Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 03.11.2023 14:45:30
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Транспортный факультет

УТВЕРЖДАЮ
И.о. декана
_____ /М.Н. Лукьянов/
«16» февраля 2023г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

## Устойчивость механических систем

Направление подготовки/специальность
**15.03.03 Прикладная механика**

Профиль/специализация
**Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности**

Квалификация
**бакалавр**

Формы обучения
**очная**

Москва, 2023 г.

**Разработчик(и):**

Старший преподаватель  /Д.Е. Пшонкин/

**Согласовано:**
Заведующий кафедрой «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»,
д.ф-м.н., доцент  /А.А. Скворцов/

## 1. Цели освоения дисциплины.

К **основным целям** освоения дисциплины «Устойчивость механических систем» следует отнести:

– формирование знаний у студентов о современных принципах и методах исследования механических систем на устойчивость при действии внешних нагрузок;

– подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению;

– подготовка специалистов в области проектирования и расчета механических конструкций и систем с учетом их устойчивости под действием внешних нагрузок.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Устойчивость механических систем» следует отнести:

– освоение принципов моделирования инженерных конструкций и методов расчета конструкций на устойчивость;

– выработка умения анализировать поведение и предотвращать возможную потерю устойчивости инженерными конструкциями.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.

Дисциплина «Устойчивость механических систем» относится к числу профессиональных учебных дисциплин по выбору (Б1) основной образовательной программы бакалавриата.

«Устойчивость механических систем» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

*В базовой части цикла (Б1.1):*

– Теоретическая механика;

– Сопротивление материалов;

– Высшая математика.

*В вариативной части цикла (Б1.2):*

– Анализ и синтез механизмов;

– Детали машин и основы конструирования.

## 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине |
|---|---|---|
| ПК-1 | Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность | **знать:**<br>• основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем<br>**уметь:**<br>• проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными методами<br>**владеть:**<br>• навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций |

## 4. Структура и содержание дисциплины.

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часов (из них 54 часов – самостоятельная работа студентов).

На четвертом курсе в **седьмом** семестре выделяется **3** зачетные единицы, т.е. **108** академических часа (из них 54 часов – самостоятельная работа студентов).

Разделы дисциплины «Устойчивость механических систем» изучаются на четвертом курсе.

**Седьмой семестр:** лекции – 1 час в неделю (18 часов), семинарские занятия – 1 час в неделю (18 часов), лабораторные работы – 1 час в неделю (18 часов), форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Устойчивость механических систем» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

**Содержание разделов дисциплины.**

**Седьмой семестр**

**1. Введение в устойчивость механических систем.**

Основные понятия устойчивости положений равновесия упругих систем. Неоднозначность состояний равновесия упругих систем. Исходное и отклоненное состояния равновесия. Необходимость составления уравнений равновесия для отклоненного состояния.

**2. Устойчивые и неустойчивые состояния равновесия.**

Теорема Лагранжа-Дирихле. Полная потенциальная энергия. Внутренняя энергия деформации. Потенциал внешних сил.

**3. Точки бифуркации, предельные точки и критические нагрузки.**

Точки бифуркации или ветвления решений. Критические точки и критические нагрузки. Плавные и скачкообразные переходы. Критические точки бифуркации первого и второго рода. Предельные точки. Влияние начальных (геометрических) несовершенств механической системы. Трансформация критических точек бифуркации в случае начальных геометрических несовершенств.

**4. Однородные линеаризованные уравнения равновесия упругих систем.**

Три основных способа получения однородных линеаризованных уравнений. Нетривиальные решения линеаризованных уравнений. Нулевой определитель системы и возможность существования смежных решений. Получение однородных линеаризованных уравнений в задачах с распределенными параметрами (метод Эйлера).

**5. Энергетический критерий бифуркационной потери устойчивости.**

Энергетический подход к определению критических нагрузок. Обоснование устойчивости при энергетическом подходе. Приближенные и численные методы определения собственных значений краевых задач.

**6. Устойчивость упругих систем при комбинированном нагружении.**

Комбинированное нагружение. Граница области устойчивости. Формы областей устойчивости по Папковичу.

**7. О постановке задач устойчивости тонкостенных систем.**

Основные допущения, применяемые при решении задач устойчивости тонкостенных систем.

**8. Энергетический метод решения задач устойчивости упругих систем с распределенными параметрами.**

Вариационные подходы в задачах линейной теории упругости. Две основные формы энергетического критерия бифуркационной потери устойчивости.

**9. Методы приближенного решения задачи определения стационарных значений функционалов.**

Метод Релея-Ритца. Метод Галеркина.

**10. Устойчивость прямолинейных стержней.**

Линеаризованное уравнение изгибной формы равновесия прямого стержня. Характеристическое уравнение и свойства его решений. Формула Эйлера.

**11. Закритическое поведение стержней.**

Диаграммы «прогиб-нагрузка» в закритической области. Устойчивость тонкостенных элементов при сжимающих и сдвигающих напряжениях. Запасы устойчивости.

**12. Устойчивость стержней за пределами упругости.**

Гибкость стержня. Приведенный модуль Кармана. Формула Энгессера.

**13. Устойчивость криволинейных стержней.**

Влияние начальных несовершенств на поведение сжатых стержней. Устойчивость колец.

**14. Устойчивость пластин.**

Основное линеаризованное уравнение. Прямоугольные пластины при сжатии и сдвиге. Влияние условий закрепления.

**15. Устойчивость оболочек.**

Короткие, средние и длинные оболочки. Поправочные коэффициенты при начальных неправильностях.

**16. Основные понятия теории устойчивости движения.**

Два метода Ляпунова. Теория бифуркаций.

**17. Исследование устойчивости периодических движений.**

Теория параметрического резонанса. Устойчивость циркуляционных систем.

**18. Численные методы исследования устойчивости движения систем.**

Основы расчета задач устойчивости в компьютерных программных комплексах.

## 5. Образовательные технологии.

Методика преподавания дисциплины «Устойчивость механических систем» предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению лабораторных работ в лабораториях вуза;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на семинарских занятиях;

– использование интерактивных форм представления материала;

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, в целом по дисциплине составляет 20% аудиторных занятий. Занятия лекционного типа составляют 33% от объема аудиторных занятий.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы студентов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

**<u>В седьмом семестре</u>**

- подготовка к выполнению лабораторных работ и их защита;
- подготовка к выполнению расчетно-графических работ и их защита.

### 6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции:

| Код компетенции | В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать |
|---|---|
| ПК-1 | Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность |

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

### 6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания.

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

| **ПК-1 Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Показатель** | **Критерии оценивания** | | | |
| | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **знать:** основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем | Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем, свободно оперирует приобретенными знаниями. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **уметь:** проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными методами | Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет: проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными | Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации. | Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности. |
| **владеть:** навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций | Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет: навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций | Обучающийся владеет навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях. | Обучающийся частично владеет навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации. | Обучающийся в полном объеме владеет навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности. |

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной

аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Устойчивость механических систем» (указывается что выполнили лабораторные работы)

| **Шкала оценивания** | **Описание** |
|---|---|
| Отлично | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Хорошо | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом допускает незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Удовлетворительно | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. Допускает ошибки, неточности, затруднения при аналитических |

| | |
|---|---|
| | операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Неудовлетворительно | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

Фонды оценочных средств представлены в приложении 2 к рабочей программе.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

**а) основная литература:**

1. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем в 2 ч. Часть 1: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. С. Вольмир. — 3-е изд., стер. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 526 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс).
URL: https://urait.ru/bcode/441117
2. Вольмир, А. С. Устойчивость деформируемых систем в 2 ч. Часть 2: учебное пособие для бакалавриата и магистратуры / А. С. Вольмир. — 3-е изд., стер. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 480 с. — (Бакалавр и магистр. Академический курс).
URL: https://urait.ru/bcode/441237

**б) дополнительная литература:**

1. Лампси Б.Б. Сборник задач и упражнений по устойчивости стержневых систем [Текст]: учеб. пособие /Б. Б. Лампси, Н. Ю. Трянина, П. А. Хазов, Б. Б. Лампси; Нижегор. гос. архитектур. - строит. ун - т. - Н. Новгород: ННГАСУ, 2020. - 94 с.
URL: https://reader.lanbook.com/book/164859#3

**в) Электронные образовательные ресурсы:**

**Курс «Устойчивость механических систем»**
**https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=12382**

## 8.Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Аудитория для лекционных и практических занятий : столы учебные со скамьями, аудиторная доска, настенный проекционный экран. Рабочее место преподавателя: стол, стул.

Лабораторная аудитория : столы, стулья, меловая доска, учебная испытательная машина для проведения испытаний на растяжение/сжатие и кручение МИ-40КУ, копер маятниковый МК-300, универсальный учебный комплекс по сопротивлению материалов СМ-1, универсальный комплекс для проведения лабораторных работ СМ-2, лабораторный комплекс ЛКСМ-1К

Лабораторная аудитория : столы, стулья, универсальный комплекс для проведения лабораторных работ СМ-2, комплекс для демонстрации механических и демпфирующих свойств пластичных материалов, устройство для наглядной демонстрации ползучести материалов WP600, машина для испытаний на усталость, комплекс для проведения лабораторных работ по курсу «устойчивость механических систем». Рабочее место преподавателя: стол, стул.

## 9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов

Задачами самостоятельной работы студентов являются:

1. Систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений студентов;
2. Углубление и расширение теоретической подготовки;
3. Формирование умений использовать специальную литературу;
4. Развитие познавательных способностей студентов, самостоятельности, ответственности и организованности.

Изучение дисциплины неразрывно связано с самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателями литературными источниками и с материалами, полученными на лекционных, практических занятиях и лабораторных работах. При этом студент сам планирует свою самостоятельную работу, что создает более благоприятную обстановку и положительно сказывается на усвоении материала.

На основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных терминов, положений и определений, требующих запоминания и необходимых для освоения разделов дисциплины.

Продуктивность работы зависит от правильного чередования труда и отдыха. Поэтому каждые час или два следует делать перерыв на 10 минут. Даже переключение с одного вида умственной работы на другой может служить активным отдыхом.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем-консультантом и студентами, направленное на разрешение проблем и внесение позитивных изменений в деятельность студентов.

## 10.Методические рекомендации для преподавателя

Взаимодействие преподавателя со студентами можно разделить на несколько составляющих - лекционные, практические и лабораторные занятия и консультирование. Преподаватель должен последовательно вычитать студентам ряд лекций, в ходе которых следует сосредоточить внимание на ключевых моментах конкретного теоретического материала, а также организовать проведение практических занятий таким образом, чтобы активизировать мышление студентов, стимулировать самостоятельное извлечение ими необходимой информации из различных источников, сравнительный анализ методов решений, сопоставление полученных результатов, формулировку и аргументацию собственных взглядов на многие спорные проблемы.

Перед занятиями преподавателю необходимо:

- изучить рабочую программу, цели и задачи дисциплины;
- четко представлять себе, какие знания, умения и навыки должен приобрести студент;
- познакомится с видами учебной работы;
- изучить содержание разделов дисциплины.

В ходе лекционного занятия преподаватель должен назвать тему, учебные вопросы, ознакомить студентов с перечнем основной и дополнительной литературы по теме занятия.

Во вступительной части лекции обосновать место и роль изучаемой темы в учебной дисциплине, раскрыть ее практическое значение. Если читается не первая лекция, то необходимо увязать ее тему с предыдущей, не нарушая логики изложения учебного материала. Лекцию следует начинать, только чётко обозначив её характер, тему и круг тех вопросов, которые в её ходе будут рассмотрены.

В основной части лекции следует раскрывать содержание учебных вопросов, акцентировать внимание студентов на основных категориях, явлениях и процессах, особенностях их протекания. Раскрывать сущность и содержание различных точек зрения и научных подходов к объяснению тех или иных явлений и процессов. Следует аргументировано обосновать собственную позицию по спорным теоретическим вопросам. Приводить примеры. Задавать по ходу изложения лекционного материала риторические вопросы и самому давать на них ответ. Это способствует активизации мыслительной деятельности студентов, повышению их внимания и интереса к

материалу лекции, ее содержанию. Преподаватель должен руководить работой студентов по конспектированию лекционного материала, подчеркивать необходимость отражения в конспектах основных положений изучаемой темы.

В заключительной части лекции необходимо сформулировать общие выводы по теме, раскрывающие содержание всех вопросов, поставленных в лекции. Объявить план очередного семинарского или лабораторного занятия.

дать краткие рекомендации по подготовке студентов к семинару или лабораторной работе. Определить место и время консультации студентам, пожелавшим выступить на семинаре с докладами и рефератами по актуальным вопросам обсуждаемой темы.

Цель практических и лабораторных занятий - обеспечить контроль усвоения учебного материала студентами, расширение и углубление знаний, полученных ими на лекциях и в ходе самостоятельной работы. Повышение эффективности практических занятий достигается посредством создания творческой обстановки, располагающей студентов к высказыванию собственных взглядов и суждений по обсуждаемым вопросам.

После каждого лекционного, лабораторного и практического занятия сделать соответствующую запись в журналах учета посещаемости занятий студентами, выяснить у старост учебных групп причины отсутствия студентов на занятиях. Проводить групповые и индивидуальные консультации студентов по вопросам, возникающим у студентов в ходе их подготовки к текущей и промежуточной аттестации по учебной дисциплине, рекомендовать в помощь учебные и другие материалы, а также справочную литературу.

Экзамен или зачет по дисциплине проводится в форме письменного, экзамена с последующей индивидуальной беседой со студентом на основе вопросов, сформулированных в зачетных или экзаменационных билетах. В билет вносится два теоретических и один практический вопрос из различных разделов дисциплины для более полной проверки знаний студентов. Оценка выставляется преподавателем и объявляется после ответа. Преподаватель принимающий экзамен лично несет ответственность за правильность выставления оценки.

Приложение 1.

**Структура и содержание дисциплины «Устойчивость механических систем» по направлению подготовки 15.03.03 «Прикладная механика» (бакалавр)**

| n/n | Раздел | Семестр | Неделя семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах | | | | | Виды самостоятельной работы студентов | | | | | Формы аттестации | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Л | П/С | Лаб | СРС | КСР | К.Р. | К.П. | РГР | Реферат | К/р | Э | З |
| | **Седьмой семестр** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 | Введение в устойчивость механических систем. Устойчивые и неустойчивые состояния равновесия | 7 | 1-2 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.2 | Анализ нелинейного поведения простейших механических системы при действии вертикальной силы. | 7 | 1-2 | | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| 1.3 | Исследование предельных точек на основе анализа поведения двух шарнирно соединенных стержней с горизонтальной пружиной при действии боковой силы | 7 | 1-2 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.4 | Точки бифуркации, предельные точки и критические нагрузки. Однородные линеаризованные уравнения равновесия упругих систем. | 7 | 3-4 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.5 | Поведение нелинейных систем при нагрузке и разгрузке. Определение точек бифуркации, предельных точек и критических нагрузок. Выдача заданий для РГР №1 | 7 | 3-4 | | 2 | | 2 | | | | + | | | | |
| 1.6 | Анализ поведения системы с начальными геометрическими несовершенствами, состоящей из стержня с упругим шарниром, при действии вертикальной силы | 7 | 3-4 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.7 | Энергетический критерий бифуркационной потери устойчивости. Устойчивость упругих систем при комбинированном нагружении | 7 | 5-6 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.8 | Приближенные и численные методы определения собственных значений краевых задач. Расчет систем с начальными отклонениями | 7 | 5-6 | | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| 1.9 | Анализ поведения системы с начальными геометрическими несовершенствами, состоящей из стержня с горизонтально присоединенной пружиной, при действии вертикальной силы | 7 | 5-6 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.8 | Энергетический метод решения задач устойчивости упругих систем с распределенными параметрами. О постановке задач устойчивости тонкостенных систем. | 7 | 7-8 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.9 | Системы с двумя степенями свободы.<br>Выдача заданий<br>для РГР №2 | 7 | 7-8 | | 2 | | 4 | | | | + | | | | |
| 1.10 | Исследование устойчивости двухзвенной стержневой системы с упругими шарнирами при комбинированном нагружении двумя силами | 7 | 7-8 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.11 | Методы приближенного решения задачи определения стационарных значений функционалов.<br>Устойчивость прямолинейных стержней. | 7 | 9-10 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.12 | Исследование устойчивости трехзвенной стержневой системы с упругими шарнирами | 7 | 9-10 | | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| 1.13 | Исследование устойчивости двухзвенной стержневой системы с упругими шарнирами при комбинированном нагружении двумя силами | 7 | 9-10 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.14 | Закритическое поведение стержней.<br>Устойчивость стержней за пределами упругости. | 7 | 11-12 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.15 | Исследование устойчивости трехзвенной стержневой системы с упругими шарнирами | 7 | 11-12 | | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| 1.16 | Анализ устойчивости трехзвенной системы с упругими шарнирами при сложном нагружении | 7 | 11-12 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.17 | Устойчивость криволинейных стержней.<br>Устойчивость пластин. | 7 | 13-14 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.18 | Вычисление критической нагрузки сжатого стержня с шарнирным опиранием методом Релея-Ритца.<br>Выдача заданий для РГР №3 | 7 | 13-14 | | 2 | | 2 | | | | + | | | | |
| 1.19 | Анализ устойчивости трехзвенной системы с упругими шарнирами при сложном нагружении | 7 | 13-14 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.20 | Устойчивость оболочек.<br>Основные понятия теории устойчивости движения | 7 | 15-16 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.21 | Формулы критических напряжений для тонких пластин.<br>Влияние условий закрепления на коэффициенты пропорциональности.<br>Формы потери устойчивости тонких оболочек | 7 | 15-16 | | 2 | | 2 | | | | | | | | |
| 1.22 | Вычисление критической нагрузки для стержня линейно-переменного сечения | 7 | 15-16 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| 1.23 | Исследование устойчивости периодических движений.<br>Численные методы исследования устойчивости движения систем. | 7 | 17-18 | 2 | | | 2 | | | | | | | | |
| 1.24 | Особенности задач устойчивости движения. Теоремы Ляпунова о признаках неустойчивости движения. | 7 | 17-18 | | 2 | | 2 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.25 | Вычисление критической нагрузки для стержня линейно-переменного сечения | 7 | 17-18 | | | 2 | 2 | | | | | | | | |
| | ***Форма аттестации*** | | 19-21 | | | | | | | | | | | **Э** | |
| | Всего часов по дисциплине в седьмом семестре | | | 18 | 18 | 18 | 54 | | | | | | | | |

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Направление подготовки: 15.03.03 «Прикладная механика»

Профили: «Программирование и цифровые технологии в динамике и прочности»

Формы обучения: очная

Виды профессиональной деятельности:

- проектно-конструкторская;
- научно-исследовательская.

Кафедра: Динамика, прочность машин и сопротивление материалов

# ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

# ПО ДИСЦИПЛИНЕ

# «Устойчивость механических систем»

**Составитель:** **Пшонкин Д.Е.**

Москва, 2023 год

Таблица 1

## ПОКАЗАТЕЛЬ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ

| **Устойчивость механических систем** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ФГОС ВО **15.03.03 «Прикладная механика»** | | | | |
| В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие **компетенции**: | | | | |
| **КОМПЕТЕНЦИИ** | | **Перечень компонентов** | **Технология формирования компетенций** | **Форма оценочного средства** |
| **индекс** | **формулировка** | | | |
| **ПК-1** | Способен проводить расчет элементов конструкций и узлов ЛА на статическую прочность | **знать:**<br>• основные методы расчетов на устойчивость конструкций и механических систем<br>**уметь:**<br>• проводить расчеты элементов конструкций аналитическим и вычислительными методами<br>**владеть:**<br>• навыками конструирования типовых узлов машин и элементов конструкций | лекция, самостоятельная работа, семинарские занятия, лабораторные работы | |

*Приложение 2*
*к рабочей программе*

**Перечень оценочных средств по дисциплине *Устойчивость механических систем***

| № ОС | Наименование оценочного средства | Краткая характеристика оценочного средства | Представление оценочного средства в ФОС |
|---|---|---|---|
| 1 | Расчетно-графическая работа (РГР) | Средство проверки умений применять полученные знания по заранее определенной методике для решения задач или заданий по модулю или дисциплине в целом. | Комплект заданий для выполнения расчетно-графической работы |
| 2 | Устный опрос собеседование, (УО) | Средство контроля, организованное как специальная беседа педагогического работника с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, и рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. | Вопросы по темам/разделам дисциплины |

Приложение 2.

Фонды оценочных средств по дисциплине «Устойчивость механических систем» по направлению.

## Пример экзаменационного билета

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет ТРАНСПОРТНЫЙ, кафедра «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов»
Дисциплина «Устойчивость механических систем»
Для 15.03.03 «Прикладная механика»

**ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 3.**

1. Устойчивые и неустойчивые состояния равновесия.
2. Формы потери устойчивости тонких оболочек.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры « ____ » _____ 2021 г., протокол № ____

Зав. кафедрой _____ /А.А. Скворцов/

---

**Пример задания для выполнения расчетно-графической работы.**

Требуется: провести исследование предельных точек на основе анализа поведения двух шарнирно соединенных пологих стержней с горизонтальной пружиной под действием боковой силы.

Исходные данные:

| Параметр | Величина |
|---|---|
| Длина стержня *l*, м | 1 |
| Жесткость пружины С, Н/м | 1000 |
| Высота подъема стержня Н, см | N/2 |

где N – номер студента в списке группы.

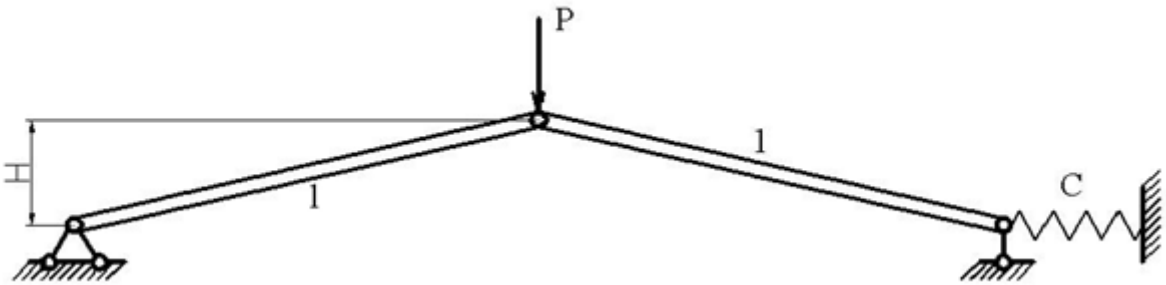



Рис. 1. Схема шарнирно соединенных стержней

Необходимо:

1. Построить диаграмму «нагрузка - перемещение».
2. Найти значения перемещений в предельных точках.
3. Вычислить верхнюю и нижнюю критические нагрузки.
4. Найти области устойчивости и неустойчивости.
5. Исследовать устойчивость системы в верхней и нижней критических точках.

**Пример вопросов для защиты лабораторной работы:**

1. Какой влияют условия закрепления на величину критической силы?
2. В чем заключается принцип работы тензорезистора?
3. Как в лабораторной работе имитировались условия закрепления?
4. Какие приборы использовались в лабораторной работе?
5. Как теоретически определить критическую силу для стержня сжимаемого продольной силой?

**Примеры вопросов для устного опроса:**

1. Что такое критическая сила?
2. Что такое предельная точка?
3. Что такое точки бифуркации?
4. Что такое устойчивость?
5. Что такое положение равновесия?
6. Что такое устойчивое положение равновесия?
7. Что такое неустойчивое положение равновесия?
8. Как влияют несовершенства механической системы на критическую силу?
9. Что такое диаграммы равновесных состояний?
10. Что такое линеаризованные уравнения?
11. Как получить однородные линеаризованные уравнения?
12. В чем заключается энергетический подход к определению критических нагрузок?
13. Что такое граница устойчивости?
14. Что такое форма областей устойчивости по Папковичу?
15. Какие основные допущения принимаются при решении задач устойчивости?
16. В чем заключается метод Релея-Ритца?
17. В чем заключается метод Галеркина?
18. В чем особенность поведения стержней при закритическом нагружении?
19. Что такое гибкость стержня?
20. Что такое приведенный модуль Кармана?