

УТВЕРЖДАЮ  
 Декан факультета

\_\_\_\_\_  
 (подпись) Суслин А. В.  
 ФИО  
 «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Направление/специальность подготовки	15.04.03 Прикладная механика
Специализация/профиль/программа подготовки	Динамика, прочность машин, приборов, аппаратуры
Уровень высшего образования	Магистратура
Форма обучения	Очная
Факультет	Е Оружие и системы вооружения
Выпускающая кафедра	Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА
Кафедра-разработчик рабочей программы	Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
6	11	5	180	34	0	17	17	146	0	0	146	диф. зач.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)**

**15.04.03 Прикладная механика**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА  
Титух Игорь Николаевич, к.т.н., доцент, доцент

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Заведующий кафедрой Санников В.А., д.т.н., проф.

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

Заведующий кафедрой Санников В.А., д.т.н., проф.

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

## **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-1.2 — способность учитывать особенности функционирования машин, приборов и аппаратуры при динамических ударных, циклических, температурных нагружениях, механических, акустических, аэро- и гидродинамических, тепловых, электромагнитных и радиационных внешних воздействиях, высоком давлении и вакууме

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-1.2**

*знания:*

использование современных пакетов прикладных программ в части анализа собственных частот и мод колебаний, запасов устойчивости исходных форм равновесия;

*умения:*

анализировать и интерпретировать полученные расчетные результаты, выдавать рекомендации, ведущие к повышению работоспособности конструкций;

*навыки:*

адекватные способы и методы решения задач прикладной механики в области отстройки критических скоростей вращения роторных машин, повышения несущей способности типовых элементов конструкций при сжатии.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.04.03 Прикладная механика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **CAD/CAE ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫПОЛНЕНИЕ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПСК-1.1 — Способен проводить анализ динамики и прочности технических объектов с применением современных расчетных технологий, экспериментальных методов, отраслевых методик, учитывать возможность потери несущей способности, а также влияние усталостных разрушений
- ПСК-1.2 — Способен учитывать особенности функционирования машин, приборов и аппаратуры при динамических ударных, циклических, температурных нагружениях, механических, акустических, аэро- и гидродинамических, тепловых, электромагнитных и радиационных внешних воздействиях, высоком давлении и вакууме

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-1.2
6	11	Раздел 1. Устойчивость типовых элементов конструкций. Устойчивость пластин и оболочек в пределах упругости. Выпучивание прямоугольных пластин при различных граничных условиях. Несущая способность подкрепленных панелей при сжатии.	81	15	6	9	66	50
6	11	Раздел 2. Элементы роторной динамики. Виды нагрузок и расчетные схемы. Расчет статической прочности и жесткости. Расчет усталостной прочности. Критические скорости вращения. Балансировка гибких роторов Крутильные колебания валопроводов.	99	19	11	8	80	50
Всего за 11 семестр			180	34	17	17	146	100
Всего по дисциплине			180	34	17	17	146	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Устойчивость типовых элементов конструкций.	. Выпучивание прямоугольных пластин при различных граничных условиях	5
2		. Несущая способность подкрепленных панелей при сжатии.	4
3	Раздел 2. Элементы роторной динамики.	Расчет статической прочности и жесткости вала	3
4		Расчет усталостной прочности ротора	3
5		Балансировка гибких роторов	2
Всего за 11 семестр			17

#### 3.3. Лабораторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного практикума	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Устойчивость типовых элементов конструкций.	Выпучивание подкрепленных панелей при сжатии	6
2	Раздел 2. Элементы роторной динамики.	Определение критических скоростей вращения ротора	6
3		Моделирование крутильных колебаний валопровода	5
Всего за 11 семестр			17

#### 3.4. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Устойчивость типовых элементов конструкций.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц	40
2		Выполнение, оформление полученных результатов, защита ЛР	26
3	Раздел 2. Элементы роторной динамики.	Изучение предусмотренных программой дидактических единиц	40
4		Выполнение, оформление полученных результатов, защита ЛР	20
5		Выполнение, оформление полученных результатов, защита ЛР	20

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
11				ЛР		ДР				ДР		ЛР			ЛР	ДР	Вопр.Диф.Зач, диф. зач.

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ЛР – лабораторная работа;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. И. Н. Титух, С. П. Яковлев. . Устойчивость механических систем. Статика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014, 28 экз.
2. И. Н. Титух, С. П. Яковлев. . Устойчивость механических систем. Динамика. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 68 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <http://library.voenmeh.ru> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.



## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Практические занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

### **6.2. Лабораторные занятия:**

1. Интерактивная доска;
2. Ansys Multiphysics 2019 Teaching Advanced.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### **Аннотация рабочей программы**

Дисциплина **ДИНАМИКА И УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ** является дисциплиной **части, формируемой участниками образовательных отношений блока 1**, программы подготовки по направлению *15.04.03 Прикладная механика*. Дисциплина реализуется на факультете *Е Оружие и системы вооружения* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Е7 МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-1.2 способность учитывать особенности функционирования машин, приборов и аппаратуры при динамических ударных, циклических, температурных нагружениях, механических, акустических, аэро- и гидродинамических, тепловых, электромагнитных и радиационных внешних воздействиях, высоком давлении и вакууме.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с динамикой и потерей устойчивости исходных форм равновесия элементов конструкций.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- лабораторная работа;
- вопросы к дифференцированному зачету.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 5 з.е., **180 ч**. Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**17 ч.**), лабораторный практикум (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**146 ч**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 180 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 146 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
Раздел 1. Устойчивость типовых элементов конструкций.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц	И. Н. Титух, С. П. Яковлев. . Устойчивость механических систем. Статика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2014 (1-4)	40
Выполнение, оформление полученных результатов, защита ЛР		26
Итого по разделу 1		66
Раздел 2. Элементы роторной динамики.		
Изучение предусмотренных программой дидактических единиц	И. Н. Титух, С. П. Яковлев. . Устойчивость механических систем. Динамика: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1,2)	40
Выполнение, оформление полученных результатов, защита ЛР		20
Выполнение, оформление полученных результатов, защита ЛР		20
Итого по разделу 2		80

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- лабораторная работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Лабораторная работа

Отчет по лабораторной работе представляется в печатном виде в формате, предусмотренном шаблоном отчета по лабораторной работе. Защита отчета проходит в форме доклада студента по выполненной работе и ответов на вопросы преподавателя. Критерии оценивания: зачет / незачет

#### Вопросы к дифференцированному зачету

Варианты тестовых вопросов к дифф. зачету размещены в составе УМК по дисциплине

#### Дифференцированный зачет

..Диф. зачет проходит в тестовой форме и включает в себя ответы на теоретические вопросы (25 шт.). Каждый верный ответ оценивается в 4 балла. Оценка складывается по количеству баллов, полученных за ответы на тестовые вопросы.

Перевод балльной шкалы в традиционную систему оценивания

Баллы Оценка по нормативной шкале

85 - 100 "отлично"

75 – 84 "хорошо"

51 - 74 "удовлетворительно"

менее 51 "не зачтено"

Паспорт фонда оценочных средств

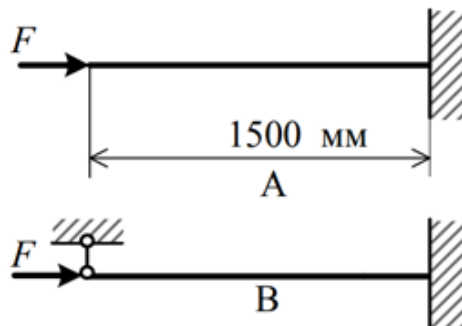
КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лабораторный практикум	Практические занятия		ПСК-1.2		
6	11	Раздел 1. Устойчивость типовых элементов конструкций.	81	15	6	9	66	50	Вопросы к дифференцированному зачету, Лабораторная работа	
6	11	Раздел 2. Элементы роторной динамики.	99	19	11	8	80	50	Вопросы к дифференцированному зачету, Лабораторная работа	
Всего за 11 семестр			180	34	17	17	146	100		
Всего по дисциплине			180	34	17	17	146	100		

## Критерии оценивания

### ПСК-1.2

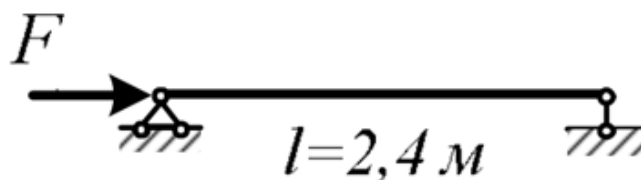
Вопросы открытого типа:

- № 1 При отсутствии диссипации энергии (сил сопротивления) декремент затухания
- № 2 Как изменится низшая частота собственных колебаний упругой системы при её погружении в воду?
- № 3 Приведенная жесткость колебательной системы 1000 кгс/м, приведенный вес инерционного элемента 20 кгс. Период собственных колебаний равен
- № 4 Как изменятся частоты собственных колебаний упругой системы при её переносе с Земли в космическое пространство?
- № 5 Как при увеличении приведенной массы в 4 раза изменится низшая частота собственных незатухающих колебаний одноступенной системы?
- № 6

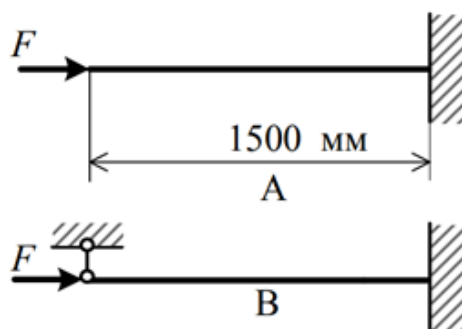


Дан стержень, гибкость которого больше предельной гибкости материала. Как при этом критическая сила зависит от коэффициента Пуассона?

- № 7 Найти гибкость стержня круглого поперечного сечения, если его диаметр 60 мм, длина 2,4 м, стержень шарнирно закреплён с обоих концов



- № 8 Как изменится гибкость стержня при замене схемы крепления концов с варианта А на вариант Б?



- № 9 Коэффициент приведения длины стержня зависит от...
- № 10 Имеется стержень, вид которого представлен на рисунке. Поперечное сечение – квадратное с длиной стороны  $a=20$  мм. Длина стержня  $L=2$  м, материал – конструкционная сталь (модуль продольной упругости  $E=200$  ГПа). Определить критическую силу потери устойчивости. Ответ дать в Ньютонах, округляя до целого



*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 В уравнения движения Лагранжа II-го рода потенциальная энергия дифференцируется по
- A времени
  - B скорости
  - C перемещению
  - D температуре
- № 2 При численном решении задачи с конечным числом степеней свободы возможное число искомых частот собственных незатухающих колебаний
- A бесконечно
  - B равно числу степеней свободы
  - C равно удвоенному числу степеней свободы
  - D ничего из вышеперечисленного
- № 3 В основе метода Рэлея лежит равенство...
- A максимальных значений кинетической и потенциальной энергии
  - B максимальных значений кинетической и диссипативной энергии
  - C минимальных значений кинетической и потенциальной энергии
  - D минимальных значений кинетической и диссипативной энергии
- № 4 Частота малых (линейных) собственных колебаний математического маятника весом 5 кгс и длиной жесткого стержня 50 см равна
- ~0,71 Гц
  - ~0,11 Гц
  - ~2,33 Гц
  - ~0,02 Гц
- № 5 При параметрическом возбуждении колебаний энергия может быть вложена в колебательную систему путем периодического изменения
- A только ее инерционных параметров.
  - B только ее демпфирующих параметров.
  - C только ее жесткостных (восстанавливающих) параметров.
  - D любое из вышеперечисленного
- № 6 Дан стержень, гибкость которого больше предельной гибкости материала. При этом критическая сила .....

- А прямо пропорционально длине стержня
- В обратно пропорциональна длине стержня
- С обратно пропорциональна квадрату длины стержня
- Д прямо пропорциональна квадрату длины стержня
- № 7 не зависит от длины стержня, нет правильного ответа  
Дан стержень, гибкость которого больше предельной гибкости материала. При этом критическая сила .....
- А прямо пропорционально осевому моменту инерции стержня
- В обратно пропорциональна осевому моменту инерции стержня
- С пропорциональна квадрату осевого момента инерции стержня
- Д не зависит от осевого момента инерции стержня, нет правильного ответа
- № 8 Что такое критическая сила?
- А максимальная сжимающая сила, при которой стержень сохраняет свою прочность
- В максимальная сжимающая сила, при которой стержень теряет упругость
- С максимальная сила, при которой стержень сохраняет устойчивость
- Д максимальная сила, при в стержне появляются пластические деформации
- № 9 Стержень теряет устойчивость...
- А В плоскости наибольшей жесткости
- В в плоскости наименьшей жесткости
- С в плоскости поперечного сечения
- Д нет правильного ответа
- № 10 При сжатии упругого стержня, показанного на рисунке, первая форма потери устойчивости имеет вид:

