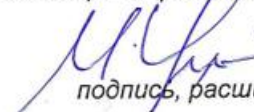


МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
теоретической физики

*наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины*

 (Фролов М.В.)  
*подпись, расшифровка подписи*

22.04.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.О.14 Сопротивление материалов**

**1. Код и наименование специальности:**

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

**2. Специализация:**

Проектирование и эксплуатация атомных станций

**3. Квалификация выпускника:** инженер – физик

**4. Форма обучения:** очная

**5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**

теоретической физики

**6. Составители программы:**

к.ф.-м.н., доцент Каменский Александр Анатольевич

**7. Рекомендована:**

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №4 от 18.04.2024 г.

**8. Учебный год:** 2025 - 2026

**Семестр(ы):** 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- изучение методов расчета на прочность, жесткость и устойчивость изделий и конструкций

Задачи учебной дисциплины:

- овладение навыками выполнения таких расчетов при различных видах напряженного состояния и различных условиях силового и температурного воздействия

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Данная дисциплина входит в модуль «Обязательная часть». Студенты должны обладать знаниями дисциплины «Высшая математика» этого же модуля.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способность использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования	ОПК-1.7	Строит математические модели для простейших систем и процессов в естествознании и технике	<p>Знать: теоретические положения, лежащие в основе расчета конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.</p> <p>Уметь: производить типовые расчеты на прочность, жесткость и устойчивость.</p> <p>Владеть: методиками проектных и проверочных расчетов инженерных конструкций и сооружений.</p>
		ОПК-1.9	Способен к анализу физических явлений и процессов в технических устройствах и системах	

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. (в соответствии с учебным планом) — 3/108.

Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен) зачет с оценкой

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		3
Аудиторные занятия	68	68
в том числе:	лекции	34
	практические	34
	лабораторные	
Самостоятельная работа	40	40
в том числе: курсовая работа (проект)		
Форма промежуточной аттестации (экзамен — __ час.)	зачет с оценк.	зачет с оценк.
Итого:	108	108

### 13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК*
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Общие методы анализа напряженного состояния.	Модель прочностной надежности. Нормальные и касательные напряжения. Плоское напряженное состояние. Главные площадки при плоском напряженном состоянии. Главные напряжения при плоском напряженном состоянии. Наибольшие нормальные и касательные напряжения. "Объемное" напряженное состояние.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
1.2	Кинематика твердого тела.	Твердое тело в механике, угловая скорость. Кинетическая энергия твердого тела. Тензор инерции твердого тела в механике Момент импульса твердого тела, регулярная прецессия. Теорема Штейнера, примеры. Моменты сечений и другие геометрические характеристики.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
1.3	Теория деформаций	Линейная и угловая деформации. Формулы Коши для линейных и угловых деформаций. Главные направления и главные деформации (для случая плоской деформации). Тензор деформаций, аналогия с тензором напряжений.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
1.4	Модели нагружения призматического стержня и круглого вала.	Растяжение и сжатие призматического стержня на его торцах. Растяжение стержня с учетом собственного веса. Растяжение стержня в поле центробежных сил. Кручение круглого вала Разные случаи кручения вала. Кручение вала в упругопластической стадии. Главные напряжения вала при кручении и модели прочностной надежности.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
1.5	Изгиб стержня и потенциальная энергия деформации.	Изгиб стержня и гипотеза плоских сечений. Потенциальная энергия деформации. Потенциальная энергия деформации стержня с переменными параметрами при изгибе.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Общие методы анализа напряженного состояния.	Модель прочностной надежности. Нормальные и касательные напряжения. Плоское напряженное состояние. Главные площадки при плоском напряженном состоянии. Главные напряжения при плоском напряженном состоянии. Наибольшие нормальные и касательные напряжения. "Объемное" напряженное состояние.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
2.2	Кинематика твердого тела.	Твердое тело в механике, угловая скорость. Кинетическая энергия твердого тела. Тензор инерции твердого тела в механике Момент импульса твердого тела, регулярная прецессия. Теорема Штейнера, примеры. Моменты сечений и другие геометрические характеристики.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
2.3	Теория деформаций	Линейная и угловая деформации. Формулы Коши для линейных и угловых деформаций. Главные направления и главные деформации (для случая плоской деформации). Тензор деформаций, аналогия с тензором напряжений.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>
2.4	Модели нагружения призматического стержня и круглого вала.	Растяжение и сжатие призматического стержня на его торцах. Растяжение стержня с учетом собственного веса. Растяжение стержня в поле центробежных сил.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>

		Кручение круглого вала Разные случаи кручения вала. Кручение вала в упругопластической стадии. Главные напряжения вала при кручении и модели прочностной надежности.	
2.5	Изгиб стержня и потенциальная энергия деформации.	Изгиб стержня и гипотеза плоских сечений. Потенциальная энергия деформации. Потенциальная энергия деформации стержня с переменными параметрами при изгибе.	<a href="https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787">https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787</a>

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				Всего
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	
3 семестр						
	Общие методы анализа напряженного состояния.	8	8		8	16
	Кинематика твердого тела.	8	8		8	16
	Теория деформаций	6	6		8	14
	Модели нагружения призматического стержня и круглого вала.	6	6		8	14
	Изгиб стержня и потенциальная энергия деформации.	6	6		8	12
	Итого:	34	34		40	108

**14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:** (рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: указание наиболее сложных разделов, работа с конспектами лекций, презентационным материалом, рекомендации по выполнению курсовой работы, по организации самостоятельной работы по дисциплине и др.)

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<a href="#">Горбачев К.П.</a> Сопротивление материалов : конспект лекций / К.П. Горбачев ; Дальневост. федер. ун-т .– Москва : Проспект, 2016 .– 311с.
2	<i>Старовойтов, Э.И. Сопротивление материалов [Электронный ресурс]: Учеб. Для вузов / Старовойтов Э.И. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 384 с.</i> // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108836.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108836.html</a>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Биргер И.А. Сопротивление материалов: Учебное пособие / И.А. Биргер, Р.Р. Мавлюков –М.:Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит.,1986. –560 с.
4	Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. для вузов. / В.И. Феодосьев –М. Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана 1999. –562 с.
5	<a href="#">Саргсян А.Е.</a> Сопротивление материалов, теории упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов / А.Е. Саргсян .– 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа,

	2002 .– 285 с.
6	Беляев Н.М. Сборник задач по сопротивлению материалов / Н.М. Беляев, при участии Л.А. Беляевского, В.К. Качурина и др. М. 1968.- 352 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
7	<a href="http://www.lib.vsu.ru">www.lib.vsu.ru</a> - ЗНБ ВГУ

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы, онлайн-курсы, ЭУМК

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы** (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник

**17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):**

**18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, практического типа, текущего контроля и промежуточной аттестации  
Специализированная мебель

Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы  
Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

**19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций**

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Разделы 1.1 - 1.5, 2.1 - 2.5	ОПК-1	ОПК-1.7 ОПК 1.9	Контрольные работы
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет с оценкой				Список вопросов к зачету

**20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания**

**20.1. Текущий контроль успеваемости**

**Примеры заданий для контрольных работ**

**Контрольная работа №1**

1. Плоское напряжённое состояние задано напряжениями  $\sigma_x = 1500 \text{ кГ/см}^2$ ,  $\sigma_y = 1000 \text{ кГ/см}^2$ ,  $\tau_{xy} = 600 \text{ кГ/см}^2$ . Найти главные напряжения и максимальное касательное напряжение.
2. Две материальные точки массами  $4m$  и  $12m$  (постоянная  $m$  - дана) соединены

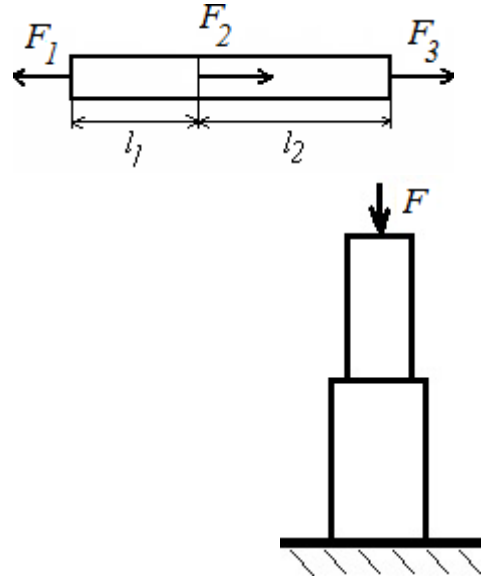


невесомым стержнем длины  $l$ . Найти главные моменты инерции (любым способом).

3. Найти кинетическую энергию квадратной рамки из одинаковых однородных стержней ( $m, l$ ), которая вращается с угловой скоростью  $\Omega$  вокруг оси симметрии, как показано на рисунке. (Момент инерции стержня взять из решённых задач).

### Контрольная работа №2

1. Медный стержень ( $E = 1 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>) нагружен в трех местах, как показано на рисунке.



$$F_1 = 2000 \text{ кг},$$

$$F_2 = 1000 \text{ кг},$$

$$F_3 = 1000 \text{ кг},$$

$$l_1 = 2 \text{ м},$$

$$l_2 = 4 \text{ м}. \text{ Найти полное удлинение стержня}$$

$\Delta l$ , если

площадь поперечного сечения  $S = 8 \text{ см}^2$ .

2. Сила  $F = 90$  тонн силы приложена к вершине ступенчатого столба *квадратного* сечения, который состоит из двух участков, высотой  $h$  каждый, как показано на рисунке. Удельный вес материала равен  $\gamma = 2 \text{ тонн/м}^3$ , а допускаемое напряжение  $[\sigma] = 10 \text{ кг/см}^2$ . Найти размеры сечений обоих участков.

3. Стержень из стали ( $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ ) длины 15 см и диаметром 25 мм закручивается на угол 0.01 радиан при нагружении его крутящим моментом, равным 2000 кгсм. Определить модуль сдвига  $G$  и коэффициент Пуассона  $\mu$ .

### Описание технологии проведения

На выполнение заданий контрольных работ выделяется по 1 академическому часу. При решении задач студентам разрешено пользоваться конспектами занятий.

### Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания)

Оценка «отлично»: *Подробные и решения всех задач с правильными ответами, допускаются незначительные вычислительные неточности.*

Оценка «хорошо»: *Подробные решения всех задач, допускается неполное выполнение отдельных заданий.*

Оценка «удовлетворительно»: *решение отдельных задач, допускаются неточности в выборе способа решения задачи.*

Оценка «неудовлетворительно»: *отсутствие правильно решенных задач.*

## 20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

### Перечень вопросов к зачету

1. Нормальные и касательные напряжения. Пример с тонкостенным цилиндром.
2. Плоское напряженное состояние. Напряжения в наклонной площадке.
3. Главные площадки и главные напряжения при плоском напряженном состоянии.
4. Наибольшие значения нормальных и касательных напряжений.
5. Твердое тело в механике его кинетическая энергия.
6. Тензор инерции твердого тела в механике.
7. Момент импульса твердого тела, прецессия.
8. Моменты сечений.
9. "Объемное" напряженное состояние. Главные напряжения и тензор напряжений.
10. Линейная и угловая деформации. Формулы Коши.
11. Главные направления и главные деформации (для случая плоской деформации). Тензор деформаций.
12. Диаграммы деформирования. Пределы упругости и текучести.
13. Предел прочности и истинные диаграммы деформирования.
14. Закон Гука для линейной деформации и деформации сдвига. Связь модуля упругости и модуля сдвига. Учет температурной деформации.
15. Растяжение и сжатие призматического стержня на его торцах.
16. Растяжение стержня с учетом собственного веса.
17. Растяжение стержня в поле центробежных сил. Пример условия надежности.

18. Кручение круглого вала. Относительный угол закрутки. Связь максимального касательного напряжения и крутящего момента.
19. Кручение полого вала (трубы), вала с переменными параметрами упругости и переменного сечения.
20. Кручение вала в упругопластической стадии. Две зоны деформации.
21. Главные напряжения вала при кручении и модели прочностной надежности.

### Описание технологии проведения

Зачет проводится в устной форме. Студенту предлагается 2 вопроса из списка вопросов, на которые он должен дать развернутый ответ в течение одного академического часа. В случае неудовлетворительных результатов текущего контроля успеваемости студент также получает дополнительное письменное задание.

### Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

Оценка «отлично»: подробные и безошибочные ответы на основные и дополнительные вопросы.

Оценка «хорошо»: подробные ответы на поставленные вопросы с мелкими ошибками.

Оценка «удовлетворительно»: неудовлетворительные ответы на один из основных и некоторые дополнительные вопросы.

Неудовлетворительно – плохое знание материала, неудовлетворительные ответы на большинство поставленных вопросов.

## 21. Фонд оценочных средств

### Тесты

1. Чему равен угол между главными наклонными площадками в плоском напряжённом состоянии?

Ответ: а) 0, б)  $\pi/4$ , **в)  $\pi/2$** , г)  $\pi$ .

2. При каком условии в плоском напряжённом состоянии получается бесконечное число главных площадок?

Ответ: а) при  $\sigma_x = \sigma_y$ , б) при  $\tau_{xy} = 0$ , **в) при  $\sigma_x = \sigma_y$  одновременно с  $\tau_{xy} = 0$** , г) при  $\sigma_x = \sigma_y = \tau_{xy} \neq 0$ .

3. Чему равен угол между наклонными площадками (в плоском напряжённом состоянии), если в одной из них касательное напряжение достигает максимального значения, а в другой равно нулю?

Ответ: а) 0, **б)  $\pi/4$** , в)  $\pi/2$ , г)  $\pi$ .

4. Для сечения в плоскости (x,y) определены статические моменты  $S_x$ ,  $S_y$ , осевые моменты инерции  $J_x$ ,  $J_y$ , центробежный  $J_{xy}$  и полярный  $J_p$  моменты инерции. Какие из этих моментов сечения могут принимать отрицательные значения?

Ответ: **а) только  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $J_{xy}$** ; б) только  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $J_p$ ; в) только  $J_x$ ,  $J_y$ ,  $J_{xy}$ ;

г) только  $J_x$ ,  $J_y$ ,  $J_p$ .

5. Чему равен полярный момент сечения  $J_p$ , если известны осевые моменты инерции  $J_x$ ,  $J_y$ ?



Ответ: а)  $J_p = (J_x + J_y)/2$ , б)  $J_p = J_x + J_y$ , в)  $J_p = |J_x - J_y|$ , г)  $J_p = \sqrt{J_x^2 + J_y^2}$ .

6. Твёрдое тело с главными моментами инерции  $I_x, I_y, I_z$  совершает только вращательное движение вокруг оси  $u$  с угловой скоростью  $\omega$ . Чему равна его кинетическая энергия?

Ответ: а)  $I_x \omega^2$ , б)  $I_y \omega^2$ , в)  $I_x \omega^2/2$ , г)  $I_y \omega^2/2$ .

7. Твёрдое тело с главными моментами инерции  $I_x, I_y, I_z$  совершает вращательное движение с угловой скоростью  $\omega = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ . Чему равен его собственный момент импульса?

Ответ: а)  $L = (I_x \omega_x/2, I_y \omega_y/2, I_z \omega_z/2)$ , б)  $L = (I_x \omega_x, I_y \omega_y, I_z \omega_z)$ ,

в)  $L = (I_x \omega_x^2, I_y \omega_y^2, I_z \omega_z^2)$ , г)  $L = (I_x \omega_x^2/2, I_y \omega_y^2/2, I_z \omega_z^2/2)$ .

8. От какой величины зависит нормальное напряжение на диаграмме деформирования при растяжении?

Ответ: а) от касательного напряжения, б) от линейной деформации, в) от деформации сдвига, г) от модуля упругости.

9. Клеть подъёмника подвешена на тросе. В каком поперечном сечении троса нормальное напряжение максимально?

Ответ: а) в самой верхней части троса, б) в середине троса, в) в самой нижней части троса, г) одинаково по всей длине троса.

10. Как соотносятся продольная деформация  $\varepsilon$  и связанная с ней поперечная деформация  $\varepsilon_{\perp}$ , если известен коэффициент Пуассона  $\mu$ ?

Ответ: а)  $\varepsilon = \mu \varepsilon_{\perp}$ , б)  $\varepsilon = -\mu \varepsilon_{\perp}$ , в)  $\varepsilon_{\perp} = \mu \varepsilon$ , г)  $\varepsilon_{\perp} = -\mu \varepsilon$ .

11. Как связаны модуль упругости  $E$  и модуль сдвига  $G$  для одного и того же материала, если известен коэффициент Пуассона  $\mu$ ?

Ответ: а)  $G = \frac{2E}{1+\mu}$ , б)  $G = \frac{E}{1+\mu}$ , в)  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ , г)  $G = \frac{E}{2+\mu}$ .

12. Сплошной вал диаметра  $d$  сделан из материала с пределом текучести  $\tau_T$ . При каком максимальном крутящем моменте  $M_{kT}^{ypp}$  деформацию сдвига можно считать упругой по всему образцу?

Ответ: а)  $M_{kT}^{ypp} = \tau_T \pi d^2/4$ , б)  $M_{kT}^{ypp} = \tau_T \pi d^3/8$ , в)  $M_{kT}^{ypp} = \tau_T \pi d^3/16$ ,

г)  $M_{kT}^{ypp} = \tau_T \pi d^4/16$ .

13. Стержень растянут силой  $F$  на длину  $\Delta l$ . Чему равна потенциальная энергия деформации?

Ответ: а)  $U = F \Delta l$ , б)  $U = F \Delta l/2$ , в)  $U = F(\Delta l)^2/2$ , г)  $U = F(\Delta l)^2$ .

14. Стержень из материала с модулем упругости  $E$  растянут так, что линейная деформация равна  $\varepsilon$ . Чему равна удельная потенциальная энергия деформации?

Ответ: а)  $u = E \varepsilon$ , б)  $u = E \varepsilon/2$ , в)  $u = E \varepsilon^2/2$ , г)  $u = E \varepsilon^2$ .

15. На стержень, расположенный вдоль оси  $z$ , действует изгибающий момент силы  $M_x$ . Как нормальное напряжение в поперечном сечении зависит от координаты  $y$ , если известен осевой момент инерции  $J_x$ ?

Ответ: а)  $\sigma = yM_x/J_x$ , б)  $\sigma = yM_x/J_x$ , в)  $\sigma = y^2M_x/J_x$ , г)  $\sigma = y^2M_x/J_x$ .

### Задачи

1. К нижнему концу троса, закрепленного верхним концом, подвешен груз весом 7,5 тонны. Трос составлен из проволок диаметром 2 мм. Допускаемое напряжение для материала троса равно  $[\sigma] = 3000$  кГ/см<sup>2</sup>. Из какого количества проволок должен быть составлен трос?

Ответ: 80 проволок

2. Стержень диаметром  $d$  растянут усилием  $F$ . Определить величину нормального напряжения по сечению, нормаль к которому составляет угол  $\alpha$  с осью стержня.

Ответ:  $\sigma_\alpha = \frac{F \cos \alpha}{S / \cos \alpha} = \frac{4F}{\pi d^2} \cos^2 \alpha$

3. Стержень диаметром  $d$  растянут усилием  $F$ . Определить величину касательного напряжения по сечению, нормаль к которому составляет угол  $\alpha$  с осью стержня.

Ответ:  $\tau_\alpha = \frac{F \sin \alpha}{S / \cos \alpha} = \frac{4F}{\pi d^2} \sin \alpha \cos \alpha$

4. Для некоторой площадки нормальное и касательное напряжения равны соответственно  $\sigma_\alpha = 400$  кГ/см<sup>2</sup>,  $\tau_\alpha = 300$  кГ/см<sup>2</sup>. Найти полное механическое напряжение в этой площадке.

Ответ:  $p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = 500$  кГ/см<sup>2</sup>

5. Даны главные напряжения  $\sigma_1 = 800$  кГ/см<sup>2</sup> и  $\sigma_2 = 300$  кГ/см<sup>2</sup> в плоском напряжённом состоянии, чему равно максимальное касательное напряжение?

Ответ:  $\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_2) / 2 = 250$  кГ/см<sup>2</sup>

6. Вычислить полярный момент поперечного сечения сплошного цилиндра диаметром  $d$ .

Ответ:  $J_p = \iint_S (x^2 + y^2) ds = \iint_S r^2 ds = \frac{\pi d^4}{32}$

7. Вычислить полярный момент поперечного сечения цилиндрической трубы, у которой внутренний и внешний диаметры соответственно равны  $d_0$  и  $d$ .

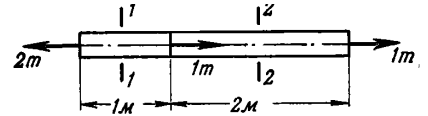
Ответ:  $J_p = \frac{\pi d^4}{32} - \frac{\pi d_0^4}{32}$

8. Две проволоки, одна стальная, другая медная, имеют одинаковую длину и нагружены одинаковыми осевыми растягивающими усилиями. Медная проволока имеет диаметр 1 мм. Чему равен диаметр стальной проволоки, если обе проволоки удлиняются на

одинаковую величину? Модули упругости  $E$  стали и меди считать  $2 \cdot 10^6$  кГ/см<sup>2</sup> и  $1 \cdot 10^6$  кГ/см<sup>2</sup> соответственно.

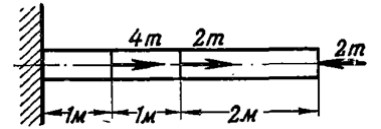
Ответ:  $d_{ст} = d_{мед} \sqrt{E_{мед}/E_{ст}} \approx 0.71$  мм

9. Определить полную деформацию изображённого на рисунке стального стержня ( $E = 2 \cdot 10^6$  кГ/см<sup>2</sup>), если поперечное сечение равно 4 см<sup>2</sup>.



Ответ:  $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 = l_1 \frac{\sigma_1}{E} + l_2 \frac{\sigma_2}{E} = \frac{1}{E} (1 \cdot 500 + 2 \cdot 250) \text{кГ/см}^2 = 0.5 \text{мм}$

10. Определить полную деформацию изображённого на рисунке стального стержня ( $E = 2 \cdot 10^6$  кГ/см<sup>2</sup>), если поперечное сечение равно 10 см<sup>2</sup>.



Ответ:  $\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = l_1 \frac{\sigma_1}{E} + 0 + l_3 \frac{\sigma_3}{E} = \frac{1}{E} (1 \cdot 400 - 2 \cdot 200) \text{кГ/см}^2 = 0$

11. Стальной стержень подвешен вертикально за верхний конец и нагружен только собственным весом. Удельный вес стали равен  $\gamma = 7.85 \text{т/м}^3$ . Какова наибольшая допустимая длина стержня, если напряжение не должно превышать  $[\sigma] = 300$  кГ/см<sup>2</sup>?

Ответ:  $[l] = [\sigma]/\gamma = 38220 \text{ см} = 382.2 \text{ м}$

12. Определить размеры поперечного сечения квадратного каменного столба высотой 10 м, центрально нагруженного силой 50 т. Допускаемое напряжение на сжатие  $[\sigma] = 10$  кГ/см<sup>2</sup>. Удельный вес кладки равен  $\gamma = 2 \text{т/м}^3$ .

Ответ:  $[\sigma] = \sigma(0) = \frac{F}{s} + \gamma h$ , следовательно  $s = \frac{F}{[\sigma] - \gamma h} = 6250 \text{ см}^2 \approx 79 \times 79 \text{ см}^2$

13. Получить объёмную деформацию  $\varepsilon_V = \Delta V/V$ , если известны линейные деформации  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$ ,  $\varepsilon_z$ . Все величины считать малыми.

Ответ:  $\varepsilon_V = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$

14. Однородный круглый вал закручен моментом силы  $M_k$ . Чему равно касательное напряжение в поперечном сечении на расстоянии  $r$  от оси вала? Полярный момент сечения  $J_p$  считать известным.

Ответ:  $\tau = M_k r / J_p$

15. Однородный круглый вал подвергается воздействию внешнего крутящего момента  $M_k$ . Чему равен угол закрутки на единицу длины вала? Полярный момент сечения  $J_p$  и модуль сдвига материала  $G$  считать известными.

Ответ:  $\theta = M_k / (G J_p)$