

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

**Направление подготовки/специальность: 15.03.03 Прикладная механика**

**Наименование образовательной программы: Динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Устойчивость механических систем**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

|  |  |                            |
|--|--|----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                            |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                            |
|  | Владелец   | Радин В.П.                 |
|  | Идентификатор                                      | R55a0851f-RadinVP-d56deff3 |

(подпись)

В.П. Радин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                              |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                              |
|  | Владелец   | Позняк Е.В.                  |
|  | Идентификатор                                      | Rd1b94958-PozniakYV-2647307e |

(подпись)

Е.В. Позняк

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

|  |  |                                |
|--|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» |                                |
|  | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ                       |                                |
|  | Владелец   | Меркурьев И.В.                 |
|  | Идентификатор                                      | Rd52c763c-MerkuryevIV-1e4a883f |

(подпись)

И.В.

Меркурьев

(расшифровка  
подписи)

## 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. ПК-1 Готов участвовать в расчетах с элементами научных исследований деталей машин, узлов и конструкций с целью обеспечения их прочности, жесткости, устойчивости, долговечности, безопасности и надежности

ИД-3 Способен выполнить расчет на устойчивость конструкций и их элементов

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Защита задания

1. Проверка расчетного задания (Проверочная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа 1. Уравнения нейтрального равновесия и уравнения возмущенного движения (Контрольная работа)

2. Контрольная работа 2. Определение критических нагрузок для стержней решением однородной краевой задачи (Контрольная работа)

3. Контрольная работа 3. Определение критических нагрузок энергетическими методами (Контрольная работа)

4. Тест 1. Основные понятия теории устойчивости систем с конечным числом степеней свободы (Тестирование)

## БРС дисциплины

7 семестр

| Раздел дисциплины   | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |
|---|---------------------------------|------|------|------|------|------|
|   | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 |
|   | Срок КМ:                        | 4    | 8    | 12   | 15   | 15   |
| Общая теория упругой устойчивости                           |                                 |      |      |      |      |      |
| Общая теория упругой устойчивости                           | +                               |      |      |      |      |      |
| Статический и динамический методы исследования устойчивости |                                 |      |      |      |      |      |
| Статический и динамический методы исследования устойчивости |                                 |      | +    | +    |      | +    |
| Энергетические методы в теории устойчивости                 |                                 |      |      |      |      |      |
| Энергетические методы в теории устойчивости                 |                                 |      |      |      | +    |      |

|  |    |    |    |    |    |
|--|----|----|----|----|----|
| Элементы теории бифуркаций Пуанкаре      |    |    |    | +  |    |
| Устойчивость стержней пластин и оболочек |    |    |    |    |    |
| Устойчивость стержней пластин и оболочек |    |    |    | +  |    |
| Устойчивость за пределами упругости      |    |    |    |    |    |
| Устойчивость за пределами упругости      |    |    |    | +  |    |
| Вес КМ:                                  | 15 | 15 | 15 | 15 | 40 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## 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   |
|--------------------|--|---|---|
| ПК-1               | ИД-3ПК-1<br>Способен выполнить расчет на устойчивость конструкций и их элементов | <p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>основы теории устойчивости механических систем</li> <li>методы расчета деталей машин и элементов конструкций на устойчивость при действии внешних нагрузок</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>проводить расчеты на устойчивость деталей машин и элементов конструкций</li> <li>выполнять расчеты на устойчивость механических систем с использованием современных вычислительных методов</li> </ul> | <p>Тест 1. Основные понятия теории устойчивости систем с конечным числом степеней свободы (Тестирование)</p> <p>Контрольная работа 1. Уравнения нейтрального равновесия и уравнения возмущенного движения (Контрольная работа)</p> <p>Контрольная работа 2. Определение критических нагрузок для стержней решением однородной краевой задачи (Контрольная работа)</p> <p>Контрольная работа 3. Определение критических нагрузок энергетическими методами (Контрольная работа)</p> <p>Проверка расчетного задания (Проверочная работа)</p> |

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

### КМ-1. Тест 1. Основные понятия теории устойчивости систем с конечным числом степеней свободы

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Тестирование

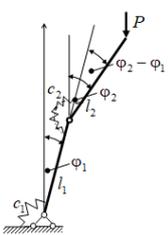
**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий, время на выполнение 45 минут

#### Краткое содержание задания:

Тест ориентирован на проверку знаний по теме “Основные понятия и методы исследования устойчивости систем с конечным числом степеней свободы”

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| <p>Знать: основы теории устойчивости механических систем</p> | <p>1. Чем отличаются определения устойчивости по Ляпунову для дискретных систем и для систем с распределенными параметрами?</p> <p>1. Ничем.</p> <p>2. Различие в определении норм для отклонений от невозмущенного состояния.</p> <p>3. Отрезком времени, на котором определяется устойчивость</p> <p>Критическое значение силы <math>P</math> для заданной системы</p>  <p>можно определить из условия</p> $\frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \varphi_1} = 0, \quad \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial \varphi_2} = 0$ <p>где <math>\mathcal{E} = \frac{1}{2} c_1 \varphi_1^2 + \frac{1}{2} c_2 (\varphi_2 - \varphi_1)^2 - P [l_1 (1 - \cos \varphi_1) + l_2 (1 - \cos \varphi_2)]</math> (*)</p> <p>потенциальная энергия системы. Это следует из:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определения устойчивости по Ляпунову.</li> <li>2. Теоремы Лагранжа-Дирхле.</li> </ol> <p>Почему выражение (*) можно записать как</p> $\mathcal{E} = \frac{1}{2} c_1 \varphi_1^2 + \frac{1}{2} c_2 (\varphi_2 - \varphi_1)^2 - \frac{1}{2} P [l_1 \varphi_1^2 + l_2 \varphi_2^2].$ <p>2.</p> |
|--|---|

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

### КМ-2. Контрольная работа 1. Уравнения нейтрального равновесия и уравнения возмущенного движения

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

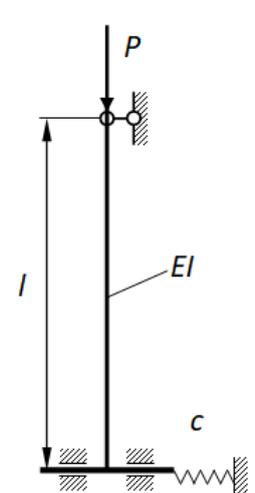
Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

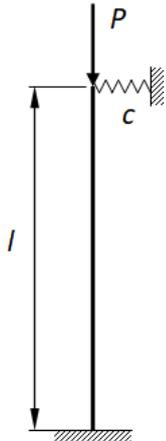
Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в период аудиторных занятий, время на выполнение 45 минут

#### Краткое содержание задания:

Контрольная работа ориентирована на проверку умений решения задач по теме "Уравнения нейтрального равновесия и уравнения возмущенного движения"

#### Контрольные вопросы/задания:

|  |   |
|--|---|
| Уметь: проводить расчеты на устойчивость деталей машин и элементов конструкций | <p>Получить уравнение для определения критического значения сжимающей силы <math>P</math> при <math>c = \frac{EI}{l^3}</math>.</p>  <p>1.</p> |
|--|---|

|  |  |
|--|--|
|  | <p>Составить уравнение для определения критического значения силы <math>P</math>. Жесткость пружины <math>c = \frac{EI}{l^3}</math></p>  <p style="text-align: center;">2.</p> |
|--|--|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если приведена правильная постановка задачи, указан верный ход решения, но отсутствует верный конечный результат*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если приведена правильная постановка задачи, но есть ошибки в ходе решения и отсутствует конечный результат*

**КМ-3. Контрольная работа 2. Определение критических нагрузок для стержней решением однородной краевой задачи**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 15

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проводится в период аудиторных занятий, время на выполнение 45 минут

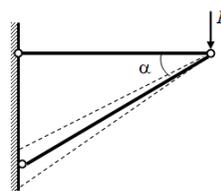
**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа ориентирована на проверку умений решения задач по теме “Определение критических нагрузок для стержней решением однородной краевой задачи”

**Контрольные вопросы/задания:**

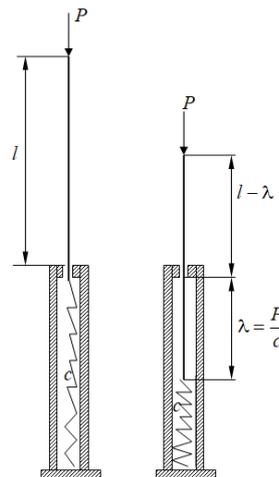
Уметь: проводить расчеты на устойчивость деталей машин и элементов конструкций

Из условия наибольшей устойчивости подкоса  $AB$  кронштейна найти оптимальное значение угла  $\alpha$ . Считать стержень достаточно гибким для применения теории упругой устойчивости.



1.

Тонкий упругий стержень установлен в вертикальных направляющих. Нижний конец упирается в пружину жесткостью  $c$ . Какова должна быть жесткость пружины, чтобы стержень, перемещаясь вниз на величину  $l$ , не потерял устойчивость ни в верхней, ни в нижней части.



2.

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если приведена правильная постановка задачи, указан верный ход решения, но отсутствует верный конечный результат

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если приведена правильная постановка задачи, но есть ошибки в ходе решения и отсутствует конечный результат

#### КМ-4. Контрольная работа 3. Определение критических нагрузок энергетическими методами

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 15

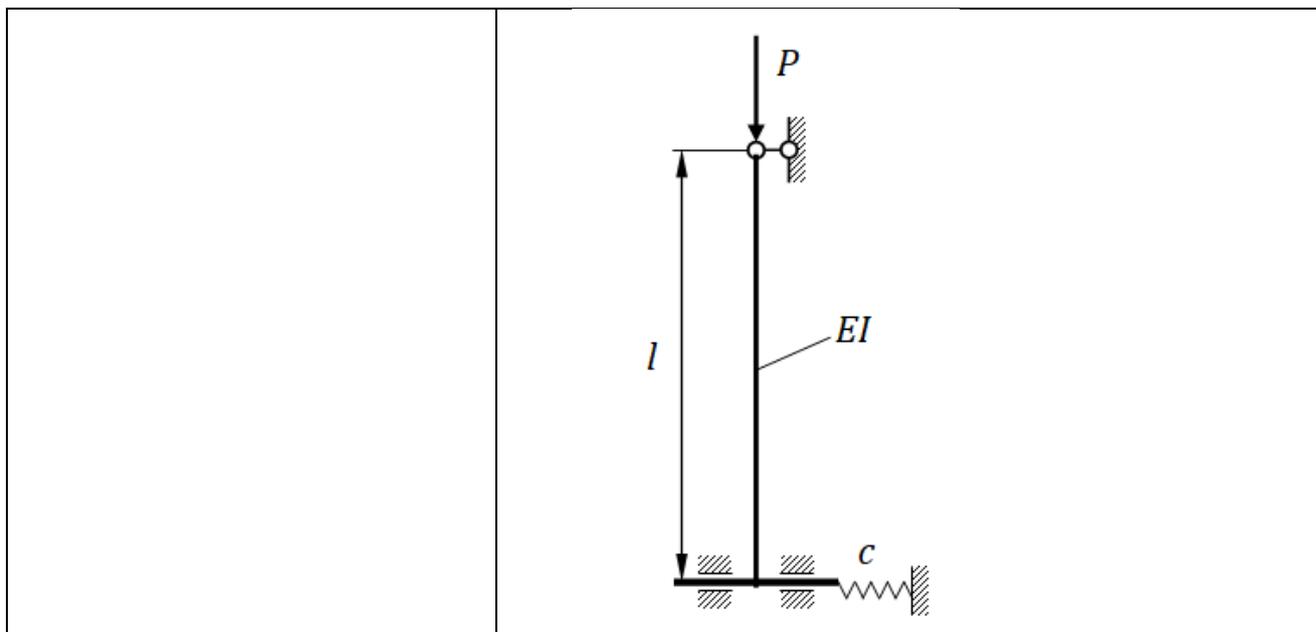
Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в период аудиторных занятий, время на выполнение 45 минут

**Краткое содержание задания:**

Контрольная работа ориентирована на проверку умений решения задач по темам “Определение критических нагрузок энергетическими методами”, “Устойчивость стержней пластин и оболочек”, “Устойчивость за пределами упругости”

**Контрольные вопросы/задания:**

|  |   |
|--|---|
| Знать: методы расчета деталей машин и элементов конструкций на устойчивость при действии внешних нагрузок        | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Как проводятся расчеты на устойчивость прямоугольных пластин при сжатии.</li><li>2. Как проводятся расчеты на устойчивость круговых и кольцевых пластин</li></ol>  |
| Уметь: выполнять расчеты на устойчивость механических систем с использованием современных вычислительных методов | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Для предложенной расчетной схемы элементов конструкций запишите уравнение нейтрального равновесия и, выбрав подходящую функцию, определите критическое значение нагрузки с использованием формулы Релея</li></ol> <div data-bbox="782 750 1045 1265" style="text-align: center;"><p>The diagram shows a vertical column of length <math>l</math>. The top end is free, and the bottom end is fixed to a horizontal surface. A uniformly distributed load <math>q</math> is applied downwards along the length of the column. The flexural rigidity of the column is denoted by <math>EI</math>.</p></div> <ol style="list-style-type: none"><li>2. Для предложенной расчетной схемы элементов конструкций запишите уравнение нейтрального равновесия и, выбрав подходящую функцию, определите критическое значение нагрузки с использованием формулы Релея</li></ol> |



**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если приведена правильная постановка задачи, указан верный ход решения, но отсутствует верный конечный результат*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если приведена правильная постановка задачи, но есть ошибки в ходе решения и отсутствует конечный результат*

**КМ-5. Проверка расчетного задания**

**Формы реализации:** Защита задания

**Тип контрольного мероприятия:** Проверочная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 40

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка расчетного задания проходит в форме устной беседы по выполненной работе с решением дополнительных примеров по теме расчетного задания

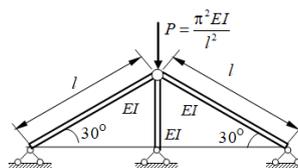
**Краткое содержание задания:**

Необходимо пояснить ход выполненного расчетного задания, решить дополнительные примеры

**Контрольные вопросы/задания:**

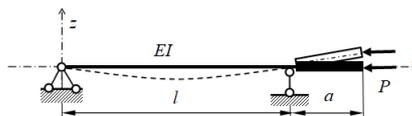
Уметь: проводить расчеты на устойчивость деталей машин и элементов конструкций

Как изменится коэффициент запаса по устойчивости, если в схеме убрать вертикальный стержень



1.

К шарнирно опертому стержню жесткостью  $EI$  и длиной  $l$  к правому концу присоединен абсолютно жесткий рычаг длиной  $a$ , через который на стержень передается сжимающая сила  $P$ . Требуется вывести уравнение для определения критического значения силы  $P$  и описать характер поведения  $P$  от длины рычага.



2.

### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 100

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 75

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если задание выполнено, в части материала есть незначительные недостатки

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

|  |  |                              |
|--|--|------------------------------|
| НИУ<br>МЭИ   | Экзаменационный билет № 1                                      | Утверждено:<br>Зав. кафедрой |
|  | Кафедра робототехники, мехатроники, динамики и прочности машин |                              |
|  | Дисциплина: Устойчивость механических систем                   | «___» _____ 2019 г.          |
| Институт энергомашиностроения и механики   |  |                              |
| <ol style="list-style-type: none"><li>1. Уравнение в вариациях для упругого тела. Случай «жесткого» невозмущенного состояния.</li><li>2. Энергетическое истолкование формулы Релея в теории упругой устойчивости.</li><li>3. Задача.</li></ol> |  |                              |

## Процедура проведения

Проводится в устной и письменной форме по билетам в виде подготовки развернутого ответа на устные вопросы и решения задачи в письменном виде. Время на выполнение экзаменационного задания и подготовку ответа – 90 минут

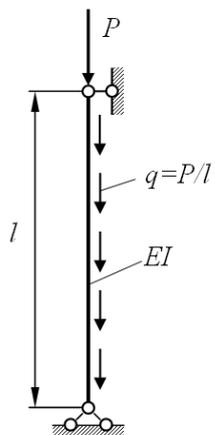
### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3ПК-1 Способен выполнить расчет на устойчивость конструкций и их элементов

#### **Вопросы, задания**

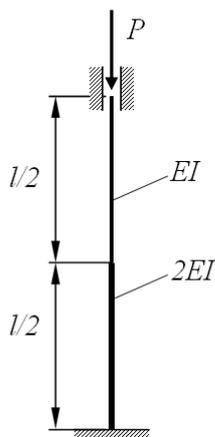
1. Статический и динамический методы исследования устойчивости упругих систем. Область применения статического метода
2. Границы применимости теории упругой устойчивости
3. Устойчивость консольного стержня, сжатого «мертвой» и следящей силой. Типы потери устойчивости
4. Касательно-модульная критическая сила
5. Устойчивость круговой цилиндрической оболочки при осевом сжатии
6. Особенности неконсервативных задач теории упругой устойчивости
7. Приведенно-модульная критическая сила. Частный случай: стержень прямоугольного поперечного сечения

Записать уравнение нейтрального равновесия и определить критическое значение сжимающей силы  $P$  энергетическим методом.



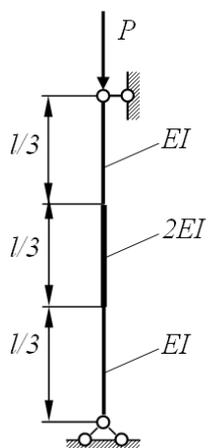
8.

Записать уравнение нейтрального равновесия и определить критическое значение сжимающей силы  $P$  энергетическим методом.



9.

Записать уравнение нейтрального равновесия и определить критическое значение сжимающей силы  $P$  энергетическим методом.



10.

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Возмущения каких параметров содержится в определении устойчивости по Ляпунову?

Ответы:

1. Возмущения параметров системы 2. Возмущения начальных условий 3. Возмущения внешних нагрузок.

Верный ответ: 2

2. Чем отличаются уравнения для исследования устойчивости положения равновесия упругих систем от уравнений статики в теории упругости?

Ответы:

1. Наличием в уравнениях параметрических членов с внешними нагрузками 2. Уравнения совпадают 3. Уравнения устойчивости однородные

Верный ответ: 1

3. Чем отличается динамический метод исследования устойчивости упругой системы от статического метода?

Ответы:

1. Нет различия 2. Отыскиваются условия существования смежных положений равновесия 3. Рассматривается поведение системы во времени после некоторых начальных возмущений.

Верный ответ: 3

4. Результатом применения какого метода являются формулы Эйлера для критических сил стержней?

Ответы:

1. Статического метода 2. Динамического метода 3. Оба метода приведут к формулам Эйлера для критических значений потенциальных нагрузок.

Верный ответ: 3

5. Условия применения статического метода исследования устойчивости положения равновесия механической системы?

Ответы:

1. Внешние нагрузки не зависят от времени 2. Внешние нагрузки обладают потенциалом 3. Потеря устойчивости происходит квазистатическим образом.

Верный ответ: 2

6. Что определяют характеристические показатели в динамическом методе исследования устойчивости?

Ответы:

1. Форму потерю устойчивости 2. Поведение системы во времени 3. Величину критической нагрузки

Верный ответ: 2

7. Какими характеристиками материала определяется граница применимости теории упругой устойчивости?

Ответы:

1. Модулем продольной упругости 2. Пределом текучести 3. Пределом пропорциональности.

Верный ответ: 3

8. Что определяет предельная гибкость стержневого элемента с прямолинейной осью в расчетах на устойчивость?

Ответы:

1. Границу применимости теории упругой устойчивости 2. Формулу, определяющую критическую силу 3. Форму потерю устойчивости

Верный ответ: 1

9. Почему для неконсервативных задач теории упругой устойчивости необходимо применять динамический метод?

Ответы:

1. Потеря устойчивости в неконсервативных системах может происходить по типу флаттера 2. Динамический метод непосредственно соответствует определению устойчивости по Ляпунову 3. Внешние силы не обладают потенциалом.

Верный ответ: 1

10. Каковы причины существенного отличия теоретических и экспериментальных данных по критическим нагрузкам при исследовании устойчивости тонкостенных оболочек?

Ответы:

1. Несовершенство математических моделей 2. Трудностями точного определения экспериментальных значений критических нагрузок 3. Несовершенствами геометрических параметров оболочек, вызывающих существование смежных к исследуемой, устойчивых форм равновесия

Верный ответ: 3

11. Какую оценку для критических нагрузок дает формула Релея при корректном ее применении?

Ответы:

1. Оценку сверху 2. Оценку снизу 3. Оценка зависит от выбора аппроксимирующих функций

Верный ответ: 1

12. Каким свойством системы делает задачу упругой устойчивости неконсервативной?

Ответы:

1. Условия закрепления системы 2. Характер поведения нагрузки 3. Механические свойства материала

Верный ответ: 2

13. Что такое точки бифуркации?

Ответы:

1. Точки раздвоения положений равновесия 2. Точки максимального отклонения от положения равновесия 3. Точки пересечения характеристическими показателями мнимой оси

Верный ответ: 1

14. Каким краевым условиям должны удовлетворять функции, аппроксимирующие форму потери устойчивости, в методе Ритца?

Ответы:

1. Динамическим и кинематическим 2. Кинематическим и условиям полноты 3. Динамическим

Верный ответ: 2

15. В каких случаях расчет стержней на устойчивость проводится по касательной модульной нагрузке?

Ответы:

1. При линейно-упругой работе материала стержня 2. При расчете на устойчивость в условиях ползучести 3. При упругопластической работе материала стержня

Верный ответ: 3

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «Отлично» выставляется студенту, правильно решившему задачу и показавшему при ответе на теоретические вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «Хорошо» выставляется студенту, правильно решившему задачу и в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который при решении задачи и в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, либо наметил правильный путь решения задачи или по указанию экзаменатора решил другую задачу из того же раздела дисциплины

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

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.