

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Направление/специальность подготовки	15.03.03 Прикладная механика
Специализация/профиль/программа подготовки	Цифровое моделирование механических систем и процессов
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Заочная
Факультет	И Робототехника и инновационная инженерия
Выпускающая кафедра	ИЗ Механика деформируемого твердого тела
Кафедра-разработчик рабочей программы	ИЗ 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	
3	5	4	144	8	4	0	4	136	0	0	136	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**15.03.03 Прикладная механика**

год набора группы: 2026

Программу составили:

Кафедра НЗ Механика деформируемого твердого тела  
Санников Владимир Антонович, д.т.н., доцент, профессор

\_\_\_\_\_

Кафедра НЗ Механика деформируемого твердого тела  
Воронов Алексей Сергеевич, ассистент

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **НЗ Механика деформируемого твердого тела**

Заведующий кафедрой Крутова В.А., д.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**НЗ Механика деформируемого твердого тела**

Заведующий кафедрой Крутова В.А., д.т.н., доц.

\_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА**

### **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:

ПК-8.1 — Способен применять CAD/CAE технологии при моделировании поведения элементов механических систем, необходимом для решения производственных проектно-конструкторских задач

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПК-8.1**

*знания:*

Методы расчета на прочность и жесткость деформируемых твердых тел в общем случае нагружения;;

*умения:*

Интерпретировать полученные результаты с точки зрения профессиональной деятельности;;

*навыки:*

Давать заключение по прочности, жесткости и устойчивости различных конструкций в стандартных и нестандартных условиях эксплуатации;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.03.03 Прикладная механика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, ФИЗИКА, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, УЧЕБНЫЙ ПРАКТИКУМ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА МАШИН, ИСПЫТАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ, СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА МАШИН, ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ, УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ МЕХАНИКИ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕХАНИКА**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-1 — Способен применять естественнонаучные и общинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности
- ОПК-11 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии
- ОПК-12 — Способен учитывать современные тенденции развития техники и технологий в своей профессиональной деятельности
- ОПК-2 — Способен применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 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	Лекции	Практические занятия		ПК-8.1
3	5	<b>Раздел 1. Теория напряжений.</b> Введение. Понятие внутренних напряжений. Тензор напряжений. Главные напряжения. Шаровый тензор, тензор-девиатор. Круг Мора. Типы напряженных состояний: линейное, плоское и объемное напряженные состояния. Интенсивность напряжений.	4	4	2	2	0	50
3	5	<b>Раздел 2. Теория деформаций.</b> Понятие деформаций. Тензор малых деформаций. Главные деформации. Шаровый тензор деформаций, тензор-девиатор деформаций. Связь между напряжениями и деформациями. Обобщенный закон Гука. Интенсивность деформаций. Теории прочности.	140	4	2	2	136	50
<b>Всего за 5 семестр</b>			144	8	4	4	136	100
<b>Всего по дисциплине</b>			144	8	4	4	136	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Теория напряжений.	Расчет главных напряжений для разных типов напряженного состояния	2
2	Раздел 2. Теория деформаций.	Анализ напряженно-деформированного состояния в окрестности точки деформируемого тела	2
<b>Всего за 5 семестр</b>			4

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

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 2. Теория деформаций.	Анализ напряженно-деформированного состояния в окрестности точки деформируемого твердого тела	136
<b>Всего за 5 семестр</b>			136

### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

### 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. М. Мишин, С. И. Арсеньев, К. С. Билибин. . Численные методы в сопротивлении материалов и основах теории упругости. Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1989, 62 экз.
2. В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.

#### 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. <https://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://library.voenmeh.ru/jirbis2/> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова;
3. <https://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов..

### 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. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Проектор;
2. Интерактивная доска;
3. 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 **МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.03.03 Прикладная механика*. Дисциплина реализуется на факультете *Н Робототехника и инновационная инженерия* БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *Н3 Механика деформируемого твердого тела*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПК-8.1 Способен применять CAD/CAE технологии при моделировании поведения элементов механических систем, необходимом для решения производственных проектно-конструкторских задач.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с аналитическим и численным решением основных задач механики деформируемого твердого тела.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- индивидуальное практическое задание;
- вопросы к экзамену.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **4 з.е., 144 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**4 ч.**), практические занятия (**4 ч.**), самостоятельная работа студента (**136 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 144 ч., из них 8 ч. аудиторных занятий, и 136 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.
<b>Раздел 2. Теория деформаций.</b>		
Анализ напряженно-деформированного состояния в окрестности точки деформируемого твердого тела	А. М. Мишин, С. И. Арсеньев, К. С. Билибин. . Численные методы в сопротивлении материалов и основах теории упругости: Л.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1989 (1-5) Р. Галлагер. . Метод конечных элементов. Основы: М.: Мир, 1984 (1-13) В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1-3)	136
Итого по разделу 2		136

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- вопросы к экзамену;
- индивидуальное практическое задание;
- экзамен.

### 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.

#### Вопросы к экзамену

1. Простейшие типы напряженных состояний. Примеры.
2. Тензор напряжений. Компоненты тензора напряжений.
3. Тензор деформаций. Компоненты тензора деформаций.
4. Главные напряжений. Определение и методы их определения.
5. Связь компонент тензора напряжений и тензора деформаций. Закон Гука.
6. Плоские задачи МДТТ. Задача Кирша.
7. Плоские задачи МДТТ. Задача Ляме.
8. Плоские задачи МДТТ. Задача Буссинеска.
9. Изгиб круглых осесимметричных пластин;
10. Суть метода конечных элементов.
11. Плоский конечный элемент. Формулировка для плоского напряженного состояния.
12. Плоский конечный элемент. Формулировка для плоского деформированного состояния.
13. Плоский конечный элемент. Формулировка для осесимметричной задачи

#### Индивидуальное практическое задание

ИПЗ размещено в соответствующем курсе в ЭИОС Moodle.voenmeh.ru

Практические задания оформляются в соответствии с ГОСТ 7.32-2017 и предоставляются в электронном или печатном виде в установленные технологической картой сроки.

Для того, чтобы задание было засчитано, оно должно быть выполнено без существенных ошибок.

#### Экзамен

Экзамен проходит в формате письменного ответа на вопросы. Каждому обучающемуся предлагается билет из 3-х вопросов.

Критерии оценивания:

Верный ответ на 1 вопрос - "Удовлетворительно"

Верные ответы на 2 вопроса - "Хорошо"

Верные ответы на все 3 вопроса - "Отлично"

В течении семестра действует балльно-рейтинговая система, в соответствии с которой по результатам работы в семестре обучающийся имеет право на получение оценки без сдачи экзамена.

Критерии перевода баллов в оценку в соответствии с БРС:

85 - 100 «Отлично»

75 – 84 «Хорошо»

60 - 74 «Удовлетворительно»

менее 60 - «Неудовлетворительно»

Паспорт фонда оценочных средств

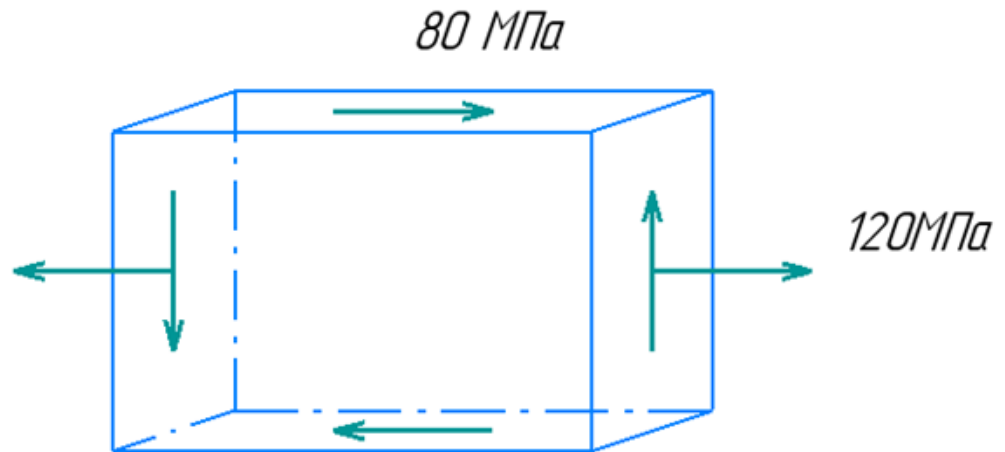
КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПК-8.1	
3	5	Раздел 1. Теория напряжений.	4	4	2	2	0	50	Вопросы к экзамену, Индивидуальное практическое задание
3	5	Раздел 2. Теория деформаций.	140	4	2	2	136	50	Индивидуальное практическое задание, Вопросы к экзамену
Всего за 5 семестр			144	8	4	4	136	100	
Всего по дисциплине			144	8	4	4	136	100	

**Оценочные материалы по дисциплине МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО  
ТВЕРДОГО ТЕЛА**

**ПК-8.1 - Способен применять CAD/CAE технологии при моделировании поведения элементов механических систем, необходимом для решения производственных проектно-конструкторских задач**

№ 1 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Определить первое главное напряжение для указанного напряженного состояния. Ответ дать в мегапаскалях без указания размерности



№ 2 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Чему равен первый инвариант тензора напряжений? Ответ привести без указания размерности

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} 100 & -10 & 20 \\ -10 & 40 & 50 \\ 20 & 50 & -50 \end{pmatrix}$$

№ 3 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте формулировку гипотезы и ее название

Гипотеза сплошности	Свойства материала одинаковы в каждой точке тела
Гипотеза упругости	Объем тела заполнен материалом без пор и пустот
Гипотеза изотропности	Конструкция восстанавливает исходные размеры и форму после снятия внешних нагрузок
Гипотеза однородности	Свойства материала одинаковы во все стороны
	Вдали от мест приложения сосредоточенных нагрузок характер распределения напряжений равномерный

№ 4 Прочитайте текст и установите соответствие

Сопоставьте формулировку гипотезы прочности и ее описание

Первая гипотеза прочности	Предельное состояние возникает тогда, когда максимальные продольные деформации достигают критического значения
Вторая гипотеза прочности	Предельное состояние возникает тогда, когда удельная потенциальная энергия формоизменения достигает критического значения
Третья гипотеза прочности	Предельное состояние возникает тогда, когда максимальные продольные напряжения достигают критического значения
Четвертая	Предельное состояние возникает тогда, когда максимальные

гипотеза касательные напряжения достигают критического значения  
прочности

№ 5 Прочитайте текст и установите последовательность

Укажите последовательность этапов численного решения задачи термпрочности

1. Анализ результатов;
2. Создание геометрической модели;
3. Создание конечно-элементной модели;
4. Решение температурной задачи;
5. Решение структурной задачи;
6. Импорт результатов решения температурной задачи как граничных условий для структурной задачи;

№ 6 Прочитайте текст и установите последовательность

Укажите последовательность этапов численного решения задачи о прочности болтового соединения

1. Создание конечно-элементной модели;
2. Задание шага расчета с предзатяжкой болтов;
3. Задание шага с внешними силами;
4. Создание геометрической модели;
5. Анализ результатов;
6. Вывод результатов по контактной паре;
7. Формирование контактной пары и типа контакта;

№ 7 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Какой тип напряженного состояния реализуется, если  $\sigma_1 \neq 0$ ,  $\sigma_2 = 0$ ,  $\sigma_3 \neq 0$ ?

1. Плоское;
2. Одноосное (линейное);
3. Объемное;
4. Всестороннее сжатие

№ 8 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

По своему физическому смыслу шаровый тензор отвечает за...

1. Изменение объема;
2. Изменение формы;
3. Изменение объема и формы;
4. Физический смысл отсутствует

№ 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа

Основное уравнение МКЭ имеет вид...

$$[K]\{\delta\} = \{P\}$$

$$[K]\{P\} = \{\delta\}$$

$$([T_\sigma] - sE)\{v\} = 0$$

$$[K]^{-1}\{\delta\} = \{P\}$$

№ 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие упругие характеристики можно использовать для решения задачи механики деформируемого твердого тела?

1. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона;

2. Коэффициент Пуассона и модуль объемной упругости;
3. Модуль сдвига и модуль Юнга;
4. Модуль Юнга и коэффициент линейного температурного расширения;
5. Предел текучести и модуль объемной упругости

№ 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие физико-механические свойства материала необходимо задать в ANSYS для численного решения структурной задачи с учетом сил инерции?

1. Модуль Юнга;
2. Предел текучести;
3. Предел прочности;
4. Плотность;
5. Коэффициент Пуассона.

№ 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов

Какие деформации можно выводить в ANSYS при численном решении задачи механики деформируемого твердого тела?

1. Осевые;
2. Сдвиговые;
3. Окружные;
4. Радиальные;
5. Температурные.