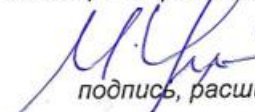


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
теоретической физики

наименование кафедры, отвечающей за реализацию дисциплины

 (Фролов М.В.)
подпись, расшифровка подписи

16.06.2023 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 №6 от 14.06.2023 г.

8. Учебный год: 2024 - 2025

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*
1. Лекции			
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
2. Практические занятия			
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787
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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787

		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.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=26787

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	Горбачев К.П. 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 : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108836.html

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	Саргсян А.Е. 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	www.lib.vsu.ru - 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

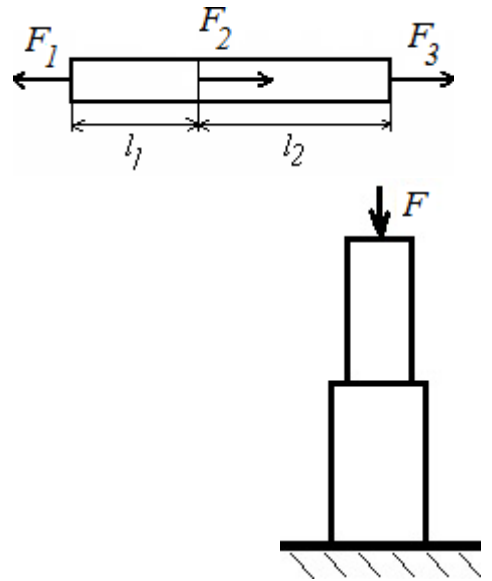


невесомым стержнем длины l . Найти главные моменты инерции (любым способом).

3. Найти кинетическую энергию квадратной рамки из одинаковых однородных стержней (m, l), которая вращается с угловой скоростью Ω 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/см²) нагружен в трех местах, как показано на рисунке.



$$F_1 = 2000 \text{ кГ},$$

$$F_2 = 1000 \text{ кГ},$$

$$F_3 = 1000 \text{ кГ},$$

$$l_1 = 2 \text{ м},$$

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

Δl , 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 μ .

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) π .

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) π .

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 ω . 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 ε и связанная с ней поперечная деформация ε_{\perp} , если известен коэффициент Пуассона μ ?

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 μ ?

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 τ_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 Δl . 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 ε . 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/см². 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 α 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 α 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/см², $\tau_\alpha = 300$ кГ/см². Найти полное механическое напряжение в этой площадке.

Ответ: $p = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2} = 500$ кГ/см²

5. Даны главные напряжения $\sigma_1 = 800$ кГ/см² и $\sigma_2 = 300$ кГ/см² в плоском напряжённом состоянии, чему равно максимальное касательное напряжение?

Ответ: $\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2 = 250$ кГ/см²

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

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

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

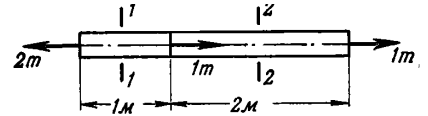
Ответ: $J_p = \frac{\pi d^4}{32} - \frac{\pi d_0^4}{32}$

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/см² и $1 \cdot 10^6$ кГ/см² соответственно.

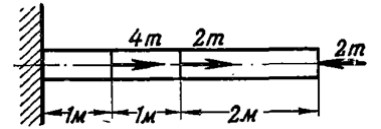
Ответ: $d_{ст} = d_{мед} \sqrt{E_{мед}/E_{ст}} \approx 0.71$ мм

9. Определить полную деформацию изображённого на рисунке стального стержня ($E = 2 \cdot 10^6$ кГ/см²), если поперечное сечение равно 4 см².



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/см²), если поперечное сечение равно 10 см².



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/см²?

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/см². 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 ε_x , ε_y , ε_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: $\theta = M_k / (G J_p)$