

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

«___» _____ 20__

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

Направление/специальность подготовки	15.03.03 Прикладная механика
Специализация/профиль/программа подготовки	Цифровой инжиниринг высокотехнологичных систем и процессов
Уровень высшего образования	Бакалавриат
Форма обучения	Очная
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	3	108	34	0	0	34	74	0	0	74	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
Титух Игорь Николаевич, к.т.н., доцент, доцент

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 ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

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:

ОПК-11 — Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

ОПК-11

знания:

Знать уравнения равновесия в напряжениях (уравнения Навье-Коши), геометрические соотношения Коши, физические уравнения (обобщённый закон Гука) для изотропного линейно-упругого тела, а также условия совместности деформаций (уравнения Сен-Венана).;

умения:

Уметь записывать граничные условия в напряжениях на поверхности тела, заданной внешней нормалью и поверхностной нагрузкой, а также упрощать общие уравнения для частных случаев (осесимметричная задача, плоская деформация).;

навыки:

Владеть решением осесимметричной задачи теории упругости (толстостенный цилиндр под давлением) через функцию напряжений Эри в полярных координатах

$\Phi(r)$ с получением радиальных и окружных напряжений по формуле Ляме..

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.03.03 Прикладная механика*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ, ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА, ФИЗИКА, ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА, НАЧЕРТАТЕЛЬНАЯ ГЕОМЕТРИЯ, МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В МЕХАНИКЕ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА, ДИНАМИКА МАШИН, КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ, МЕХАНИКА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ В МЕХАНИКЕ СПЛОШНЫХ СРЕД, СТАТИСТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА И ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ, СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА МАШИН, ТЕОРИЯ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПОЛЗУЧЕСТИ, УРАВНЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ, УСТОЙЧИВОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, 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

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 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	Практические занятия		ОПК-11
3	5	Раздел 1. Теория напряжений. 1. Введение. Основные гипотезы и допущения линейной теории упругости; 2. Напряженное состояние в точке тела; 3. Понятие о тензоре напряжений и его разложение на шаровой тензор и тензор-девиатор; 4. Главные напряжения и главные площадки; 5. Круговая диаграмма и основные свойства напряженного состояния в точке тела; 6. Напряженные состояния, типичные для задач инженерной практики; 7. Исследование напряженных состояний.	22	8	8	14	20
3	5	Раздел 2. Теория деформаций. 1. Перемещения и деформации; 2. Исследование деформаций в точке; 3. Тензор малых деформаций. Соотношения Коши; 4. Главные деформации; 5. Разложение тензора деформаций на шаровую и девиаторную части; 6. Связь тензора напряжений и тензора деформаций. Закон Гука; 7. Потенциальная энергия деформаций; 8. Условие совместности деформаций.	23	8	8	15	20
3	5	Раздел 3. Плоская задача теории упругости в декартовой системе координат. 1. Понятия плоского напряженного и плоского деформированного состояний; 2. Дифференциальные уравнения теории упругости для плоского напряженного состояния в декартовой системе координат. Закон Гука, соотношения Коши, уравнения равновесия Навье; 3. Условие совместности деформаций для плоского напряженного состояния; 4. Плоская задача теории упругости в перемещениях и в напряжениях; 5. Условия на поверхности (граничные условия в напряжениях); 6. Бигармоническое уравнение. Функция напряжений. Методы введения функции напряжений (ряды Фурье, полиномы); 7. Классические плоские задачи теории упругости. Чистый сдвиг, одноосное и двусосное растяжение-сжатие, чистый изгиб. Их комбинации; 8. Определение деформаций и перемещений в плоской задаче теории упругости. Влияние сдвиговых деформаций на перемещения. Балка Тимошенко.	23	8	8	15	20
3	5	Раздел 4. Плоская задача теории упругости в полярной системе координат. 1. Записи основных дифференциальных уравнений теории упругости в полярной системе координат; 2. Бигармоническое уравнение в полярной системе координат; 3. Разрешающие полиномы; 4. Задача Ляме. Частные случаи. Пластина с отверстием при внутреннем давлении. Посадка с натягом; 5. Чистый изгиб криволинейного бруса. Определение перемещений. Сравнение с методами сопротивления материалов.	21	6	6	15	20
3	5	Раздел 5. Приближенные методы прикладной теории упругости. 1. Теорема о минимуме потенциальной энергии; 2. Метод Ритца; 3. Приемы, основанные на приближенном решении дифференциальных уравнений; 4. Метод Бубнова-Галеркина; 5. Способ минимума квадратичного уклонения.	19	4	4	15	20
Всего за 5 семестр			108	34	34	74	100
Всего по дисциплине			108	34	34	74	100

3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Теория напряжений.	Определение главных напряжений	2
2		Исследование напряженно-деформированного состояния в точке деформируемого твердого тела	6
3	Раздел 2. Теория деформаций.	Определение главных деформаций	2
4		Исследование напряженно-деформированного состояния в точке деформируемого твердого тела	6
5	Раздел 3. Плоская задача теории упругости в декартовой системе координат.	Исследование напряженно-деформированного состояния пластины при плоском напряженном состоянии	6
6		Расчет перемещений при плоском напряженном состоянии	2
7	Раздел 4. Плоская задача теории упругости в полярной системе координат.	Исследование напряженно-деформированного состояния толстостенной трубы при действии внутреннего и внешнего давления	6
8	Раздел 5. Приближенные методы прикладной теории упругости.	решение одномерных задач теории упругости методом Ритца	4
Всего за 5 семестр			34

3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Теория напряжений.	Изучение литературы по тематике дисциплины	14
2	Раздел 2. Теория деформаций.	Выполнение индивидуального практического задания	10
3		Изучение литературы по тематике дисциплины	5
4	Раздел 3. Плоская задача теории упругости в декартовой системе координат.	Выполнение индивидуального практического задания	10
5		Изучение литературы по тематике дисциплины	5
6	Раздел 4. Плоская задача теории упругости в полярной системе координат.	Изучение литературы по тематике дисциплины	15
7	Раздел 5. Приближенные методы прикладной теории упругости.	Изучение литературы по тематике дисциплины	10
8		Подготовка к экзамену	5
Всего за 5 семестр			74

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
5					ИПЗ	ДР			ИПЗ	ДР						ДР	Вопр. Экз

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- ИПЗ – индивидуальное практическое задание;
- Вопр. Экз – вопросы к экзамену.

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. В. А. Санников, Л. А. Флоренский, С. П. Яковлев ; ред. В. А. Санников ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Теория упругости. Ч. 2 Прикладные задачи теории упругости. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.
2. В. А. Санников, Л. А. Флоренский, С. П. Яковлев ; ред. В. А. Санников ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Теория упругости. Ч. 1 Основные соотношения и методы расчёта. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, эл. рес.
3. 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://urait.ru/> — Главная – Образовательная платформа Юрайт. Для вузов и ссузов.;
3. <https://library.voenmeh.ru/jirbis2/> — 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 - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/>- КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

5.5. Программное обеспечение:

не требуется.

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. Проектор;
2. Интерактивная доска.

6.2. 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 **ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *15.03.03 Прикладная механика*. Дисциплина реализуется на факультете *И Робототехника* и инновационная инженерия БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой *НЗ Механика деформируемого твердого тела*.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-11 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с точным решением задач механики деформируемого твердого тела и построении алгоритмов их численного решения.

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 **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены практические занятия (**34 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч.**).

ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 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. Теория напряжений.		
Изучение литературы по тематике дисциплины	В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1-5) В. А. Санников, Л. А. Флоренский, С. П. Яковлев ; ред. В. А. Санников ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Теория упругости. Ч. 1 Основные соотношения и методы расчёта: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1-2) В. А. Санников, Л. А. Флоренский, С. П. Яковлев ; ред. В. А. Санников ; БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова. Теория упругости. Ч. 2 Прикладные задачи теории упругости: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (1-2)	14
Итого по разделу 1		14
Раздел 2. Теория деформаций.		
Выполнение индивидуального практического задания	В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1-4)	10
Изучение литературы по тематике дисциплины		5
Итого по разделу 2		15
Раздел 3. Плоская задача теории упругости в декартовой системе координат.		
Выполнение индивидуального практического задания	В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1-4)	10
Изучение литературы по тематике дисциплины		5
Итого по разделу 3		15
Раздел 4. Плоская задача теории упругости в полярной системе координат.		
Изучение литературы по тематике дисциплины	В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1-4)	15
Итого по разделу 4		15
Раздел 5. Приближенные методы прикладной теории упругости.		
Изучение литературы по тематике дисциплины	В. Я. Молотников, А. А. Молотникова. . Теория упругости и пластичности: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1-4)	10
Подготовка к экзамену		5
Итого по разделу 5		15

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 напряжения. 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 были 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 - «Неудовлетворительн

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме		Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Практические занятия		ОПК-11	
3	5	Раздел 1. Теория напряжений.	22	8	8	14	20	Вопросы к экзамену
3	5	Раздел 2. Теория деформаций.	23	8	8	15	20	Вопросы к экзамену, Индивидуальное практическое задание
3	5	Раздел 3. Плоская задача теории упругости в декартовой системе координат.	23	8	8	15	20	Вопросы к экзамену, Индивидуальное практическое задание
3	5	Раздел 4. Плоская задача теории упругости в полярной системе координат.	21	6	6	15	20	Вопросы к экзамену
3	5	Раздел 5. Приближенные методы прикладной теории упругости.	19	4	4	15	20	Вопросы к экзамену
Всего за 5 семестр			108	34	34	74	100	
Всего по дисциплине			108	34	34	74	100	

ОПК-11 - Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

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

Что представляет собой первый инвариант тензора напряжений

- А) Величину, пропорциональную изменению объёма элементарного параллелепипеда (для линейно-упругого тела).
- Б) Касательное напряжение октаэдрической площадки.
- В) Интенсивность напряжений по Мизесу.
- Г) Максимальное главное напряжение.

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

Какое уравнение является необходимым и достаточным условием для того, чтобы заданные в области компоненты тензора деформаций соответствовали некоторому полю перемещений (в односвязной области)?

- А) Уравнения равновесия Навье.
- Б) Уравнения совместности деформаций Сен-Венана (Бельтрами-Мичелла).
- В) Уравнение Лапласа для объёмной деформации.
- Г) Уравнения Коши.

№ 3 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Если на поверхности заданы компоненты вектора поверхностных сил, то заданы...

№ 4 Прочитайте текст и запишите развернутый обоснованный ответ

Уравнение вида

$$\nabla^2(\sigma_x + \sigma_y) = 0$$

это - ...

№ 5 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между компонентами тензора напряжений в декартовых координатах и их физическим смыслом относительно элементарного параллелепипеда.

Компонента	Физический смысл
1. σ_{xx}	А. Касательное напряжение на грани, перпендикулярной оси x, действующее в направлении оси z
2. σ_{yz}	Б. Касательное напряжение на грани, перпендикулярной оси y, действующее в направлении оси z
3. τ_{xy}	В. Нормальное напряжение на грани, перпендикулярной оси x
4. σ_{zz}	Г. Касательное напряжение на грани, перпендикулярной оси x, действующее в направлении оси y (обозначение σ_{xy})
5. τ_{zx}	Д. Нормальное напряжение на грани, перпендикулярной оси z

№ 6 Прочитайте текст и установите соответствие

Установите соответствие между видом напряжённо-деформированного состояния и характерным примером (или условием его возникновения).

Тип НДС	Пример / условие
1. Плоское напряжённое состояние (ПНС)	А. Длинная цилиндрическая труба под внутренним давлением (далеко от торцов)
2. Плоское деформированное состояние (ПДС)	Б. Тонкая пластина, нагруженная в своей плоскости, при отсутствии нагрузок на лицевых поверхностях
3. Объёмное (трёхосное) напряжённое состояние	В. Кручение круглого вала (чистый сдвиг)
4. Чистый сдвиг	Г. Гидростатическое сжатие элементарного объёма
5. Осесимметричное состояние	Д. Точка на поверхности полупространства под действием сосредоточенной силы (зона сложного НДС)

№ 7 Прочитайте текст и установите последовательность

Расположите в правильной последовательности этапы решения плоской задачи теории упругости с использованием функции напряжений Эри $\Phi(x,y)$ (метод обратного или полубратного метода):

1. Проверка выполнения граничных условий на контуре тела (силовых) путём вычисления напряжений на краю.

2. Подбор вида функции $\Phi(x,y)$ (полином, тригонометрический ряд и т.д.), содержащей неизвестные константы.
 3. Вычисление компонентов тензора напряжений
 4. Определение неизвестных констант из граничных условий и, при необходимости, из условий однозначности перемещений (для многосвязных областей).
 5. Проверка, что функция Φ удовлетворяет бигармоническому уравнению
- № 8 Прочитайте текст и установите последовательность
- Установите последовательность математических операций при выводе уравнений Ламе (уравнений равновесия в перемещениях) для изотропного упругого тела из общих уравнений теории упругости:**
1. Запись уравнений равновесия в напряжениях
 2. Подстановка закона Гука (обобщённого) в выражения для напряжений через деформации.
 3. Выражение деформаций через перемещения с помощью соотношений Коши
 4. Упрощение полученных дифференциальных уравнений с использованием оператора Лапласа и градиента объёмной деформации
 5. Получение итоговой формы уравнений Ламе
- № 9 Прочитайте текст, выберите правильный ответ и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответа
- В решении задачи о кручении стержня круглого поперечного сечения, полученном методом функции напряжений Прандтля, функция напряжений $F(x,y)$ имеет вид:**

А) $F = k(R^2 - x^2 - y^2)$, где k — константа.

Б) $F = k(x^2 + y^2)$.

В) $F = 0$.

Г) $F = k \cos \frac{\pi x}{2R} \cos \frac{\pi y}{2R}$.

- № 10 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какие из перечисленных соотношений и утверждений относятся к обобщённому закону Гука для линейно-упругого изотропного материала?**

1. $\epsilon_{xx} = \frac{1}{E} [\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})]$

2. $\epsilon_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{2G}$

3. $\sigma_{ij} = 2\mu\epsilon_{ij} + \lambda\epsilon_{kk}\delta_{ij}$ (в форме Ламе)

4. Закон справедлив только для малых деформаций (линейная теория упругости).

5. Закон Гука в дифференциальной форме связывает скорости напряжений и скоростей деформаций.

- № 11 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Для бигармонического уравнения, которому удовлетворяет функция напряжений Эри в плоской задаче без объёмных сил, справедливы следующие утверждения:**

(Выберите все верные варианты)

1. Решение может быть представлено в виде суммы гармонической и бигармонической функций.
2. Любая линейная функция $\Phi = Ax + By + C$ является решением.
3. Полином третьей степени от x и y не может быть решением, так как его четвертые производные равны нулю.
4. Функция вида $\Phi = r \ln r$ (в полярных координатах) является решением.
5. Уравнение является эллиптическим.

- № 12 Прочитайте текст, выберите правильные ответы и запишите аргументы, обосновывающие выбор ответов
- Какие из перечисленных вариационных принципов используются в теории упругости для получения приближённых решений (например, методом Ритца или конечных элементов)?**

(Выберите все верные варианты)

1. Принцип возможных перемещений (Лагранжа).
2. Принцип минимума потенциальной энергии.
3. Принцип Кастильяно (минимум дополнительной энергии).
4. Принцип Гамильтона-Остроградского.

