ управляемости малыми колебаниями около положения равновесия | <p>Запишите систему уравнений колебаний в форме Коши и определите условия полной управляемости</p> <p>1.</p> $\begin{aligned} \dot{z}_1 + (1+a)z_1 - az_2 &= 0, \\ \dot{z}_2 - az_1 + az_2 &= u. \end{aligned}$                                                                                                                                                                                                                  |

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено на высоком уровне

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Допускаются не принципиальные неточности в изложении материала

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание выполнено в большой степени, но не полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Допускаются неточности в изложении материала

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Расчетно-графическая работа демонстрирует степень теоретических знаний и умения применять их на практике. Задание в целом не выполнено. Оформление расчетных и графических материалов не удовлетворяет требованиям. Имеются принципиальные неточности в изложении материала

## 6 семестр

### КМ-1. Решение по методу Булгакова однородных систем линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в письменной форме. Ответ - решение предложенной задачи. Время на выполнение задания и подготовку ответа – 90 минут.

#### Краткое содержание задания:

1. Записать решение системы уравнений

$$\dot{x} + x - 8y = 0,$$

$$\dot{y} - x - y = 0.$$

2. Записать решение системы уравнений

$$\dot{x} = x - y,$$

$$\dot{y} = y - 4x.$$

3. Найти элементарные делители и инвариантные множители полиномиальной матрицы системы уравнений.

Записать решение системы

$$\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{A}\mathbf{u}, \text{ где } \mathbf{u} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} 5 & 3 & -3 \\ -2 & -2 & 1 \\ 2 & 1 & -2 \end{pmatrix}.$$

#### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                | Вопросы/задания для проверки                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: строить решение линейных однородных систем дифференциальных уравнений по методу Булгакова | 1. Запишите общее решение системы дифференциальных уравнений $\dot{x} = y, \quad \dot{y} = 4x$ . |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* 5 («отлично»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 80

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, допускаются не принципиальные неточности в ответах

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется, если большинство пунктов задания выполнено, допускаются не принципиальные неточности в ответах

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено частично, выбран правильный путь решения

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

## КМ-2. Собственные колебания консервативных линейных систем

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

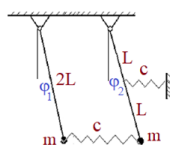
Вес контрольного мероприятия в БРС: 40

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме.

Время на выполнение задания и подготовку ответа – 90 минут.

### Краткое содержание задания:

Рассматривается система двух маятников, связанных между собой и неподвижной опорой пружинами жесткости  $c$ . В положении равновесия маятники занимают вертикальное положение, пружины не напряжены. Составить уравнения собственных колебаний системы и записать их решение. Принять  $\frac{c}{m} = \frac{g}{L}$ .



### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                  | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные принципы анализа собственных колебаний консервативных систем                                                       | 1.<br>Условие устойчивости положения равновесия консервативной системы.<br>Критерий Сильвестра.                                                                                                                                    |
| Уметь: записывать уравнения собственных колебаний консервативных систем, строить их решение и выполнять анализ характера колебаний | 1.<br>Запишите инерционную матрицу и матрицу жесткостей, если кинетическая и потенциальная энергии системы равны<br>$T = \frac{1}{2}(2m\dot{x}^2 + 2m\dot{x}\dot{y} + m\dot{y}^2), \quad \Pi = \frac{1}{2}cx^2 + \frac{1}{2}cy^2.$ |

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, допускаются не принципиальные неточности в ответах

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если большинство пунктов задания выполнено, допускаются не принципиальные неточности в ответах

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если задание выполнено частично, выбран правильный путь решения

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### КМ-3. Вынужденные колебания консервативных систем с двумя степенями свободы

**Формы реализации:** Письменная работа

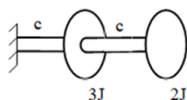
**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Работа выполняется как индивидуальное домашнее задание. Срок выполнения 1 неделя.

#### Краткое содержание задания:

Моменты инерции дисков и крутильные жесткости валов заданы. В качестве обобщенных координат выбрать абсолютные углы  $\varphi_1, \varphi_2$  поворота дисков. Ко второму диску приложен момент  $M = M_0 \cos \Omega t$ . Составить уравнения вынужденных колебаний и записать общее решение



#### Контрольные вопросы/задания:

| Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                          | Вопросы/задания для проверки                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: основные принципы анализа вынужденных колебаний консервативных систем                                                               | 1.<br>Для каких значений частот возмущения $\Omega$ решение уравнений вынужденных колебаний консервативной системы $\underset{(n \times n)}{\mathbf{M}} \underset{(n \times 1)}{\ddot{\mathbf{x}}} + \underset{(n \times n)}{\mathbf{K}} \underset{(n \times 1)}{\mathbf{x}} = \underset{(n \times 1)}{\mathbf{h}} \cos \Omega t$ может быть определено в виде $\underset{(n \times 1)}{\mathbf{x}}(t) = \underset{(n \times 1)}{\mathbf{A}}(\Omega) \cos \Omega t$ . |
| Уметь: записывать уравнения вынужденных колебаний консервативных механических систем и строить их решение с использованием типовых методик | 1.<br>Нарисуйте график зависимости амплитуды вынужденных колебаний для координаты $x$ , если уравнения колебаний имеют вид<br>$m \ddot{x} + 2cx - cy = h \sin \Omega t,$ $m \ddot{y} - cx + cy = 0.$                                                                                                                                                                                                                                                                  |

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка:* 5 («отлично»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 90

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, решение подробно изложено и аккуратно оформлено

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 80

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется, если задание выполнено в полном объеме, в решении допущены не принципиальные ошибки, есть замечания к оформлению

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется, если решение задания не доведено до конца, имеются ошибки в вычислениях, есть замечания к изложению и оформлению

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется, если задание не выполнено или выполнено неверно

## Для курсового проекта/работы

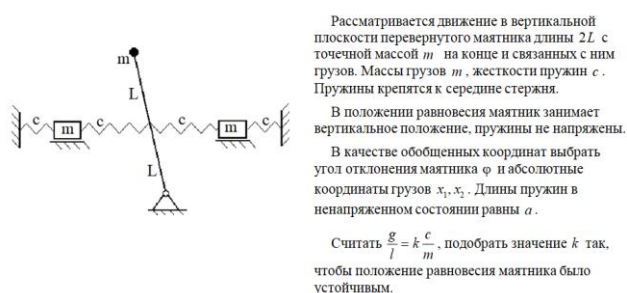
### 6 семестр

#### I. Описание КП/КР

В рамках выполнения курсовой работы студенты выполняют индивидуальное задание по анализу собственных и вынужденных колебаний консервативной системы с двумя или тремя степенями свободы. Работа состоит из трёх частей. 1. Собственные колебания консервативной системы. Срок выполнения 7 недель. 2. Вынужденные колебания консервативной системы. Срок выполнения 3 недели. 3. Построение оценок частотного спектра и анализ с помощью теорем о частотном спектре консервативной системы. Срок выполнения 4 недели.

#### II. Примеры задания и темы работы

##### Пример задания



##### Тематика КП/КР:

Динамика консервативной системы. Уравнения собственных колебаний и построение их решения. Вынужденные колебания консервативных систем, построение решения уравнений с помощью перехода к нормальным координатам. Гармонические коэффициенты влияния. Оценки Рэлея и Данкерлея частотного спектра. Теоремы Рэлея. Частоты связанной системы

#### КМ-1. Оценка выполнения раздела 1 КР: «Собственные колебания консервативной системы»

##### Описание шкалы оценивания

*Оценка:* 5 («отлично»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 90

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено на высоком уровне.

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено полностью. Допускаются не принципиальные неточности в изложении материала. Есть замечания к оформлению

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено в большей степени, но не полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Имеются неточности в изложении материала

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание в целом не выполнено. Оформление расчетных и графических материалов не удовлетворяет требованиям. Имеются принципиальные неточности в изложении материала

## **КМ-2. Оценка выполнения раздела 2 КР: «Вынужденные колебания консервативной системы»**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка:* 5 («отлично»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 90

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено на высоком уровне.

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено полностью. Допускаются не принципиальные неточности в изложении материала. Есть замечания к оформлению

*Оценка:* 3 («удовлетворительно»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено в большей степени, но не полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Имеются неточности в изложении материала

*Оценка:* 2 («неудовлетворительно»)

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание в целом не выполнено. Оформление расчетных и графических материалов не удовлетворяет требованиям. Имеются принципиальные неточности в изложении материала

## **КМ-3. Оценка выполнения раздела 3 КР: «Теоремы о частотном спектре консервативной системы»**

### **Описание шкалы оценивания**

*Оценка:* 5 («отлично»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 90

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено на высоком уровне.

*Оценка:* 4 («хорошо»)

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 75

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено полностью. Допускаются не принципиальные неточности в изложении материала. Есть замечания к оформлению

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание выполнено в большой степени, но не полностью. Оформление расчетных и графических материалов выполнено удовлетворительно. Имеются неточности в изложении материала

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Задание в целом не выполнено. Оформление расчетных и графических материалов не удовлетворяет требованиям. Имеются принципиальные неточности в изложении материала

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 5 семестр

### Форма промежуточной аттестации: Экзамен

#### Пример билета

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                  |                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| МЭИ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 4<br>по курсу "Теория колебаний и динамика машин"<br>ЭиМП кафедра РМДиПМ | Утверждаю:<br>Зав. кафедрой<br>« » 202 г. |
| 1. Теорема Коши для неоднородной системы линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Общее решение неоднородной системы.<br>2. Определение управляемости. Необходимые и достаточные условия полной управляемости по Калману. Системы со скалярным управлением.<br>3. Задача. Определить условия асимптотической устойчивости тривиального решения уравнения<br>$\ddot{x} + 2\dot{x} + ax + bx + x = 0.$ |                                                                                                  |                                           |

#### Процедура проведения

Экзамен проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на выполнение экзаменационного задания и подготовку ответа - 90 минут

#### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>РПК-2</sub> Применяет аппарат теории колебаний для исследования динамики мехатронных систем

#### Вопросы, задания

1. Собственные колебания системы с одной степенью свободы при наличии демпфирования. Случаи нулевого, малого и большого коэффициентов трения. Вид решения уравнений колебаний
2. Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости. Условие Гурвица. Теорема Ляпунова-Шипара
3. Степень устойчивости характеристического многочлена. Колебательное звено второго порядка с затуханием. Плоскость корней характеристического уравнения. Зависимость степени устойчивости звена второго порядка от величины коэффициента демпфирования. Максимальная степень устойчивости
4. Задача управления мобильным роботом по показаниям оптической линейки. Выбор значений параметров, обеспечивающих максимальную степень устойчивости
5. Матричная экспонента. Связь весовой матрицы системы и матричной экспоненты. Теорема Гамильтона-Кэли. Применение теоремы Гамильтона-Кэли для представления весовой матрицы системы в виде отрезка степенного ряда от матрицы системы
6. Управляемая линейная система. Определение управляемости. Решение уравнений управляемой линейной стационарной системы с помощью теоремы Коши. Матрица управляемости. Обобщенный вектор управления. Критерий Калмана необходимого и достаточного условия полной управляемости. Системы со скалярным управлением
7. Системы с обратной связью. Управляемость систем с обратной связью. Возможность обеспечения необходимого качества переходных процессов в полностью управляемой системе со скалярным управлением за счет управления в виде обратной связи по параметрам состояния
8. Задача управления манипулятором конечной жесткости. Вывод уравнений. Анализ управляемости по критерию Калмана и по критерию Хаутуса. Построение управления в

виде обратной связи по параметрам состояния. Обеспечение заданного качества переходного процесса

Записать решение линейного неоднородного дифференциального уравнения

9.  $\ddot{x} - 5\dot{x} + 6x = e^t$ .

Определить условие асимптотической устойчивости тривиального решения системы уравнений

10.  $\begin{cases} \ddot{x} + \dot{x} + ax - y = 0, \\ \ddot{y} + \dot{y} - x + ay = 0. \end{cases}$

Найти экспоненту от матрицы

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} -1 & 8 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

11.

Привести к форме Коши и исследовать управляемость по критерию Калмана

12.  $I_1 \ddot{\phi} - mg l \phi = -u, \quad I_2 \ddot{\psi} = u.$

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какое из записанных дифференциальных уравнений является линейным?

Ответы:

а)  $\ddot{x} + ax\dot{x} + bx = \sin(t)$

б)  $\ddot{x} + ax + bx = \tan(t)$

в)  $\ddot{x} + ax^2 + bx = \exp(t)$

Верный ответ: б)

2. Выберите вариант ответа: Весовая функция дифференциального уравнения  $\ddot{x} + 2\dot{x} + 10x = \sin(t)$  равна

Ответы:

а)  $e^t \sin(t)$

б)  $\frac{e^{-t} \sin(3t)}{3}$

в)  $\frac{e^{-3t} \cos(t)}{3}$

г)  $e^{-3t} \cos(t)$

Верный ответ: б)

3. Выберите правильную формулировку критерия Стодолы асимптотической устойчивости тривиального решения линейной системы

Ответы:

а) Если все коэффициенты характеристического уравнения линейной системы с постоянными коэффициентами положительны, то тривиальное решение уравнения асимптотически устойчиво.

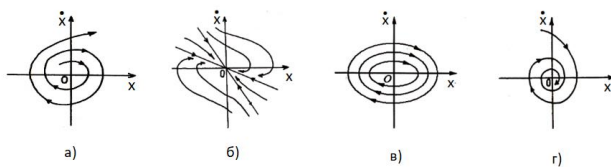
б) Если тривиальное решение линейной системы с постоянными коэффициентами асимптотически устойчиво, то все коэффициенты характеристического уравнения имеют один знак.

в) Если тривиальное решение линейной системы с постоянными коэффициентами асимптотически устойчиво, то все коэффициенты характеристического уравнения положительны.

Верный ответ: б), в)

4. Какие из семейств фазовых траекторий соответствуют асимптотически устойчивому положению равновесия

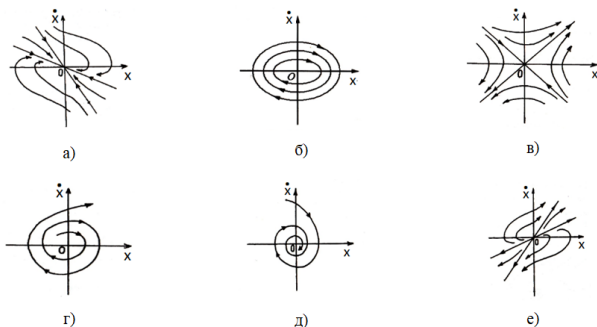
Ответы:



Верный ответ: б), г)

5. Какое из семейств фазовых траекторий соответствует “периодическим” затухающим колебаниям?

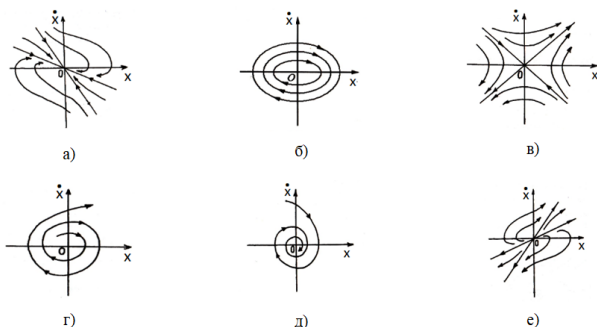
Ответы:



Верный ответ: д)

6. Какое из семейств фазовых траекторий соответствует «апериодическим» затухающим колебаниям?

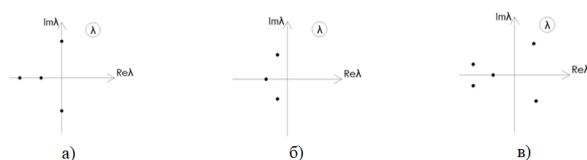
Ответы:



Верный ответ: а)

7. На приведённых рисунках показано расположение на комплексной плоскости корней характеристического уравнения линейной однородной системы с постоянными коэффициентами. Какое расположение корней соответствует асимптотически устойчивому тривиальному решению?

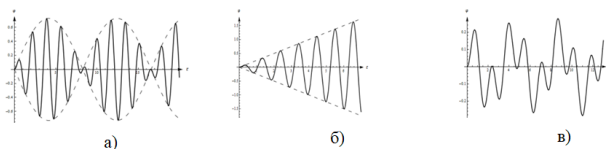
Ответы:



Верный ответ: б)

8. На рисунке приведены графики решений уравнения вынужденных колебаний гармонического осциллятора под действием гармонического возбуждения. Какие из приведённых графиков соответствуют нерезонансному случаю?

Ответы:



Верный ответ: а), в)

9.Какая запись матрицы управляемости Калмана для системы уравнений правильная

$$\dot{x}_1 = ax_2, \dot{x}_2 = u$$

Ответы:

а)

$$W = \begin{pmatrix} 0 & a \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

б)

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ a & 0 \end{pmatrix}$$

в)

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & a \end{pmatrix}$$

Верный ответ: а)

10.Является ли динамическая система, описываемая одним уравнением вполне управляемой?

Ответы:

а) ДА

б) НЕТ

Верный ответ: а)

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания: Всестороннее систематическое глубокое знание материала*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Полное систематическое знание предмета при допущении не принципиальных ошибок*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Знание материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и работы по профессии*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Обнаружены серьезные пробелы в знании материала. Допущены принципиальные ошибки при выполнении задания*

## **III. Правила выставления итоговой оценки по курсу**

Итоговая оценка по курсу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

**6 семестр**

**Форма промежуточной аттестации: Экзамен**

## Пример билета

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                         |                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| МЭП                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 30<br>КАФЕДРА РМДПМ<br>ТЕОРИЯ КОЛЕБАНИЙ И ДИНАМИКА МАШИН ГРУППА | Утверждено:<br>Зав. кафедрой<br>« » 202 г. |
| <p>1. Динамический гаситель колебаний без демпфирования. Постановка задачи, вывод уравнений, нормализация. Частное решение уравнений вынужденных колебаний, АЧХ основной массы.</p> <p>2. Построение оценок Рэлея и Данкерля в задаче о колебаниях струны с закрепленными концами.</p> <p>3. Задача. Определить детерминантные делители и инвариантные множители полиномиальной матрицы</p> $f(\lambda) = \begin{pmatrix} \lambda - 4 & 1 & 1 \\ -1 & \lambda - 2 & 1 \\ -1 & 1 & \lambda - 2 \end{pmatrix}, \quad \lambda_1 = 2, \lambda_{2,3} = 3.$ |                                                                                         |                                            |

## Процедура проведения

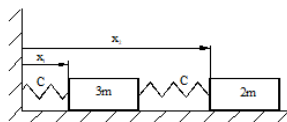
Экзамен проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на выполнение экзаменационного задания и подготовку ответа - 90 минут

## I. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-1<sub>РПК-2</sub> Применяет аппарат теории колебаний для исследования динамики мехатронных систем

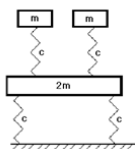
## Вопросы, задания

1. Метод Булгакова решения систем линейных однородных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Структура решения в случае действительных простых и кратных корней характеристического уравнения. Случай простой пары комплексно-сопряженных корней характеристического уравнения
  2. Положительно определенная квадратичная форма. Критерий Сильвестра. Условие устойчивости вертикального положения двухзвенного подпружиненного маятника
  3. Уравнения малых колебаний консервативной системы около положения равновесия. Характеристическое уравнение, действительность квадратов корней характеристического уравнения. Плоскость корней характеристического уравнения консервативной системы. Частотное уравнение
  4. Задача о колебаниях струны с закрепленными концами. Уравнения собственных колебаний нити с тремя грузами, нормализация. Частотный спектр. Формы колебаний
  5. Вынужденные колебания струны с подвижным левым концом. Гармонические коэффициенты влияния. Резонансные и антирезонансные частоты
  6. Динамический гаситель колебаний с демпфированием. Уравнения колебаний. Случай бесконечно большого трения, резонансная частота связанной системы, АЧХ. Амплитудно-частотная характеристика при произвольном трении. Построение решения уравнений ДГК при наличии демпфирования. Метод комплексных амплитуд
  7. Устойчивые консервативные системы. Частное Рэлея, его свойства. Верхняя оценка Рэлея квадрата первой собственной частоты. Нижняя оценка Данкерля квадрата первой собственной частоты.
  8. Колебания системы двух маятников со слабой жесткостной связью. Биения. Перекачка энергии.
3. Задача. Записать общее решение уравнений собственных колебаний



9.

3. Задача. Найти оценку Рэлея первой собственной частоты.



10.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Выберите верный вариант записи уравнений малых колебаний консервативной системы ( $\mathbf{x}$  - вектор переменных состояния,  $\mathbf{M}$  - инерционная матрица,  $\mathbf{K}$  - матрица жесткостей)

Ответы:

| 1                                                                                                                | 2                                                                                                                | 3                                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} = 0$<br>( $n \times n$ ) ( $n \times n$ ) ( $n \times n$ ) | $\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} - \mathbf{K} \mathbf{x} = 0$<br>( $n \times n$ ) ( $n \times n$ ) ( $n \times n$ ) | $\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \ddot{\mathbf{x}} = 0$<br>( $n \times n$ ) ( $n \times n$ ) ( $n \times n$ ) |

Верный ответ: 1

2. Выберите из предложенных формулировок критерия Сильвестра правильный вариант

Ответы:

- а) Симметричная матрица положительно определена, если её определитель положителен.
- б) Симметричная матрица положительно определена, если положительны все элементы главной диагонали.
- в) Симметричная матрица положительно определена, тогда и только тогда, когда положительны все диагональные миноры.

Верный ответ: в)

3. Какой из предложенных вариантов записи частотного уравнения устойчивой консервативной системы верный ( $\mathbf{M}$  - инерционная матрица,  $\mathbf{K}$  - матрица жесткостей).

Ответы:

| 1                                            | 2                                            | 3                                            |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $\det(\mathbf{K} + \omega^2 \mathbf{M}) = 0$ | $\det(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) = 0$ | $\det(\mathbf{M} + \omega^2 \mathbf{K}) = 0$ |

Верный ответ: 2

4. Выберите правильное представление кинетической энергии консервативной системы в окрестности положения равновесия ( $\mathbf{x}$  - вектор переменных состояния,  $\mathbf{M}$  - инерционная матрица).

Ответы:

| 1                                                                                                                      | 2                                                                                                                      | 3                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}$<br>( $1 \times n$ ) ( $n \times n$ ) ( $n \times 1$ ) | $T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{x}} \mathbf{M} \dot{\mathbf{x}}^T$<br>( $1 \times n$ ) ( $n \times n$ ) ( $1 \times n$ ) | $T = \frac{1}{2} \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{M} \mathbf{x}$<br>( $1 \times n$ ) ( $n \times n$ ) ( $n \times 1$ ) |

Верный ответ: 1

5. Общее решение уравнений малых собственных колебаний консервативной системы имеет вид  $\mathbf{x}(t) = \sum_{i=1}^n \mathbf{V}_i \eta_i(t)$ , где  $\eta_i(t)$  - решение для нормальных координат. Какой вид имеет может иметь решение для нормальной координаты, если положение равновесия неустойчиво?

Ответы:

- а)  $\eta_i(t) = C_{i1} \exp(at) + C_{i2} \exp(-at)$ ,
- б)  $\eta_i(t) = C_{i1} \cos(\omega t) + C_{i2} \sin(\omega t)$ ,
- в)  $\eta_i(t) = C_{i1} t + C_{i2}$ .

Верный ответ: а), в)

6. Характеристическое уравнение консервативной системы имеет вид:  $\det(\mathbf{M} \lambda^2 + \mathbf{K}) = 0$ . Выберите из предложенных вариантов правильное утверждение (возможны несколько ответов)

Ответы:

- а) Мнимая часть квадратов корней характеристического уравнения консервативных систем отлична от нуля.

- б) Квадраты корней характеристического уравнения действительные.  
 в) Квадраты корней характеристического уравнения действительные и отрицательные.  
 г) Квадраты корней характеристического уравнения действительные и положительные.

Верный ответ: б), в), г)

7. Выберите из предложенных вариантов правильное утверждение (**M** - инерционная матрица, **K** - матрица жесткостей, **U** - n-мерный столбец,  $\omega_i^2, i = 1 \div n$  - квадраты собственных частот)

Ответы:

- а) Частное Рэлея  $R(\mathbf{U})$  это скалярная положительно определённая функция, равная

$$R(\mathbf{U}) = \frac{\mathbf{U}^T \mathbf{K} \mathbf{U}}{\mathbf{U}^T \mathbf{M} \mathbf{U}}.$$

- б) Частное Рэлея  $R(\mathbf{U})$  это скалярная функция, равная  $R(\mathbf{U}) = \frac{\mathbf{U}^T \mathbf{M} \mathbf{U}}{\mathbf{U}^T \mathbf{K} \mathbf{U}}.$

- в) Частное Рэлея  $R(\mathbf{U}) > \omega_i^2$ , где  $\omega_i^2, i = 1 \div n$  - квадраты собственных частот.

- г) Частное Рэлея  $\min_i(\omega_i^2) \leq R(\mathbf{U}) \leq \max_i(\omega_i^2).$

Верный ответ: а), г)

8. Выберите правильный вариант ответа

Ответы:

- а) Собственные и парциальные частоты зависят от выбора обобщённых координат.  
 б) Собственные и парциальные частоты не зависят от выбора обобщённых координат.  
 в) Собственные частоты не зависят от выбора обобщённых координат, а парциальные частоты зависят от выбора обобщённых координат.  
 г) Собственные частоты зависят от выбора обобщённых координат, а парциальные частоты не зависят от выбора обобщённых координат.

Верный ответ: в)

9. Выберите правильный вариант ответа: "Частотный спектр консервативной системы  $\omega_1^2 \leq \omega_2^2 \leq \dots \leq \omega_n^2$  и частотный спектр связанной системы  $\tilde{\omega}_1^2 \leq \tilde{\omega}_2^2 \leq \dots \leq \tilde{\omega}_{n-1}^2$  (наложена одна линейная связь) связаны соотношением"

Ответы:

- а)  $\omega_1^2 \leq \tilde{\omega}_1^2 \leq \omega_2^2 \leq \tilde{\omega}_2^2 \leq \dots \leq \tilde{\omega}_{n-1}^2 \leq \omega_n^2.$

- б)  $\omega_1^2 \leq \tilde{\omega}_1^2, \tilde{\omega}_2^2, \dots, \tilde{\omega}_{n-1}^2 \leq \omega_n^2.$

Верный ответ: а)

10. Выберите правильные варианты ответа

Ответы:

- а). Динамический гаситель колебаний без трения эффективен только для частот возмущения, близких к частоте гасителя.  
 б). Динамический гаситель колебаний без трения эффективен при любых частотах возмущения.  
 в). Динамический гаситель колебаний с трением эффективен только для частот возмущения, близких к частоте гасителя.  
 г). Динамический гаситель колебаний с трением эффективен при любых частотах возмущения.

Верный ответ: а) г)

## II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

Описание характеристики выполнения знания: Всестороннее систематическое глубокое знание материала

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Полное систематическое знание предмета при допущении непринципиальных ошибок*

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Знание материала в объёме, необходимом для дальнейшей учебы и работы по профессии*

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания: Обнаружены серьезные пробелы в знании материала. Допущены принципиальные ошибки при выполнении задания*

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Итоговая оценка по курсу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.

**Для курсового проекта/работы:**

**6 семестр**

**Форма проведения: Защита КП/КР**

### ***I. Процедура защиты КП/КР***

Защита проводится по билетам, содержащим ключевые вопросы по теоретическому материалу и вопросы по представленным к защите отчётам по курсовой работе

### ***II. Описание шкалы оценивания***

*Оценка: 5 («отлично»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Все части работы выполнены верно. В представленном отчёте по курсовой работе решение задачи подробно изложено и аккуратно оформлено. На все вопросы билета защиты даны развёрнутые правильные ответы.

*Допускаются незначительные погрешности в оформлении отчёта.*

*Оценка: 4 («хорошо»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Все части работы выполнены верно. Есть замечания по изложению и оформлению отчёта по курсовой работе. На большую часть вопросов билета защиты даны правильные ответы.

*Оценка: 3 («удовлетворительно»)*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа преимущественно выполнена. Нарушены сроки сдачи отчёта по курсовой работе. Есть существенные замечания по изложению и оформлению отчёта. Ответы на вопросы билета нечёткие и неполные.

*Оценка: 2 («неудовлетворительно»)*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Итоговая оценка за курсовую работу определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и зачётной составляющих.