

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Куижева Саида Казбековна
Должность: Ректор
Дата подписания: 27.09.2021 10:01:43
Уникальный программный ключ:
71183e1134ef9cfa69b206d480271b3c1a975e6f

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Майкопский государственный технологический университет»

Факультет Технологический
Кафедра строительных и общепрофессиональных дисциплин

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

А. А. Схалыхов

20 21 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине Б1.О.36. Теоретическая механика

по направлению подготовки
бакалавров 35.03.06. Агроинженерия

по профилю подготовки Технологическое оборудование для хранения и переработки
сельскохозяйственной продукции

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Форма обучения очная, заочная

Год начала подготовки 2021

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО и учебного плана МГТУ по направлению подготовки бакалавров 35.03.06 «Агроинженерия», по профилю подготовки Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции


Составитель рабочей программы:

<u>к.т.н., доцент</u> (должность, ученое звание, степень)	<u></u> (подпись)	<u>Надыров Р.Г.</u> (Ф.И.О.)
--------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры

Строительных и общепрофессиональных дисциплин

(наименование кафедры)

<u>Заведующий кафедрой</u> <u>«23» 08 2021 г.</u>	<u></u> (подпись)	<u>Меретуков З.А.</u> (Ф.И.О.)
------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------

Одобрено учебно-методической комиссией факультета
(где осуществляется обучение) «23» 08 2021 г.

<u>Председатель</u> <u>учебно-методического</u> <u>совета направления (специальности)</u> (где осуществляется обучение)	<u></u> (подпись)	<u>Меретуков З.А.</u> (Ф.И.О.)
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------

<u>Декан факультета</u> (где осуществляется обучение) <u>«23» 08 2021 г.</u>	<u></u> (подпись)	<u>Схалыхов А.А.</u> (Ф.И.О.)
------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

<u>СОГЛАСОВАНО:</u> <u>Начальник УМУ</u> <u>«23» 08 2021 г.</u>	<u></u> (подпись)	<u>Чудесова Н.Н.</u> (Ф.И.О.)
-----------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------

<u>Зав. выпускающей кафедрой</u> <u>по направлению (специальности)</u>	<u></u> (подпись)	<u>Меретуков З.А.</u> (Ф.И.О.)
---------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель изучения курса: целью дисциплины является создать основу общетехнической подготовки студента, необходимую для последующего изучения специальных дисциплин, а также начальные умения проектирования и использования типовых механических устройств в своей профессиональной деятельности.

Задачи курса:

- получение сведений о различных разделах механики, основных гипотезах и моделях прикладной, технической и теоретической механики и границах их применения;
 - приобретение первичных навыков практического расчета, конструирования, обеспечения надежности простейших механических устройств;
 - самообучение и непрерывное профессиональное самосовершенствование.
- показать роль механики в науке и технике

Основные блоки и темы дисциплины: содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением следующих разделов:

- аксиомы статики; приведение систем сил к простейшему виду; условия равновесия; кинематика точки; кинематика твердого тела; сложное движение точки; динамика материальной точки; общие теоремы динамики; динамика твердого тела;
- основные понятия теории механизмов и машин; основные виды механизмов;
- основные понятия; метод сечений; центральное растяжение–сжатие; сдвиг; геометрические характеристики сечений; прямой поперечный изгиб; кручение; элементы рационального проектирования простейших систем.

2. Учебная дисциплина входит в перечень дисциплин базовой части ОП.

3. В результате изучения дисциплины и воспитательной деятельности бакалавр должен обладать следующими компетенциями:

- Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе использования теоретических и практических основ естественных и технических наук, а также математического аппарата (ОПК-1)
- Способен принимать решения в профессиональной сфере, используя теоретические основы и нормативную базу строительства (ПК-3)
- Способен участвовать в инженерных изысканиях, необходимых для строительства и реконструкции объектов строительства (ОПК-5)
- Способен участвовать в проектировании объектов строительства, в подготовке расчетного и технико-экономического обоснований их проектов, участвовать в подготовке проектной документации, в том числе с использованием средств автоматизированного проектирования и вычислительных программных комплексов (ОПК-6)

знать:

- основные понятия и аксиомы механики, операции с системами сил, действующими на твердое тело, так же роль механики в науке и технике;
 - методы нахождения реакции связей; законы трения-качения;
 - кинематические характеристики движения точки при различных способах задания движения;
 - дифференциальное уравнение движения точки относительно инерциальной и неинерциальной системы координат;
 - методы нахождения реакций связей в движущейся системе твердых
- ⇒ роль механики в науке и технике

–методы нахождения реакций связей в движущейся системе твердых тел;
–основные методы исследования нагрузок, перемещений и напряженно-деформированного состояния в элементах конструкций, методы проектных расчетов.

уметь:

–составлять уравнения равновесия для тела, находящегося под действием произвольной системы сил;
–находить положение центра тяжести тел;
–вычислять скорости, ускорения точки тел, совершающих поступательное, вращательное и плоское движение;
–вычислять кинетическую энергию механической системы, работу сил, приложенных к телу при различных случаях его движения;
–применять методы расчета на прочность, жесткость и устойчивость элементов конструкций и систем;
–проектировать и конструировать простейшие элементы машин, выполнять их оценку на прочность, жесткость и другие критерии работоспособности.

владеть:

–навыками работы с учебной и научной литературой при решении практических задач механики, а также элементами проектирования и использования типовых механических устройств в своей профессиональной деятельности.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

4.1. Объем дисциплины и виды учебной работы по очной форме обучения

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

Вид учебной работы	Всего часов/з.е.	Семестры
		2
Контактные часы (всего)	34,35/ 0,95	34,35/ 0,95
В том числе:		
Лекции (Л)	17/ 0,47	17/ 0,47
Практические занятия (ПЗ)	17/ 0,47	17/ 0,47
Семинары (С)		
Лабораторные работы (ЛР)		
Контактная работа в период аттестации (КРАТ)	0,35/ 0,47	0,35/ 0,47
Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СРП)	0,35/ 0,095	0,35/ 0,095
Самостоятельная работа студентов (СР) (всего)	20/ 0,53	20/ 0,53
В том числе:		
Расчетно-графические работы		
Реферат, доклад		
Курсовой проект (работа)		
Контроль (всего)	53,65/ 1,49	53,65/ 1,49
Форма промежуточной аттестации: (зачет, экзамен)		экзамен
Общая трудоемкость (часы/з.е.)	180/ 5	180/ 5

4.2. Объем дисциплины и виды учебной работы по заочной форме обучения

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц (108 часов).

Вид учебной работы	Всего часов/з.е.	Семестры
		2
Контактные часы (всего)	12/0,34	12/0,34
В том числе:		
Лекции (Л)	4/0,12	4/0,12
Практические занятия (ПЗ)	8/0,22	8/0,22
Семинары (С)		
Лабораторные работы (ЛР)		
Контактная работа в период аттестации (КРАТ)		
Самостоятельная работа под руководством преподавателя (СПП)		
Самостоятельная работа студентов (СР) (всего)	90/2,5	90/2,5
В том числе:		
Расчетно-графические работы	75/2	75/2
Реферат, доклад	15/0,4	15/0,4
Курсовой проект (работа)		
Контроль (всего)	36,5/1	36,5/1
Форма промежуточной аттестации: (зачет, экзамен)		экзамен
Общая трудоемкость (часы/з.е.)	180/5	180/5

5. Структура и содержание учебной и воспитательной деятельности при реализации дисциплины

5.1. Структура дисциплины для заочной формы обучения

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу и трудоемкость (в часах)					
		Л	С/ЛЗ	КРАГ	СРП	Контроль	СР
3-й семестр							
1	Введение. Тема 1.1. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых систем при растяжении-сжатии.	2	2				9
2	Тема 1.2. Механические характеристики материалов.						9
3	Тема 1.3. Расчет статически неопределимых систем при растяжении-сжатии.						10
4	Тема 1.4. Сдвиг и кручение.	2	2				9
5	Тема 1.5. Геометрические характеристики поперечных сечений.						9
6.	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. Построение эпюр. Напряжения при чистом изгибе.						10
7.	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. Напряжения при поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе.	2	2				12
8.	Тема 1.7. Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения изгиба.						12
9.	Тема 1.7. Перемещение при изгибе. Интегралы Мора. Способ Верещагина						10
	Промежуточная аттестация: Зачет в устной форме			0,25		3,75	
	Всего:	4	6	0,25		3,75	90
4-й семестр							

10	Тема 1.8. Расчет статически неопределимых стержневых систем при изгибе.	2	2				12
11	Тема 2.1. Косой изгиб. Тема 2.2. Внецентренное растяжение-сжатие.						10
12	Тема 2.3. Анализ напряженного и деформированного состояния в точке тела.						10
13	Тема 2.4. Расчет по теориям прочности.	2	2				10
14	Тема 3.1. Устойчивость элементов конструкций. Тема 4.1. Продольно-поперечный изгиб.						10
15	Тема 5.1. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением.						10
16	Тема 5.2. Расчет при ударном действии нагрузки.		2				10
17	Тема 6.1. Расчет элементов конструкций за пределами упругости. Тема 7.1. Оболочки.	2					10
18	Тема 8.1. Повторно-переменное нагружение.						9
	Промежуточная аттестация: Экзамен в устной форме			0,35		8,65	
	Всего:	6	6	0,35		8,65	91
	ИТОГО:	10	12	0,6		12,4	181

5.3. Содержание разделов дисциплины «Сопротивление материалов», образовательные технологии. Лекционный курс.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Трудоемкость (часы / зач. ед.)	Содержание	Формируемые компетенции	Результаты освоения (знать, уметь, владеть)	Образовательные технологии
		ЗФО				
3-й семестр						
1.	Введение. Тема 1.1. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых систем при растяжении-сжатии.		Введение: -основные понятия и определения сопротивления материалов; -расчетные схемы; силы внешние и внутренние; -метод сечений; -внутренние усилия и напряжения. Раздел 1. Простое сопротивление. Тема 1.1. Центральное растяжение и сжатие: 1.1.1. Напряжения и деформации при растяжении и сжатии. 1.1.2. Удлинения, закон Гука. 1.1.3. Влияние температуры. Расчет статически определимых стержневых систем при растяжении и сжатии.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: Основные понятия, определения и допущения сопротивления материалов. Сущность метода сечений. Расчетные формулы для определения напряжений и деформаций. Уметь: анализировать содержание задания, применять метод сечений при решении задач. Владеть: навыками составления расчетной схемы задачи, определения продольных сил, напряжений и деформаций.	Тематическая лекция, слайд-лекция
2	Тема 1.2. Механические характеристики материалов.		Тема 1.2. Механические испытания материалов. 1.2.1. Диаграмма растяжения углеродистой стали. 1.2.2. Диаграмма истинных напряжений.	ОПК-1, ОПК-2	Знать: основные механические характеристики материалов, способ их получения и применение. Уметь: анализировать диаграммы испытаний различных материалов и фиксировать по ним основные механические характеристики. Владеть: использовать полученные данные для определения расчетных сопротивлений материалов,	Тематическая лекция, слайд-лекция.

					допускаемых нагрузок, напряжений и перемещений.	
3	Тема 1.3. Расчет статически неопределимых систем при растяжении-сжатии.	2/0,055	Тема 1.3. Расчет статически неопределимых систем при растяжении и сжатии. 1.3.1. Методы раскрытия статической неопределимости. 1.3.2. Уравнения совместности деформаций.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: методы раскрытия статической неопределимости Уметь: составлять уравнения совместности деформаций при решении задач. Владеть: навыками определения внутренних силовых факторов, напряжений и деформаций в статически неопределимых стержневых системах.	Тематическая лекция.
4	Тема 1.4. Сдвиг и кручение.		Тема 1.4. Сдвиг и кручение. 1.4.1. Напряжения при сдвиге. 1.4.2. Закон Гука при сдвиге. 1.4.3. Расчет болтовых и заклепочных соединений на срез и смятие. 1.4.4. Кручение стержней круглого сечения. 1.4.5. Напряжения и углы поворота сечения при кручении круглых стержней. 1.4.6. Эпюры крутящих моментов. 1.4.7. Условие прочности при кручении.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: суть сдвига и кручения как видов деформации, знать основные расчетные формулы для определения напряжений и деформаций при сдвиге и кручении. Уметь: анализировать задачи на сдвиг и кручение, уметь строить эпюры крутящего момента и определять максимальную нагрузку на вал. Владеть: навыками определения внутренних силовых факторов при сдвиге и кручении, расчета нагрузки, проверки прочности и подбора сечения элементов конструкции при заданных допускаемых напряжениях и деформациях.	Тематическая лекция, слайд-лекция
5	Тема 1.5. Геометрические характеристики поперечных сечений.	2/0,055	Тема 1.5. Геометрические характеристики поперечных сечений. 1.5.1. Статические моменты площади сечения. 1.5.2. Моменты инерции. 1.5.3. Главные оси и главные моменты инерции.	ОПК-1, ОПК-2	Знать: основные геометрические характеристики, формулы для их определения. Уметь: применять формулы определения геометрических характеристик и перехода к параллельным осям. Владеть: навыками определения различных геометрические характеристики сечений, положения	Тематическая лекция

		2/0,055			главных центральных осей и главных моментов инерции.	
6	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. Построение эпюр. Напряжения при чистом изгибе.	2/0,055 2/0,055	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. 1.6.1. Внутренние силовые факторы при изгибе. 1.6.2. Изгиб чистый и поперечный. 1.6.3. Дифференциальные зависимости при изгибе. 1.6.4. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. 1.6.5. Напряжения при чистом изгибе.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: суть изгиба, основные компоненты, формулы определения напряжений при чистом изгибе, формулу определения кривизны изогнутого стержня. Уметь: строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, определять опасное сечение стержня. Владеть: навыками определения максимальной нагрузки и напряжений в стержне по эпюре и по расчетным формулам.	Тематическая лекция
7	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. Напряжения при поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе.	2/0,055	1.6.6. Поперечный изгиб. Нормальные и касательные напряжения при поперечном изгибе. Формула Журавского. 1.6.7. Соотношение нормальных и касательных напряжений. 1.6.8. Условие прочности при изгибе. Элементы рационального проектирования простейших систем.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: отличия чистого и поперечного изгиба, допущения для применения расчетных формул, формулы определения напряжений, кривизны изогнутого стержня. Уметь: анализировать задачи изгиба, определять необходимые характеристики по эпюрам и применять расчетные формулы. Владеть: навыками прочностного расчета при изгибе (определение допускаемой нагрузки, проверка прочности и подбор параметров сечения).	Тематическая лекция, слайд-лекция,
8	Тема 1.7. Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения изгиба.		Тема 1.7. Перемещения при изгибе. 1.7.1. Приближенное дифференциальное уравнение упругой линии балки. 1.7.2. Интегрирование приближенного дифференциального уравнения. 1.7.3. Методы определения перемещений при изгибе.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: перемещения при изгибе, основные допущения их определения, формулы для определения перемещений при изгибе. Уметь: определять перемещения при изгибе путем интегрирования дифференциального уравнения упругой линии.	Тематическая лекция

					Владеть: навыками определения уравнений перемещения в стержне, определения перемещений в любой, произвольной точке балки.	
9	Тема 1.7. Перемещение при изгибе. Интегралы Мора. Способ Верещагина		Тема 1.7. Перемещения при изгибе. 1.7.4. Интегралы Мора. 1.7.5. Способ Верещагина.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: сущность интегралов Мора, их образования; суть способа Верещагина, принцип перемножения эпюр. Уметь: записывать аналитические выражения для определения перемещений с помощью интегралов Мора, перемножать эпюры по способу Верещагина. Владеть: навыками определения перемещений при изгибе с помощью интегралов Мора и по способу Верещагина.	Тематическая лекция, слайд-лекция
Всего:		4/0,111				
4-й семестр						
10	Тема 1.8. Расчет статически неопределимых систем при изгибе.	2/0,055	Тема 1.8. Расчет статически неопределимых систем при изгибе. 1.8.1. Метод сил. 1.8.2. Определение перемещений по способу Верещагина.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: суть метода сил; принцип раскрытия статической неопределимости при изгибе. Уметь: составлять рабочую схему балки и определять коэффициенты, входящие в каноническое уравнение метода сил. Владеть: навыками построения эпюр и определения напряжений и деформаций для статически неопределимых систем при изгибе.	Тематическая лекция,

11	Раздел 2. Сложное сопротивление. Тема 2.1. Косой изгиб. Тема 2.2. Внецентренное растяжение и сжатие.		Раздел 2. Сложное сопротивление. Тема 2.1. Косой изгиб. 2.1.1. Напряжения при косом изгибе. 2.1.2. Уравнение нейтральной линии сечения при косом изгибе. 2.1.3. Условие прочности при косом изгибе. Тема 2.2. Внецентренное растяжение и сжатие. 2.2.1. Напряжения при внецентренном растяжении и сжатии. 2.2.2. Уравнение нейтральной линии при внецентренном растяжении и сжатии. 2.2.3. Ядро сечения. 2.2.4. Условие прочности при внецентренном растяжении и сжатии	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: суть определения усилий и напряжений в случае сложного сопротивления; особенности косоугольного изгиба, внецентренного растяжения и сжатия, формулы определения напряжений. Уметь: анализировать задачи сложного сопротивления, определять положение нейтральной линии в сечении при косом изгибе, при внецентренном растяжении и сжатии, определять положение наиболее напряженных точек в сечении. Владеть: навыками расчета на прочность элементов конструкций, работающих в условиях косоугольного изгиба, внецентренного растяжения и сжатия.	Тематическая лекция, слайд-лекция
12	Тема 2.3. Анализ напряженного и деформированного состояния в точке тела.		Тема 2.3. Анализ напряженного и деформированного состояния в точке тела. 2.3.1. Тензор напряжений и тензор деформаций. 2.3.2. Главные площадки, главные напряжения и деформации.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: особенности напряженного и деформированного состояний, матрицы и уравнения, их описывающие. Уметь: записывать тензоры напряженного и деформированного состояний для главных и неглавных напряжений и деформаций. Владеть: навыком анализа напряженного и деформированного состояния в точке тела.	Тематическая лекция,
13	Тема 2.4. Расчет по теориям прочности.	2/0,055	Тема 2.4. Теории прочности и пластичности. 2.4.1. Условие достижения критического состояния по каждой из теорий. 2.4.2. Условие прочности для совместного действия кручения и изгиба по III и IV теориям прочности.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: суть каждого критерия и условие достижения критического состояния по каждому из них. Уметь: определять эквивалентное напряжение для конкретной задачи и сравнивать его с допустимым (расчетным сопротивлением).	Тематическая лекция

					Владеть: навыками расчета на прочность элементов конструкций с использованием теорий прочности.	
14	Тема 3.1. Устойчивость элементов конструкций. Тема 4.1. Продольно-поперечный изгиб.		Раздел 3. Устойчивость элементов конструкций. Тема 3.1. Устойчивость продольно сжатых стержней. 3.1.1. Формула Эйлера для критической силы. 3.1.2. Влияние условий закрепления концов стержня. 3.1.3. Пределы применимости формулы Эйлера. Гибкость стержня. Раздел 4. Продольно поперечный изгиб стержней. Тема 4.1. Продольно-поперечный изгиб. 4.1.1. Особенности данного вида нагружения 4.1.2. Расчет на прочность при продольно-поперечном изгибе.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: формулы определения критической силы и критического напряжения, приведенные коэффициенты для различных условий закрепления концов стержня, пределы применимости формулы Эйлера; напряжений при продольно-поперечном изгибе Уметь: определять величины критической силы и напряжения. Владеть: навыками расчета сжатых стержней (подбор сечения, нагрузки и т.д.) на устойчивость; при продольно-поперечном изгибе.	Тематическая лекция, слайд-лекция
15	Тема 5.1. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением.		Раздел 5. Динамическое нагружение. Тема 5.1. Учет сил инерции при динамическом нагружении. Расчет элементов конструкций, движущихся с ускорением. 5.1.1. Динамический коэффициент. 5.1.2. Расчет элементов конструкций, движущихся с ускорением.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	Знать: принципы динамического расчета, формулы определения усилий, напряжений и перемещений для элементов конструкций, движущихся с ускорением. Уметь: записывать выражения для динамических усилий, напряжений и перемещений с использованием соответствующего динамического коэффициента. Владеть: навыками расчета на прочность элементов конструкций, движущихся с ускорением.	Тематическая лекция, слайд-лекция

16	Тема 5.2. Расчет при ударном действии нагрузки.	2/0,055	Раздел 5. Динамическое нагружение Тема 5.2. Ударное действие нагрузки. 5.2.1. Приближенный расчет на удар. 5.2.2. Динамический коэффициент при ударе.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	<p>Знать: принципы динамического расчета, формулы определения усилий, напряжений и перемещений для элементов конструкций, подвергающихся ударному воздействию.</p> <p>Уметь: записывать выражения для динамических усилий, напряжений и перемещений с использованием соответствующего динамического коэффициента.</p> <p>Владеть: навыками расчета на прочность элементов конструкций, подвергающихся ударному воздействию.</p>	Тематическая лекция, слайд-лекция
17	Тема 6.1. Расчет элементов конструкций за пределами упругости. Тема 7.1. Оболочки.		Раздел 6. Тема 6.1. Работа конструкций за пределами упругости. 6.1.1. Расчет по несущей способности. Раздел 7. Тема 7.1 Оболочки. 7.1.1. Характеристики оболочек. 7.1.2. Расчет безмоментных оболочек вращения.	ОПК-1, ОПК-2, ПК-2	<p>Знать: стадии, проходимые балкой вплоть до исчерпания ее несущей способности, формулы пластического предельного момента и пластического момента сопротивления; уравнения равновесия для симметричных оболочек, рассчитываемых по безмоментной теории.</p> <p>Уметь: определять предельно допустимые нагрузки и параметры конструкции при расчете по предельному состоянию; определять нагрузку и параметры оболочек, рассчитываемых по безмоментной теории.</p> <p>Владеть: навыками расчета элементов конструкций по предельному состоянию; прочностного расчета безмоментных оболочек вращения.</p>	Тематическая лекция

18	Тема 8.1. Повторно-переменное нагружение.		<p>Раздел 8. Повторно-переменное действие нагрузки. Тема 8.1. Циклическое нагружение. Усталость материала. 8.1.1. Усталость материала. 8.1.2. Предел выносливости. 8.1.3. Влияние различных факторов на предел выносливости: масштабный коэффициент, эффективный коэффициент концентрации напряжений. 8.1.4. Расчет на усталость.</p>	ОПК-1, ОПК-2	<p>Знать: суть усталостного разрушения, характеристики цикла при циклическом нагружении, факторы, влияющие на выносливость материала. Уметь: строить и пользоваться диаграммой выносливости материала, учитывать факторы, влияющие на предел выносливости. Владеть: навыками расчета на прочность при повторно-переменном нагружении.</p>	Тематическая лекция
	Всего:	6/0,167				
	Итого:	10/0,278				

5.4. Практические и семинарские занятия, их наименование, содержание и объем в часах

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических и семинарских занятий	Объем в часах / трудоемкость в з.е.
			ЗФО
3-й семестр			
1.	Введение. Тема 1.1. Центральное растяжение и сжатие	Расчет статически определимых стержневых систем при растяжении и сжатии. РГР № 1.	2/0,055
2.	Тема 1.3. Расчет статически неопределимых систем при растяжении и сжатии.	Расчет статически неопределимых систем при растяжении и сжатии. РГР № 1.	
3.	Тема 1.4. Сдвиг и кручение.	Расчет элементов конструкций, работающих в условиях сдвига и кручения.	2/0,055
4.	Тема 1.5. Геометрические характеристики поперечных сечений.	Расчет основных геометрических характеристик сечений.	
5.	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб.	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Определение опасных сечений, проверка прочности балки.	
6.	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб.	Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе.	2/0,055
7.	Тема 1.7. Перемещения при изгибе.	Определение перемещений при изгибе методом интегрирования дифференциального уравнения упругой линии балки.	
8.	Тема 1.7. Перемещения при изгибе.	Определение перемещений при изгибе графо-аналитическими методами.	
Всего:			6/0,167
4-й семестр			
9.	Тема 1.8. Расчет статически неопределимых систем при изгибе.	Расчет статически неопределимых систем при изгибе. Использование способа Верещагина.	2/0,055
10.	Раздел 2. Сложное сопротивление. Тема 2.1. Косой изгиб. Тема 2.2. Внецентренное растяжение и сжатие.	Расчет статически определимых систем, работающих в условиях сложного сопротивления (косой изгиб, внецентренное растяжение и сжатие).	
11.	Тема 2.4. Расчет по теориям прочности.	Расчет элементов конструкций с использованием теорий прочности (совместное действие кручения и изгиба).	2/0,055
12.	Тема 3.1. Устойчивость элементов конструкций. Тема 4.1. Продольно-поперечный изгиб.	Расчет элементов конструкций на устойчивость. Расчет элементов конструкций в условиях продольно-поперечного изгиба.	

13.	Тема 5.1. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением.	Динамический расчет. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением.	2/0,055
14.	Тема 5.2. Расчет при ударном действии нагрузки.	Динамический расчет. Расчет элементов конструкций при ударном действии нагрузки.	
15.	Тема 6.1. Расчет элементов конструкций за пределами упругости. Тема 7.1. Оболочки.	Расчет элементов конструкций за пределами упругости. Расчет симметричных оболочек по безмоментной теории.	
16.	Тема 8.1. Повторно-переменное нагружение.	Выносливость элементов конструкций. Особенности определения выносливости конструктивных элементов	
Всего:			6/0,167
Итого:			12/0,333

5.5. Лабораторные занятия, их наименование и объем в часах

Лабораторные занятия учебным планом не предусмотрены

5.6. Примерная тематика курсовых проектов (работ)

Курсовой проект (работа) учебным планом не предусмотрен.

5.7. Самостоятельная работа обучающихся

Содержание и объем самостоятельной работы обучающихся

№ п/п	Разделы и темы рабочей программы самостоятельного изучения	Перечень домашних заданий и других вопросов для самостоятельного изучения	Сроки выполнения	Объем в часах / трудоемкость в з.е.
3-й семестр				
1.	Введение. Тема 1.1. Центральное растяжение-сжатие. Расчет статически определимых систем при растяжении-сжатии.	Конспект темы. Решение задач по теме. РГР №1 (Задачи 1.1, 1.3)	сентябрь	9/0,278
2.	Тема 1.2. Механические характеристики материалов.	Конспект темы. Основные механические характеристики, их определение	сентябрь-	9/0,278
3.	Тема 1.3. Расчет статически неопределимых систем при растяжении-сжатии.	Конспект темы. Решение задач по теме. РГР №1 (Задача 1.2)	сентябрь-октябрь	10/0,278
4.	Тема 1.4. Сдвиг и кручение.	Конспект темы. Решение задач по теме. РГР №2	октябрь	9/0,278
5.	Тема 1.5. Геометрические характеристики поперечных сечений.	Конспект темы. Решение задач по теме. РГР № 3	октябрь	9/0,278
6.	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. Построение эпюр.	Конспект темы. Правила построения эпюр. Решение задач по теме.	октябрь - ноябрь	10/0,278

	Напряжения при чистом изгибе.			
7.	Тема 1.6. Прямой поперечный изгиб. Напряжения при поперечном изгибе. Расчет статически определимых стержневых систем при изгибе.	Конспект темы. РГР № 4. Решение задач по теме.	ноябрь	12/0,333
8.	Тема 1.7. Перемещение при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения изгиба.	Конспект темы. Интегрирование дифференциального уравнения изгиба. Решение задач по теме.	Ноябрь - декабрь	12/0,333
9.	Тема 1.7. Перемещение при изгибе. Интегралы Мора. Способ Верещагина	Конспект темы. Определение перемещений способом Верещагина. Решение задач по теме.	декабрь	10/0,278
	Всего:			90/2,5
4-й семестр				
10.	Тема 1.8. Расчет статически неопределимых стержневых систем при изгибе.	Конспект темы. Метод сил. Использование способа Верещагина. Решение задач по теме.	февраль	12/0,333
11.	Тема 2.1. Косой изгиб. Тема 2.2. Внецентренное растяжение-сжатие.	Конспект темы. РГР № 5. Решение задач по теме.	февраль	10/0,25
12.	Тема 2.3. Анализ напряженного и деформированного состояния в точке тела.	Конспект темы. Матрицы напряжений и деформаций. Решение задач по теме.	февраль - март	10/0,25
13.	Тема 2.4. Расчет по теориям прочности.	Конспект темы. Решение задач по теме. РГР № 6.	март	10/0,25
14.	Тема 3.1. Устойчивость элементов конструкций. Тема 4.1. Продольно-поперечный изгиб.	Конспект темы. РГР № 7. Решение задач по теме.	март	10/0,278
15.	Тема 5.1. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением.	Конспект темы. Решение задач по теме.	март - апрель	10/0,25
16.	Тема 5.2. Расчет при ударном действии нагрузки.	Конспект темы. РГР № 8. Решение задач по теме.	апрель	10/0,278
17.	Тема 6.1. Расчет элементов конструкций за пределами упругости. Тема 7.1. Оболочки.	Конспект темы. Решение задач по теме.	апрель - май	10/0,278
18.	Тема 8.1. Повторно-переменное нагружение.	Конспект темы. Основные характеристики цикла. Предел выносливости (испытание на выносливость)	май	9/0,25
	Всего:			91/2,528

Итого:			93,75/ 2,605
---------------	--	--	-------------------------

6. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю).

6.1. методические указания (собственные разработки)

1. Учебно-методическое пособие по теоретической механике [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей / [сост. Р.Г. Надыров]. - Майкоп: Магарин О.Г., 2018. - 108 с. – Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8002/libdata.php?id=2100003095>
2. Учебно-методическое пособие по теоретической механике. Ч. II [Электронный ресурс]: для студентов технических специальностей / [сост.: Р.Г. Надыров, Ю.К. Ашинов]. - Майкоп: Магарин О.Г., 2017. - 120 с. - Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8002/libdata.php?id=2100019463>
3. Учебно-методическое пособие по теоретической механике [Электронный ресурс]: для студентов высших учебных заведений технических специальностей / [сост. Р.Г. Надыров]. - Майкоп: Магарин О.Г., 2016. - 120 с. - Режим доступа: <http://lib.mkgtu.ru:8002/libdata.php?id=2100018896>

6.2 Литература для самостоятельной работы

- Бурчак, Г.П. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Г.П. Бурчак, Л.В. Винник - М.: ИНФРА-М, 2015. - 271 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=451783>
- Кирсанов, М.Н. Теоретическая механика. Сборник задач [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.Н. Кирсанов. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 430 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=487544>
- Мкртычев, О.В. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: учебник / О.В. Мкртычев. - М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 359 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=774952>
- Мкртычев, О.В. Теоретическая механика. Практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.В. Мкртычев. - М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 337 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=774958>
- Белов, М.И. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Белов М.И., Пылаев Б.В. - М.: РИОР, ИНФРА-М, 2017. - 336 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=556474>
- Кирсанов, М.Н. Решения задач по теоретической механике [Электронный ресурс]: учебное пособие / М.Н. Кирсанов. - М.: ИНФРА-М, 2015. - 216 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=493434>
- Цивильский, В.Л. Теоретическая механика [Электронный ресурс]: учебник / В.Л. Цивильский. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2014. - 368 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=443436>
- Акимов, В.А. Теоретическая механика. Кинематика. Практикум [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.А. Акимов, О.Н. Скляр, А.А. Федута; под общ. ред. А.В. Чигарева. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2012. - 635 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа:

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Этапы формирования компетенции (номер семестра согласно учебному плану)	Наименование учебных дисциплин, формирующих компетенции в процессе освоения образовательной программы
ЗФО	
<i>ОПК-1 способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования</i>	
1,2,3	Математика
1	Химия
1,2	Физика
3	Экология
3	Теоретическая механика
4	Техническая механика
3,4	<i>Сопроотивление материалов</i>
6,7	Строительная механика
5	Химия вяжущих материалов
8	Научно-исследовательская работа
9	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
9	Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
9	Подготовка к процедуре защиты и процедура защиты выпускной квалификационной работы
<i>ОПК-2 способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих входе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат</i>	
1,2,3	Математика
1	Химия
1,2	Физика
7	Технологические процессы в строительстве

3	Теоретическая механика
4	Техническая механика
3,4	<i>Сопротивление материалов</i>
6,7	Строительная механика
5	Химия вяжущих материалов
7	Вероятностные методы расчета
7	Технология изоляционных строительных материалов и изделий
4	Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности
8	Научно-исследовательская работа
9	Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
9	Подготовка к процедуре защиты и процедура защиты выпускной квалификационной работы
<i>ПК-2 владеть методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования</i>	
8	Основы архитектуры и строительных конструкций
5	Механика грунтов
3,4	<i>Сопротивление материалов</i>
6,7	Строительная механика
7	Основания и фундаменты
8	Железобетонные конструкции. Инженерные сооружения
8	Конструкции из дерева и пластмасс
6	Система автоматизированного проектирования в строительстве
4,5,6,7	Проектный практикум
3	Материаловедение
8	Обеспечение устойчивости зданий и сооружений при строительстве и эксплуатации
6	Современные технологии и строительство
5	Исследование и проектирование зданий и сооружений
7	Технология и организация строительства
6	Основы проектирования зданий и сооружений
6	Архитектурные конструкции
8	Сейсмостойкость зданий и сооружений

4	Практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности
6	Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (в том числе технологическая практика)
8	Научно-исследовательская работа
9	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
9	Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена
9	Подготовка к процедуре защиты и процедура защиты выпускной квалификационной работы

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкалы оценивания

Планируемые результаты освоения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения				Наименование оценочного средства
	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично	
<i>ОПК-1 способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и математического (компьютерного) моделирования, теоретического и экспериментального исследования</i>					
знать: научно-техническую информацию, принципы проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, технологии производства различных видов строительных работ	Фрагментарные знания	Неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	контрольная работа, защита расчетно-графических работ, тесты, письменный опрос, рефераты, доклады, экзамен
уметь: -разрабатывать планы (сетевые, объектовые, календарные) строительного производства, использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; уметь выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат.	Частичные умения	Неполные умения	Учения полные, допускаются небольшие ошибки	Сформированные умения	
владеть: методами планирования и контроля выполнения подготовки и оборудования участка строительства, планирования строительного производства на участке строительства; основными законами геометрического формирования построения и взаимного	Частичное владение навыками	Несистематическое применение навыков	В систематическом применении навыков допускаются пробелы	Успешное и систематическое применение навыков	

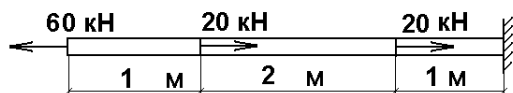
пересечения моделей плоскости и пространства					
ОПК-2 способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих входе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат					
знать: - принципы проектирования зданий сооружений, инженерных систем и оборудования.	Фрагментарные знания	Неполные знания	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания	Сформированные систематические знания	контрольная работа, защита расчетно-графических работ, тесты, письменный опрос, рефераты, доклады, экзамен
уметь: выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь их для решения соответствующий физико-математический аппарат;	Частичные умения	Неполные умения	Учения полные, допускаются небольшие ошибки	Сформированные умения	
владеть: способностью определения потребности строительного производства в ресурсах, поставляемых через внешние инженерные сети (вода, электроэнергия, тепло), входного контроля качества и объемов (количества) поставляемых материально-технических ресурсов, строительной техники, машин и механизмов, ресурсов, поставляемых через внешние инженерные сети; контроля расходования средств на материально-техническое обеспечение строительного производства; основными методами, способами и средствами получения, хранения переработки информации;	Частичное владение навыками	Несистематическое применение навыков	В систематическом применении навыков допускаются пробелы	Успешное и систематическое применение навыков	
ПК-2 владеть методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования					

<p>знать: - нормативные и проектные показатели потребности строительного производства в материально-технических ресурсах (по видам материально-технических ресурсов); виды и свойства основных строительных материалов.</p>	<p>Фрагментарные знания</p>	<p>Неполные знания</p>	<p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания</p>	<p>Сформированные систематические знания</p>	
<p>уметь: определять номенклатуру и осуществлять расчет объемов (количества) и графика поставки строительных материалов, конструкций, изделий, оборудования и других видов материально-технических ресурсов в соответствии с планами строительного производства.</p>	<p>Частичные умения</p>	<p>Неполные умения</p>	<p>Учения полные, допускаются небольшие ошибки</p>	<p>Сформированные умения</p>	<p>контрольная работа, защита расчетно-графических работ, тесты, письменный опрос, рефераты, доклады, экзамен</p>
<p>владеть: - методами проведения инженерных изысканий, технологией проектирования деталей и конструкций в соответствии с техническим заданием с использованием универсальных и специализированных программно-вычислительных комплексов и систем автоматизированных проектирования.</p>	<p>Частичное владение навыками</p>	<p>Несистематическое применение навыков</p>	<p>В систематическом применении навыков допускаются пробелы</p>	<p>Успешное и систематическое применение навыков</p>	

7.3. Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Задания для контрольной работы (приведено несколько вариантов)

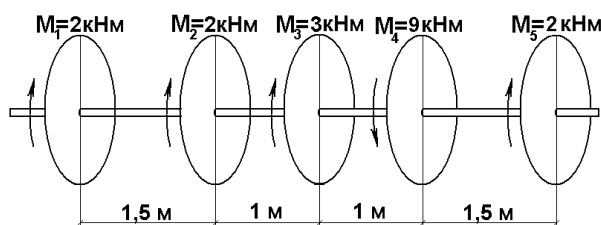
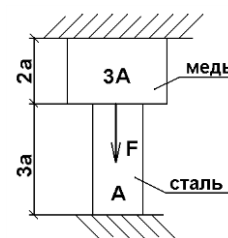
Вариант 1 (3-й семестр)



1) Определить напряжения и удлинения в каждом участке стального стержня модуль упругости стали $E_{ст}=2 \cdot 10^{11}$ Па. Площадь сечения $A=4$ см².

2) Определить внутренние усилия и напряжения в каждом участке стержня.

$E_{ст}=2 \cdot 10^{11}$ Па, $E_{меди}=1 \cdot 10^{11}$ Па, $a=0,5$ м, $F=20$ кН, $A=10$ см².



3) На стальной вал через пять шкивов передается крутящий момент. Построить эпюру крутящего момента, подобрать сечение вала при $[\tau]=90$ МПа. Определить величину угла поворота левого торцевого сечения относительно правого.

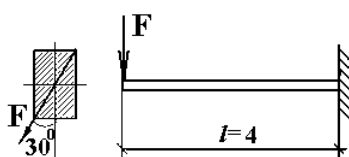
Модуль сдвига $G=8 \cdot 10^{10}$ Па.

4) Определить, как и во сколько раз изменятся осевые моменты инерции прямоугольного сечения, если его

а) высота уменьшится в 2 раза?

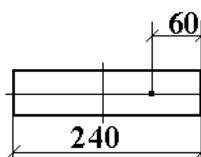
б) Ширина увеличится в 3 раза? Доказать рассуждение (в общем виде).

Вариант 2 (5-й семестр)

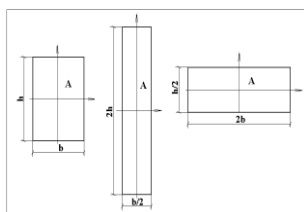


1) Подобрать прямоугольное ($h/b=2$) сечение деревянного стержня, подвергающегося действию силы $F=3$ кН, линия действия которой составляет с вертикалью угол 30° , $l=4$ м, $[\sigma]=10$ МПа.

2) Определить необходимую толщину 24 см, растягиваемой двумя параллельными ее приложенными посередине ее толщины на полосы; $[\sigma]=180$ МПа.



стальной полосы шириной оси силами 120 кН, расстоянии 6 см от края



3) Сплошной стальной вал круглого поперечного сечения в опасном сечении подвергается действию крутящего момента $M_z=14$ кНм, и изгибающего момента $M_x=12$ кНм. Из условия прочности по третьей теории прочности, определить необходимый диаметр вала, если допусаемое напряжение $[\sigma]=80$ МПа.

4) Какое из трех сечений стержней наиболее выгодно с точки зрения изгиба? Докажите. А с точки зрения растяжения (сжатия)?

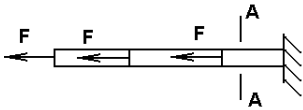
Тесты

Тема: Простое и сложное сопротивление

Вариант 1

1. Как называется способность твердых тел сопротивляться внешним нагрузкам, не разрушаясь?

- | | |
|------------------|------------------|
| 1) прочностью | 3) жесткостью |
| 2) устойчивостью | 4) выносливостью |

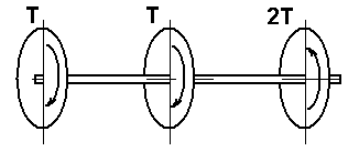


2. Какое усилие действует в сечении А-А?

- | | |
|-----------|-------------|
| 1) F. | 3) $-3F$. |
| 2) $3F$. | 4) Никакое. |

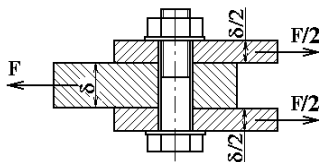
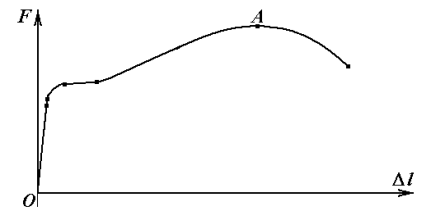
3. Определите вид эпюры крутящего момента для представленного вала.

- | | |
|----|----|
| 1) | 3) |
| 2) | 4) |



4. Какую величину рассчитывают, сняв показание по диаграмме в указанной точке А?

- 1) предел пропорциональности
- 2) предел текучести
- 3) предел упругости
- 4) временное сопротивление

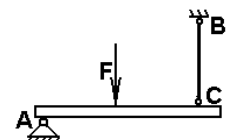
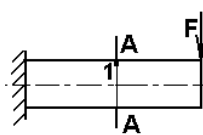


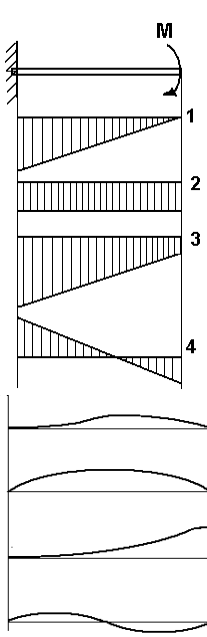
5. Укажите число плоскостей среза для болта, приведенного на рисунке

- | | |
|-------|-------|
| 1) 1. | 3) 2. |
| 2) 3. | 4) 4. |

6. Какие напряжения действуют в точке 1 сечения А - А балки?

- | |
|-------------------------------------------------------------------|
| 1) действуют нормальные σ и касательные τ напряжения. |
| 2) действуют касательные напряжения τ . |
| 3) действуют нормальные напряжения σ . |
| 4) нет напряжений. |





7. По какой формуле проводят проверку прочности стержня BC, имеющего разные допускаемые напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ и сжатие $[\sigma_{сж}]$?

- 1) $\sigma \leq \sigma_t$ 3) $\sigma \leq [\sigma_p]$.
 2) $\sigma \leq [\sigma_{сж}]$. 4) $\sigma \leq \sigma_{пл}$.

8. Какой вид имеет эпюра изгибающего момента для указанной балки?

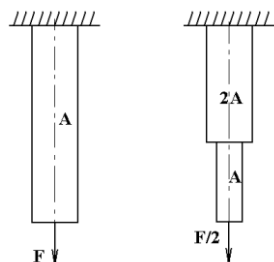
- 1) Эпюра 4. 3) Эпюра 2.
 2) Эпюра 1. 4) Эпюра 3.

9. Какой вид имеет форма потери устойчивости при сжатии упругого стержня, показанного на рисунке силой $F \geq F_{кр}$?

- 1) 1 3) 3
 2) 2 4) 4

10. Для определения критической нагрузки за пределом пропорциональности используется формула...

- 1) Эйлера 3) Ясинского
 2) Нормальных напряжений 4) гибкости стержня

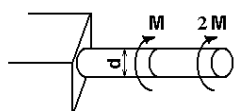


11. Как соотносятся максимальные напряжения в изображенных стержнях?

- 1) Отсутствуют.
 2) Равны.
 3) Во втором вдвое больше первого
 4) В первом вдвое больше второго.

12. Какая геометрическая характеристика сечения влияет на величину напряжений при кручении?

- 1) статический момент 3) площадь
 2) осевой момент инерции 4) полярный момент инерции



13. Чему равны максимальные напряжения для данного вала?

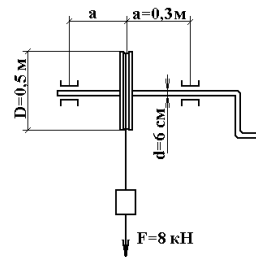
- 1) $\sigma = 8M / \pi d^2$ 3) $\tau = 96M / \pi d^4$
 2) $\tau = 48M / \pi d^3$ 4) $\sigma = 24M / \pi d^3$

14. Какая из формул соответствует осевому моменту инерции J_x прямоугольного сечения?

- 1) $J_x = hb^2 / 6$ 3) $J_x = bh^2 / 6$
 2) $J_x = bh^3 / 12$ 4) $J_x = hb^3 / 12$

15. Какой вид деформаций возникает в поперечных сечениях указанного стержня?

- 1) изгиб 3) изгиб с кручением
 2) кручение 4) растяжение с изгибом

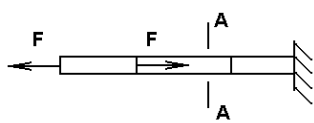


Тема: Простое и сложное сопротивление

Вариант 2

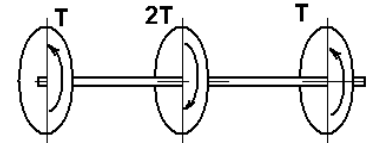
1. Как называется способность твердого тела после снятия внешней нагрузки возвращать первоначальные геометрические параметры?

- 1) прочностью
- 2) жесткостью
- 3) упругостью
- 4) устойчивостью



2. Какое усилие действует в сечении А-А?
- 1) 2F.
 - 2) F.
 - 3) Никакое.
 - 4) -F.

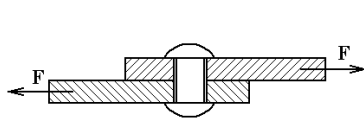
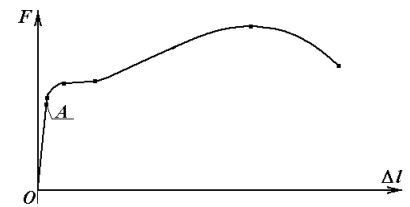
3. Определите вид эпюры крутящего момента для представленного вала.



- 1)
- 2)
- 3)
- 4)

4. Какую величину рассчитывают, сняв показание по диаграмме в указанной точке А?

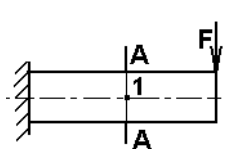
- 1) предел пропорциональности
- 2) предел текучести
- 3) предел упругости
- 4) предел прочности.



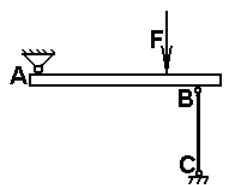
5. Укажите число плоскостей среза для заклепки, приведенной на рисунке

- 1) 4.
- 2) 3.
- 3) 2.
- 4) 1.

6. Какие напряжения действуют в точке 1 сечения А - А балки?



- 1) действуют нормальные напряжения σ .
- 2) действуют касательные напряжения τ .
- 3) нет напряжений.
- 4) действуют нормальные σ и касательные τ напряжения.

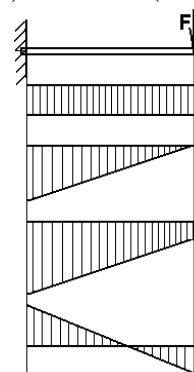


7. По какой формуле проводят проверку прочности стержня ВС, имеющего разные допускаемые напряжения на растяжение $[\sigma_p]$ и сжатие $[\sigma_{сж}]$?

- 1) $\sigma \leq \sigma_T$
- 2) $\sigma \leq [\sigma_{сж}]$
- 3) $\sigma \leq [\sigma_p]$
- 4) $\sigma \leq \sigma_{пц}$

8. Какой вид имеет эпюра изгибающего момента для рисунка балки ?

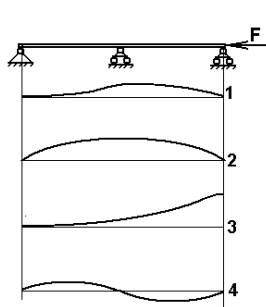
- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



указанной на

9. Какой вид имеет формула Эйлера для определения силы?

критической



1) $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{max}}{l^2}$

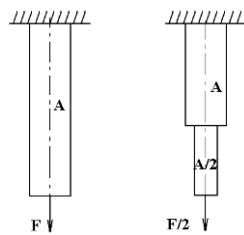
3) $F_{кр} = EA\varepsilon$

2) $F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(\mu l)^2}$

4)) $F_{кр} = \sigma A$

10. Какая форма потери устойчивости имеет место при сжатии упругого стержня, показанного на рисунке ниже силой $F \geq F_{кр}$?

- 1) 1 3) 3
2) 2 4) 4

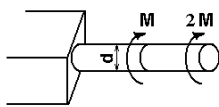


11. Максимальные напряжения в изображенных стержнях соотносятся следующим образом...

- 1) Отсутствуют.
2) Равны.
3) Во втором вдвое больше первого
4) В первом вдвое больше второго.

12. Какая геометрическая характеристика сечения влияет на величину напряжений при изгибе?

- 1) статический момент 3) площадь
2) осевой момент инерции 4) полярный момент инерции

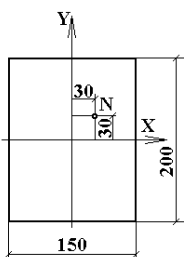


13. Чему равно максимальное перемещение для данного вала?

- 1) $\varphi = 12Ml/G\pi d^2$ 3) $\varphi = 96Ml/G\pi d^4$
2) $\varphi = 48M/G\pi d^3$ 4) $\varphi = 24M/E\pi d^4$

14. Какая из формул соответствует полярному моменту инерции круглого сечения?

- 1) $J_p = \pi d^3/12$ 3) $J_p = \pi d^4/64$
2) $J_p = \pi d^3/16$ 4) $J_p = \pi d^4/32$



15. Какой вид нагружения возникнет в стержне, если в точке N его поперечного сечения, приложить растягивающую силу F?

- 1) изгиб 3) растяжение
2) растяжение с изгибом 4) изгиб с кручением

Темы расчетно-графических работ

1. Растяжение и сжатие. Статически определяемые и неопределимые системы.
2. Кручение стержней с круглым поперечным сечением.
3. Геометрические характеристики плоских сечений.
4. Изгиб. Построение эпюр.
5. Сложное сопротивление. Внецентренное сжатие.
6. Сложное сопротивление. Совместное действие кручения и изгиба.
7. Устойчивость продольно сжатых стержней.
8. Расчет при ударном действии нагрузки.

Примерный список вопросов к экзамену

1. Предмет и задачи курса сопротивления материалов.
2. Основные понятия и определения сопротивления материалов: абсолютно жесткое тело, сплошная среда, расчетная схема, внешние и внутренние силы и т.д.
3. Метод сечений и его применение при определении внутренних усилий.
4. Растяжение и сжатие. Внутренние усилия при растяжении-сжатии.
5. Деформации при растяжении-сжатии. Закон Гука для случая растяжения-сжатия.
6. Напряжения при растяжении-сжатии. Влияние температуры на напряжения (деформации) при растяжении-сжатии.
7. Механические испытания материалов. Испытание материалов на растяжение-сжатие. Диаграмма растяжения углеродистой стали.
8. Механические испытания материалов. Основные механические характеристики материалов. Диаграмма истинных напряжений.
9. Статически определимые и статически неопределимые системы при растяжении-сжатии. Раскрытие статической неопределимости.
10. Сдвиг и кручение. Закон Гука для сдвига. Касательные напряжения при сдвиге. Расчет болтовых и заклепочных соединений.
11. Кручение. Внутренние усилия при кручении. Кручение стержней круглого поперечного сечения. Условие прочности при кручении.
12. Эпюры крутящих моментов.
13. Условия прочности и жесткости при кручении.
14. Геометрические характеристики поперечных сечений. Статические моменты, осевые и центробежные моменты инерции.
15. Формулы перехода к параллельным осям.
16. Главные оси и главные моменты инерции.
17. Изгиб. Внутренние силовые факторы при изгибе. Чистый изгиб. Напряжения при чистом изгибе.
18. Поперечный изгиб. Внутренние силовые факторы при поперечном изгибе. Напряжения при поперечном изгибе. Условие прочности при изгибе.
19. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.
20. Перемещения в стержне при изгибе. Способы определения перемещений в стержнях при изгибе.
21. Интегрирование приближенного дифференциального уравнения изогнутой оси балки.
22. Аналитические и графо-аналитические способы определения перемещений. Интегралы Мора. Способ Верещагина.
23. Статически неопределимые системы при изгибе. Метод сил. Решение простейших статически неопределимых задач при изгибе.
24. Косой изгиб. Нормальные напряжения при косом изгибе. Уравнение нейтральной линии сечения. Условие прочности при косом изгибе.
25. Внецентренное растяжение и сжатие. Нормальные напряжения при внецентренном растяжении и сжатии. Уравнение нейтральной линии сечения при внецентренном растяжении и сжатии.
26. Условие прочности при внецентренном растяжении и сжатии. Ядро сечения.
27. Теории прочности. Теория максимальных касательных напряжений. Энергетическая теория прочности. Выражения для эквивалентных напряжений по III и IV теории прочности.
28. Совместное действие кручения и изгиба. Особенности этого вида нагружения и расчета на прочность.
29. Оболочки. Основные характеристики и свойства оболочек.
30. Расчет оболочек по безмоментной теории. Уравнение Лапласа.
31. Устойчивость сжатых стержней. Критическая сила и критическое напряжение при устойчивости. Пределы применимости формулы Эйлера.

32. Устойчивость сжатых стержней. Влияние закрепления концов стержня на величину критической силы. Гибкость стержня.

33. Динамическое нагружение. Учет сил инерции при динамическом нагружении. Динамический коэффициент при движении тел с ускорением.

34. Динамическое нагружение. Ударные нагрузки. Приближенный расчет на удар. Динамический коэффициент при ударе.

35. Повторно-переменные нагрузки. Характеристики цикла при повторно-переменном нагружении. Усталость материала. Основные свойства.

36. Работа конструкции за пределами упругости. Расчет по несущей способности.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Результаты текущего контроля используются при проведении промежуточной аттестации

Критерии оценки знаний студентов при проведении тестирования

1. Индивидуальная балльная оценка:

- оценка «отлично» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем 85% тестовых заданий;

- оценка «хорошо» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем 70% тестовых заданий;

- оценка «удовлетворительно» - не менее 51 %;

- оценка «неудовлетворительно» - если студент правильно ответил менее чем на 50% тестовых заданий.

2. Показатели уровня усвоения учебного элемента или дисциплины в целом:

- процент студентов, правильно выполнивших задание;

- процент студентов, освоивших все дидактические единицы дисциплины.

Требования к расчетно-графической работе

Расчетно-графическая работа представляет собой один из видов самостоятельной работы обучающихся. По сути – это изложение ответов на определенные теоретические вопросы по учебной дисциплине с решением практических задач. Расчетно-графические работы проводятся для того, чтобы развить у обучающихся способность к анализу научной и учебной литературы, умение обобщать, систематизировать и оценивать практический и научный материал, укреплять навыки овладения понятиями определенной науки и другие.

При оценке расчетно-графической работы преподаватель руководствуется следующими критериями:

- работа была выполнена автором самостоятельно;

- обучающийся освоил лекционный материал, который необходим для осмысления темы работы;

- автор сумел составить логически обоснованный план, который соответствует поставленным задачам и сформулированной цели;

- обучающийся проанализировал дополнительный материал в виде основной дополнительной литературы, информации сайтов интернета;

- расчетно-графическая работа отвечает всем требованиям четкости изложения и аргументированности, объективности и логичности, грамотности и корректности;

- обучающийся сумел обосновать свою точку зрения;

- расчетно-графическая работа оформлена в соответствии с требованиями;

- автор защитил расчетно-графическую работу и успешно ответил на все вопросы преподавателя.

Расчетно-графическая работа, выполненная небрежно, без соблюдения правил, предъявляемых к ее оформлению, возвращается без проверки с указанием причин, которые доводятся обучающемуся. В этом случае работа выполняется повторно.

Критерии оценки знаний при написании расчетно-графической работы

Отметка «отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания вопросов работы и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Отметка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности, которые может устранить с помощью дополнительных вопросов преподавателя.

Отметка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными понятиями выносимых на расчетно-графическую работу тем, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Отметка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания выносимых на расчетно-графическую работу вопросов тем дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий и не умеет использовать полученные знания.

Обучающийся для полного освоения материала должен выполнить весь комплекс расчетно-графических работ. Получить общую среднеарифметическую оценку.

Требования к выполнению контрольной работы

Контрольная работа представляет собой один из видов самостоятельной работы обучающихся. По сути – это изложение ответов на определенные теоретические вопросы по учебной дисциплине, а также решение практических задач. Контрольные проводятся для того, чтобы развить у обучающихся способности к анализу научной и учебной литературы, умение обобщать, систематизировать и оценивать практический и научный материал, укреплять навыки овладения понятиями определенной науки и другие.

При оценке контрольной преподаватель руководствуется следующими критериями:

- работа была выполнена автором самостоятельно;
- обучающийся подобрал достаточный список литературы, который необходим для осмысления темы контрольной;
- автор сумел составить логически обоснованный план, который соответствует поставленным задачам и сформулированной цели;
- обучающийся проанализировал материал;
- контрольная работа отвечает всем требованиям четкости изложения и аргументированности, объективности и логичности, грамотности и корректности;
- обучающийся сумел обосновать свою точку зрения;
- контрольная работа оформлена в соответствии с требованиями;
- автор защитил контрольную работу и успешно ответил на все вопросы преподавателя.

Контрольная работа, выполненная небрежно, не по своему варианту, без соблюдения правил, предъявляемых к ее оформлению, возвращается без проверки с указанием причин, которые доводятся до обучающегося. В этом случае контрольная работа выполняется повторно.

Вариант контрольной работы выдается в соответствии с порядковым номером в списке студентов.

Критерии оценки знаний при написании контрольной работы

Отметка «отлично» выставляется обучающемуся, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания вопросов контрольной работы и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Отметка «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности, которые может устранить с помощью дополнительных вопросов преподавателя.

Отметка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными понятиями выносимых на контрольную работу тем, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Отметка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не знает большей части основного содержания выносимых на контрольную работу вопросов тем дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий и не умеет использовать полученные знания.

Результаты промежуточной аттестации

Зачет

Зачет – форма проверки знаний, умений и навыков, приобретенных обучающимися в процессе усвоения учебного материала лекционных, практических и семинарских занятий по дисциплине.

Критерии оценки знаний на зачете

Зачет может проводиться в форме устного опроса или по вопросам, с предварительной подготовкой или без подготовки, по усмотрению преподавателя.

Вопросы утверждаются на заседании кафедры и подписываются заведующим кафедрой. Преподаватель может проставить зачет без опроса или собеседования тем студентам, которые активно участвовали в семинарских занятиях.

Шкала оценивания: двухбалльная шкала – не зачтено (не выполнено); зачтено (выполнено).

Оценка «**зачтено**» ставится обучающемуся, ответ которого свидетельствует:

- о полном знании материала по программе;
- о знании рекомендованной литературы,
- о знании концептуально-понятийного аппарата всего курса а также содержит в целом правильное и аргументированное изложение материала.

Оценка «**не зачтено**» ставится обучающемуся, имеющему существенные пробелы в знании основного материала по программе, а также допустившему принципиальные ошибки при изложении материала.

Экзамен

Экзамен по дисциплине (модулю) служит для оценки работы обучающегося в течение семестра (семестров) и призван выявить уровень, прочность и систематичность полученных им теоретических и практических знаний, приобретения навыков самостоятельной работы, развития

творческого мышления, умение синтезировать полученные знания и применять их в решении профессиональных задач.

Критерии оценки знаний на экзамене

Экзамен может проводиться в форме устного опроса по билетам (вопросам) или без билетов, с предварительной подготовкой или без подготовки, по усмотрению преподавателя. Экзаменатор вправе задавать вопросы сверх билета, а также, помимо теоретических вопросов, давать задачи по программе данного курса.

Экзаменационные билеты (вопросы) утверждаются на заседании кафедры и подписываются заведующим кафедрой. В билете должно содержаться не более трех вопросов. Комплект экзаменационных билетов по дисциплине должен содержать 20-25 билетов.

Экзаменатор может проставить экзамен без опроса или собеседования тем студентам, которые активно участвовали в семинарских занятиях.

Отметка «отлично» - студент глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает, тесно увязывает теорию с практикой. Студент не затрудняется с ответом при видоизменении задания, свободно справляется с задачами, заданиями и другими видами применения знаний, показывает знания законодательного и нормативно-технического материалов, правильно обосновывает принятые решения, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ, обнаруживает умение самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

Отметка «хорошо» - студент твердо знает программный материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми навыками при выполнении практических заданий.

Отметка «удовлетворительно» - студент усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения в выполнении практических заданий.

Отметка «неудовлетворительно» - студент не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями выполняет практические работы.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература

Прикладная механика [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В.Т. Батиенков и др. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2019. - 339 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=339952>

Прикладная механика: в 2-х ч. Ч. 1. Основы расчета, проектирования и моделирования механизмов [Электронный ресурс]: учебник / А.Н. Соболев и др. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2017. - 224 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=550577>

Прикладная механика: в 2-х ч. Ч. 2. Основы структурного, кинематического и динамического анализа механизмов [Электронный ресурс]: учебник / А. Н. Соболев и др. - М.: КУРС: ИНФРА-М, 2017. - 160 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=550572>

б) дополнительная литература

Прикладная механика [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Т. Батиенков [и др.]. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2017. - 339 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=792243>

Леонов, И.В. Теория механизмов и машин. Основы проектирования по динамическим критериям и показателям экономичности: учебник / И.В. Леонов, Д.И. Леонов. - Москва: Юрайт, 2016. - 239 с.

Прикладная механика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Х.С. Гумерова [и др.]. - Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. - 142 с. - ЭБС «IPRbooks» - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62001.html>

Борисенко, Л.А. Теория механизмов, машин и манипуляторов [Электронный ресурс]: учебное пособие / Л.А. Борисенко. - М.: ИНФРА-М; Мн.: Новое знание, 2013. - 285 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=369685>

Матвеев, Ю.А. Теория механизмов и машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.А. Матвеев, Л.В. Матвеева. - М.: Альфа-М: ИНФРА-М, 2009. - 320 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=151094>

Техническая механика [Электронный ресурс]: учебное пособие для вузов / В.Т. Батиенков и др. - М.: РИОР: ИНФРА-М, 2011. - 384 - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=219137>

Михайлов, А.М. Техническая механика [Электронный ресурс]: учебник / А.М. Михайлов. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 375 с. - ЭБС «Znanium.com» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=550272>

Техническая механика в анализе архитектурных форм сооружений [Электронный ресурс]: учебное пособие / Р.А. Каюмов [и др.]. - Казань: Казанский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. - 346 с. - ЭБС «IPRbooks» - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/73322.html>

Кальмова, М.А. Техническая механика [Электронный ресурс]: учебно-методическое пособие / Кальмова М.А., Муморцев А.Н., Ахмедов А.Д. - Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2016. - 144 с. - ЭБС «IPRbooks» - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/58836.html>

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Разделы лекционного курса дисциплины: Введение. Основные понятия и определения сопротивления материалов. Метод сечений. Внутренние усилия и напряжения. Центральное растяжение и сжатие. Механические характеристики материалов. Диаграмма растяжения углеродистой стали. Сдвиг и кручение. Расчет болтовых и заклепочных соединений. Кручение. Эпюры крутящих моментов. Прямой поперечный изгиб. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Напряжения при чистом и поперечном изгибе. Перемещения при изгибе. Интегрирование дифференциального уравнения упругой линии балки. Интегралы Мора. Способ Верещагина. Статически неопределимые системы при изгибе. Метод сил. Сложное сопротивление. Косой изгиб. Внецентренное растяжение и сжатие. Анализ напряженного и деформированного состояния в точке тела. Критерии прочности и пластичности. Устойчивость продольно сжатых стержней. Пределы применимости формулы Эйлера. Продольно-поперечный изгиб. Динамическое нагружение. Расчет элементов конструкций,двигающихся с ускорением. Расчет при ударе. Оболочки. Расчет симметричных оболочек по безмоментной теории. Работа конструкции за пределами упругости. Расчет по несущей способности. Повторно-переменные нагрузки. Выносливость материала. Факторы, влияющие на предел выносливости.

Для освоения лекционного курса применяются тематические лекции и лекции-визуализации. Тематические лекции представляют студентам основные вопросы темы, практические вопросы и возникающие в связи с ними задачи, способы их решения. Основные блоки лекции, которые обязательно должен усвоить студент, конспектируются. Лекции-визуализации помогают освоить темы, как на слух, так и зрительно, что способствует лучшему усвоению материала.

Практические работы включают в себя решение практических задач на основе теоретического материала, усвоенного студентом на лекционном занятии, а также подготавливают почву для самостоятельного выполнения студентом расчетно-графической работы по соответствующей теме курса. Каждое практическое занятие и расчетно-графическая

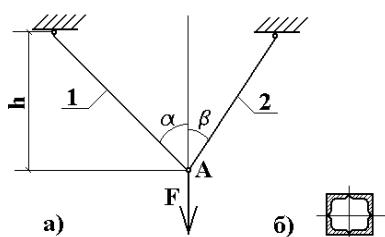
работа дополняет лекционный материал и позволяет студентам самостоятельно использовать свои знания для решения профильных задач. Для выполнения расчетно-графических работ требуются листы формата А4, со стандартной рамкой. Первый лист – титульный включает название работы – тему, данные о студенте, выполнившем работу и соответствующий вариант работы. Последующие листы – постановка задачи (проблемы) и ее решение. Каждая новая расчетно-графическая работа оформляется с нового листа. Для оформления исходных схем и схем расчета необходимы чертежные инструменты. Для грамотного выполнения работы обучающийся обязан изучить предварительно лекционный материал, соответствующую основную и дополнительную литературу, материалы практических занятий по темам. Расчетно-графические работы можно выполнять, используя современные компьютерные технологии.

Каждая выполненная работа защищается преподавателю и оценивается им.

Методические указания к расчетно-графическим работам

Расчетно-графическая работа № 1

Задача 1.1 Статически определимые конструкции. К двум стержням, выполненным из разных материалов, подвешен груз F , как показано на рисунке 1.1, а. Стержень 1 выполнен из стали, стержень 2 – медный. Определить:



1. При заданной величине силы F – параметры сечения стержней 1 и 2 (сечения стержней – четыре равнобоких уголка (рис. 1.1, б)). А также перемещение точки приложения силы F .
2. При заданных размерах сечения стержней 1 и 2, примем одинаковые сечения для обоих стержней (таблица 1.1) – определить предельно допускаемую величину силы F .

Рисунок 1.1

Таблица 1.1

№ п/п	F , кН	Сечение стержней	α , град	β , град	Допускаемое напряжение $[\sigma]_1$, МПа	Допускаемое напряжение $[\sigma]_2$, МПа
0	600	45×45×5	45	30	160	120
1	500	40×40×5	60	30	180	140
2	450	50×50×5	45	60	160	100
3	400	60×60×5	30	45	160	100
4	600	56×56×5	30	60	180	140
5	650	50×50×6	45	60	200	140
6	500	60×60×8	60	45	140	120
7	400	60×60×10	30	60	140	100
8	350	50×50×8	60	45	160	100
9	550	45×45×4	45	60	180	120

Пример решения задачи 1.1

К двум стержням, выполненным из разных материалов, приложена сила $F=500$ кН. Подобрать необходимые параметры сечений стержней 1 и 2, если форма сечения – четыре равнобоких уголка (рис.1.1, б). Материал стержней: 1 – сталь с допускаемым напряжением $[\sigma]_1=180$ МПа, 2 – медь с допускаемым напряжением $[\sigma]_2=120$ МПа. Определим также величину и направление перемещения узла приложения силы F (графически). Углы наклона $\alpha=30^\circ$, $\beta=45^\circ$. Модули упругости материалов стали $E_{cm} = 2 \cdot 10^5$ МПа, и меди $E_{cm} = 1 \cdot 10^5$ МПа. Высота $h=0,7$ м.

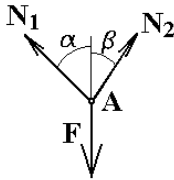


Рисунок 1.2

Решение

Вырежем узел А и рассмотрим его равновесие (рис. 1.2). Для данной системы, сходящаяся система сил, мы можем составить только два уравнения равновесия (в виде суммы сил на оси X и Y). Таким образом, имеем:

$$1) \quad \sum F_{iX} = 0; \quad -N_1 \cdot \sin\alpha + N_2 \cdot \sin\beta = 0, \text{ откуда} \quad (1.1)$$

$$N_2 = N_1 \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}. \quad (1.2)$$

$$2) \quad \sum F_{iY} = 0; \quad N_1 \cdot \cos\alpha + N_2 \cdot \cos\beta - F. \quad (1.3)$$

Подставляя зависимость (1.2) во второе уравнение, имеем

$$N_1 \cdot \cos\alpha + \frac{N_1 \cdot \sin\alpha \cdot \cos\beta}{\sin\beta} - F = 0, \text{ и подставляя числовые значения}$$

$$N_1 \cdot 0,866 + \frac{N_1 \cdot 0,5 \cdot 0,7071}{0,7071} - F = 0,$$

$$1,366 \cdot N_1 = F, \text{ откуда } N_1 = \frac{F}{1,366} = \frac{500}{1,366} = 366 \text{ кН, тогда}$$

$$N_2 = \frac{366 \cdot 0,5}{0,7071} = 258,82 \text{ кН.}$$

Теперь, зная усилия в стержнях, можно определить необходимые параметры сечений. Из условия прочности $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$, получим для первого стержня

$$A_1 = \frac{N_1}{[\sigma_1]} = \frac{366 \cdot 10^3}{180 \cdot 10^6} = 20,33 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 20,33 \text{ см}^2,$$

поскольку по условию задачи сечение состоит из 4-х одинаковых уголков, то необходимый профиль первого стержня

$$A_{11} = \frac{20,33}{4} = 5,08 \text{ см}^2.$$

Аналогично, из того же условия прочности для второго стержня получаем

$$A_2 = \frac{N_2}{[\sigma_2]} = \frac{258,82 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^6} = 21,57 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 21,57 \text{ см}^2,$$

$$\text{тогда необходимая площадь сечения, т.е. площадь сечения профиля } A_{21} = \frac{21,57}{4} = 5,39 \text{ см}^2.$$

По сортаменту, для первого стержня подбираем уголок $45 \times 45 \times 6$, имеющий площадь сечения $A_{11} = 5,08 \text{ см}^2$. Для второго стержня выбираем сечение $50 \times 50 \times 6$, у которого $A_{21} = 5,69 \text{ см}^2$.

Далее, уже зная параметры сечений стержней, определяем перемещение узла А, приложения внешней силы. Для этого поочередно определяем удлинение каждого стержня по формуле:

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot A} \quad (1.4)$$

$$\Delta l_1 = \frac{366 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot \cos 30}{2 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 5,08 \cdot 10^{-4}} = 5,46 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,546 \text{ мм}$$

$$\Delta l_2 = \frac{258,82 \cdot 10^3 \cdot 0,7 \cdot \cos 45}{1 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 5,69 \cdot 10^{-4}} = 5,63 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 0,563 \text{ мм}$$

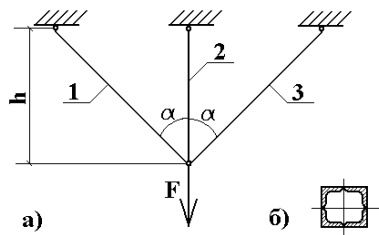
Перемещение узла А получим графически, откладывая на миллиметровке перемещение каждого стержня (под соответствующим углом).



Здесь $|AK| = \Delta l_1$ – удлинение 1-го стержня, $|KA_1| = \Delta l_2$ – удлинение 2-го стержня. Окончательно, $|AA_1|$ – перемещение узла А – вектор, соединяющий начальное и конечное положение узла. Для наглядности, построение выполним в масштабе 50:1 (рис. 1.3). В нашем случае перемещение узла составит 8,6мм.

Рисунок 1.3

Задача 1.2 Статически неопределимые конструкции. К конструкции, состоящей из трех стержней, приложена сила F, как показано на рисунке 1.4, а. Стержни 1 и 2 – стальные, стержень 3 – медный. Сечения стержней одинаковые и состоят из четырех равнобоких уголков (рис. 1.4, б). Модули упругости стержней принять равными: $E_1 = E_3 = 2 \cdot 10^5$ МПа, $E_2 = 1 \cdot 10^5$ МПа.



Требуется:

1. Определить напряжения в стержнях и допускаемую величину силы F при заданных значениях допускаемых напряжений в стержнях.
2. Определить монтажные напряжения в стержнях при условии, что длина 2-го стержня отличается от номинальной на величину λ .

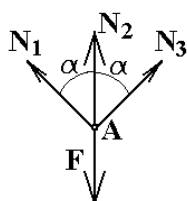
Рисунок 1.4

Таблица 1.2.

№ п п	Сечение профиля стержней	Высота конструкции и h, м	Угол α , град	Отклонение от номинала λ , мм	Допускаемое напряжение $[\sigma]_{1,3}$, МПа	Допускаемое напряжение $[\sigma]_2$, МПа
0	45×45×5	1	60	2	160	120
1	70×70×6	1,5	30	2,5	180	120
2	50×50×5	1,5	45	2,5	200	140
3	50×50×6	0,8	60	1,2	200	140
4	60×60×6	1,2	30	1,5	160	140
5	60×60×5	1	45	2	180	120
6	40×40×5	2	30	3	200	140
7	70×70×7	2	45	3	160	140
8	70×70×9	1	60	1,5	180	140
9	75×75×8	1,6	45	1,5	160	140

Пример решения задачи 1.2

К конструкции, состоящей из трех стержней, приложена сила F, как показано на рисунке 1.4, а. Сечения стержней одинаковые, и состоят из четырех равнобоких уголков 50×50×5 (рис. 1.4, б), площадь поперечного сечения стержней $A = 4 \times 4,8 = 19,2$ см². Модули упругости стержней принять равными: $E_1 = E_3 = 2 \cdot 10^5$ МПа, $E_2 = 1 \cdot 10^5$ МПа. Угол $\alpha=30^\circ$. Материал стержней: 1, 3 – сталь с допускаемым напряжением $[\sigma]_{1,3}=180$ МПа, 3 – медь с допускаемым

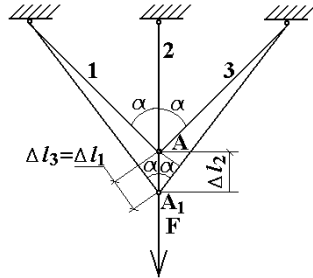


напряжением $[\sigma]_2=120$ МПа. Отклонение длины 2-го стержня от номинала $\lambda=+1,5$ мм. Высота $h=0,7$ м.

Рисунок 1.5

1.2.1. Определить напряжения в стержнях и допустимую величину силы F при заданных значениях допускаемых напряжений в стержнях.

Вырежем узел А и рассмотрим его равновесие (рис. 1.5). Для данной системы сил мы можем составить только два уравнения равновесия (в виде суммы сил на оси X и Y).



$$1) \sum F_{iX} = 0; -N_1 \cdot \sin\alpha + N_3 \cdot \sin\alpha = 0, \quad (1.5)$$

$$-N_1 \cdot \sin 30^\circ + N_3 \cdot \sin 30^\circ = 0, \text{откуда} \\ N_1 = N_3. \quad (1.6)$$

$$2) \sum F_{iY} = 0; N_1 \cdot \cos\alpha + N_3 \cdot \cos\alpha + N_2 - F = 0, \quad (1.7)$$

$$N_1 \cdot \cos 30^\circ + N_3 \cos 30^\circ + N_2 - F = 0.$$

Рисунок 1.6

Таким образом, имеем три неизвестных усилия при двух уравнениях статики. То есть, наша система является один раз статически неопределимой: $(ССН=m-n=3-2=1)$. Здесь ССН – степень статической неопределимости системы, m – число неизвестных усилий в системе, n – число уравнений равновесия для заданной системы сил. Для раскрытия статической неопределимости системы, составляем *уравнение совместности деформации*.

Рассматривая характер совместного деформирования всех трех стержней (рис. 1.6), составляем условие совместного деформирования системы:

$$\Delta l_2 = \frac{\Delta l_1}{\cos\alpha}, \quad (1.8)$$

поскольку $N_1 = N_3$, и $\Delta l_1 = \Delta l_3$, то вторая зависимость выглядит аналогично

$$\Delta l_2 = \frac{\Delta l_3}{\cos\alpha}, \quad (1.19)$$

и можно использовать любую из них, тогда $\Delta l_2 = \frac{\Delta l_1}{\cos 30^\circ}$.

$$\frac{N_2 \cdot l_2}{E_2 \cdot A_2} = \frac{N_1 \cdot l_1}{\cos 30^\circ \cdot E_1 \cdot A_1}.$$

Кроме того, согласно схеме закрепления (рис. 1.6) $l_1 = l_3 = \frac{l_2}{\cos 30^\circ}$ и по условию задачи $A_1 = A_2 = A_3 = A$, $E_1 = E_3 = 2 \cdot E_2$, т.к. $E_{стали} = 2 \cdot E_{меди}$ следовательно

$$\frac{N_2 \cdot l_2}{E_2 \cdot A} = \frac{N_1 \cdot l_2}{\cos^2 30^\circ \cdot 2E_2 \cdot A}, \text{откуда}$$

$$N_2 = \frac{N_1}{2 \cos^2 30^\circ} = \frac{N_1}{1,5}. \quad (1.10)$$

Подставляя зависимость (1.10) в уравнение равновесия (1.7) при использовании (1.6), имеем

$$2N_1 \cos 30^\circ + \frac{N_1}{2 \cos^2 30^\circ} = F; \quad 2,4 \cdot N_1 = F, \text{откуда}$$

$$N_1 = F/2,4. \quad (1.11)$$

Соответственно, реакции в остальных стержнях:

$$N_3 = F/2,4. \quad (1.12)$$

$$N_2 = \frac{F}{1,5 \cdot 2,4} = \frac{F}{3,6}. \quad (1.13)$$

Далее, определяем реакции в стержнях по формуле

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1.14)$$

Соответствующие напряжения:

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \frac{F}{2,4 \cdot 19,2 \cdot 10^{-4}} = \frac{F}{4,6 \cdot 10^{-3}} = 217,0 \cdot F \text{ Па.}$$

$$\sigma_2 = \frac{F}{3,6 \cdot 19,2 \cdot 10^{-4}} = \frac{F}{6,91 \cdot 10^{-3}} = 144,7 \cdot F \text{ Па.}$$

Используя полученные зависимости для напряжений в стержнях и заданные значения допускаемых напряжений, определим допустимое значение нагрузки F :

$$[F]_1 = \frac{[\sigma]_1}{217,4} = \frac{180 \cdot 10^6}{217,4} = 829493 \text{ Н} \approx 829,5 \text{ кН.}$$

$$[F]_2 = \frac{[\sigma]_2}{144,7} = \frac{120 \cdot 10^6}{144,7} = 829302 \text{ кН} = 829,3 \text{ кН.}$$

Поскольку, допускаемое значение внешнего усилия, полученного из условия прочности второго стержня меньше, чем аналогичное, полученное из условия прочности первого, то окончательно допускаемая величина силы F принимается равной 829,3 кН:

$$[F] = 829,3 \text{ кН}$$

1.2.2 Определить монтажные напряжения в стержнях от неточности изготовления 2-го стержня. Второй стержень выполнен больше своей номинальной длины на 1,5 мм (рис 1.7).

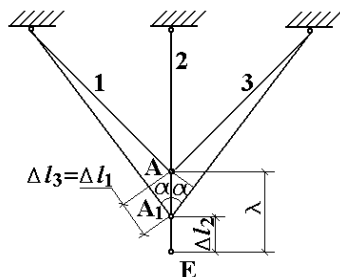
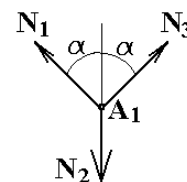


Рисунок 1.7

Поскольку стержень 2 выполнен отличным от номинала, то соединение конструкции в точке А невозможно, также невозможно соединить стержни и в точке Е, поскольку не позволяют стержни 1 и 3. Соединение возможно в некоей промежуточной точке A_1 . При этом происходит деформирование всех трех стержней: стержни 1 и 3 удлиняются, а стержень 2 – укорачивается. При этом в стержнях возникают соответствующие продольные силы. Вырежем узел A_1 и

рассмотрим его равновесие (рис. 1.8).

Рисунок 1.8



Уравнения равновесия узла A_1 запишем в виде суммы сил на оси X и Y.

$$\sum F_{iX} = 0; -N_1 \cdot \sin\alpha + N_3 \cdot \sin\alpha = 0, \text{ откуда}$$

$$N_1 = N_3. \quad (1.15)$$

$$\sum F_{iY} = 0; N_1 \cdot \cos\alpha + N_3 \cdot \cos\alpha - N_2 = 0. \quad (1.16)$$

Подставив (1.15) в (1.16), получим

$$2N_1 \cdot \cos\alpha = N_2. \quad (1.17)$$

Тогда, согласно условию задачи $N_2 = 2N_1 \cdot \cos 30^\circ$.

Имеем одно уравнение при двух неизвестных. Составляем дополнительно уравнение совместности деформации (рис. 1.7):

$$\lambda = \Delta l_2 + \frac{\Delta l_1}{\cos 30^\circ} \quad (1.18)$$

Подставляя сюда выражения для деформаций из (1.4), получаем

$$\lambda = \frac{N_2 \cdot l_2}{E_2 \cdot A_2} + \frac{N_1 \cdot l_1}{E_1 \cdot A_1 \cdot \cos 30^\circ} \quad (1.19)$$

Кроме того, из той же схемы рисунка 1.7, видно, что длины стержней связаны зависимостью

$$l_1 = l_2 / \cos\alpha. \quad (1.20)$$

Таким образом, используя (1.20) и условие, что $E_1 = E_3 = 2 \cdot E_2$, т.к. $E_{стали} = 2 \cdot E_{меди}$ и $A_1 = A_2 = A_3 = A$, получаем

$$\lambda = \frac{N_2 \cdot l_2}{E_2 \cdot A} + \frac{N_1 \cdot l_2}{2 \cdot E_2 \cdot A \cdot \cos^2 30^\circ}$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot N_2 \cdot l_2 \cdot \cos^2 30^\circ}{2 \cdot E_2 \cdot A \cdot \cos^2 30^\circ} + \frac{N_1 \cdot l_2}{2 \cdot E_2 \cdot A \cdot \cos^2 30^\circ}$$

$$\lambda \cdot 2 \cdot E_2 \cdot A \cdot \cos^2 30^\circ = 2 \cdot N_2 \cdot l_2 \cdot \cos^2 30^\circ + N_1 \cdot l_2$$

Используя (1.17), получаем

$$\lambda \cdot 2 \cdot E_2 \cdot A \cdot \cos^2 30^\circ = 4 \cdot N_1 \cdot l_2 \cdot \cos^3 30^\circ + N_1 \cdot l_2$$

$$N_1 = \frac{\lambda \cdot 2 \cdot E_2 \cdot A \cdot \cos^2 30^\circ}{4 \cdot l_2 \cos^3 30^\circ + l_2}, \text{ подставим числовые значения, учитывая что, } h = \Delta l_2, \text{ имеем}$$

$$N_1 = N_3 = \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10^{11} \cdot 19,2 \cdot 10^{-4} \cdot 0,75}{4 \cdot 0,7 \cdot 0,65 + 0,7} = \frac{432000}{2,52} = 171429 \text{ Н} = 171,4 \text{ кН.}$$

$$N_2 = 2 \cdot 171,4 \cdot \cos 30^\circ = 296,9 \text{ кН}$$

Соответствующие монтажные напряжения в стержнях будут равны:

$$\sigma_1 = \sigma_3 = \frac{171429}{19,2 \cdot 10^{-4}} = 89,3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 89,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{296924}{19,2 \cdot 10^{-4}} = 154,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 154,6 \text{ МПа}$$

Поскольку $\sigma_2 > [\sigma]_2 = 120 \text{ МПа}$, то для сохранения прочности конструкции, необходимо увеличить площадь сечения стержня 2 до значения

$$A_2 = \frac{296924}{120 \cdot 10^6} = 24,74 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 24,74 \text{ см}^2,$$

тогда необходимый профиль сечения $A_{22} = \frac{24,74}{4} = 6,19 \text{ см}^2$. Таким образом, необходимым профилем для стержня 2 является уголок $50 \times 50 \times 7$ с $A_{22} = 6,56 \text{ см}^2$.

Задача 1.3 Влияние изменения температуры при растяжении и сжатии. Температура металлического стержня, жестко зашпемленного с обоих концов, изменяется на величину $\Delta t, ^\circ\text{C}$ (рис. 1.9). Определить величину напряжения и деформации, возникающих в стержне при изменении температуры. Коэффициент линейного расширения материала $\alpha, ^\circ\text{C}^{-1}$.

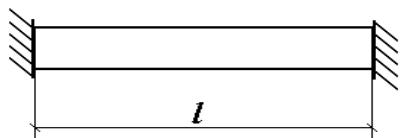


Рисунок 1.9

Таблица 1.3

№ п/п	Длина l , м	Изменение температуры, $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Материал	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^7, ^\circ\text{C}^{-1}$
0	1.2	40	алюминий	230
1	1.4	-40	медь	170
2	1.6	-50	сталь	120
3	1.8	50	сталь	120
4	2.0	30	медь	170
5	1.7	-30	алюминий	230
6	1.5	60	сталь	120
7	1.9	-55	алюминий	230
8	1.3	55	медь	170
9	2.2	-60	сталь	120

Пример решения задачи 1.3.

Пусть задан медный ($E = 1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$) стержень длиной $l=1,5 \text{ м}$, жестко зашпемленный обоими концами (рис.1.9), температура которого повышается на $\Delta t = 50 ^\circ\text{C}$. Определить величину напряжения и деформации, возникающих в стержне при изменении температуры. Коэффициент линейного расширения материала $\alpha = 170 \cdot 10^{-7}, ^\circ\text{C}^{-1}$.

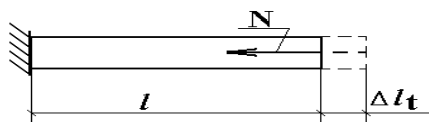


Рисунок 1.10

По условию задачи температура стержня повысилась на $\Delta t = 50 ^\circ\text{C}$. При нагревании происходит расширение материала, т.е. стержень удлиняется на величину Δl_t , м. Изменение длины стержня определяется по формуле

$$\Delta l_\Sigma = \Delta l + \Delta l_t, \tag{1.21}$$

где Δl_Σ - общее (полное) изменение длины стержня, Δl – механическая деформация, и, наконец

$$\Delta l_t = l \cdot \alpha \cdot \Delta t, \tag{1.22}$$

изменение длины стержня под действием изменения температуры.

Отбросим одну из опор, например правую, заменив ее возникающим при нагревании усилием N_t и соответствующим удлинением Δl_t (рис. 1.10). Поскольку защемление обоих концов стержня приводит к тому, что общая деформация равна нулю, и, следовательно, механическая деформация компенсирует температурное расширение, то есть является сжатием. Из (1.21) получаем

$$\Delta l_t - \Delta l = 0, \text{ откуда} \\ \Delta l_t = \Delta l.$$

Подставляя в это выражение формулы для Δl_t и Δl , получаем

$$l \cdot \alpha \cdot \Delta t = \frac{N \cdot l}{E \cdot A}.$$

Продольное усилие, возникающее в стержне при изменении температуры

$$N = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A$$

$$N = 170 \cdot 10^{-7} \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{11} \cdot 19,2 \cdot 10^{-4} = 163200 \text{ Н}.$$

А соответствующие напряжение и изменение длины, укорочение,

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$\sigma = \frac{163200}{19,2 \cdot 10^{-4}} = 85 \cdot 10^6 \text{ Па} = 85 \text{ МПа}$$

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot A}$$

$$\Delta l = \Delta l_t = \frac{163200 \cdot 1,5}{1 \cdot 10^{11} \cdot 19,2 \cdot 10^{-4}} = 1,28 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 1,28 \text{ мм}$$

Ответ: $\sigma = 85 \text{ МПа}$, $\Delta l = \Delta l_t = 1,28 \text{ мм}$

Расчетно-графическая работа № 2

Определение геометрических характеристик составного сечения. Согласно номеру и схеме задания (рис. 2.1), табл. 2.1, определить положение главных центральных осей и главные моменты инерции сечения. Схему расположения ЦГ и главных центральных осей сечения выполнить на листах миллиметровой бумаги в масштабе (1:1 или 1:2).

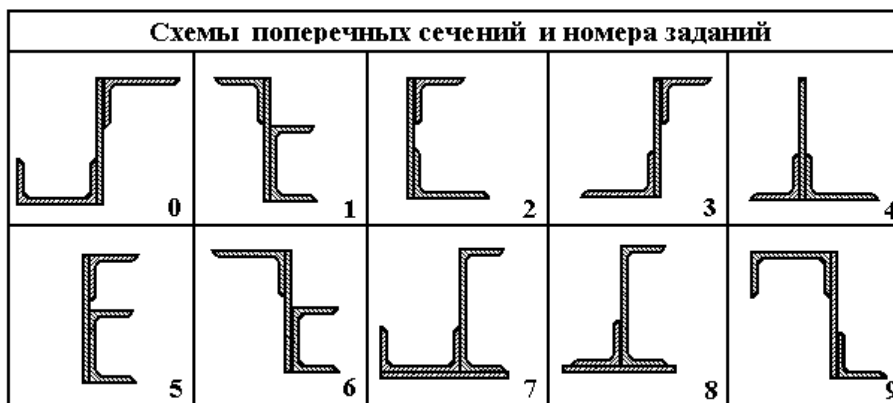


Рисунок 2.1

Таблица 2.1

№ условия	Составляющие элементы сечения			
	Швеллер	Уголок равнобокий	Уголок неравнобокий	Лист
0	№16	100x100x10	160x100x12	180x20
1	№20	120x120x12	110x70x8	300x16
2	№18	100x100x12	180x110x10	260x10
3	№22	160x160x12	140x90x10	300x12
4	№24	140x140x12	160x100x14	360x20
5	№20a	120x120x15	160x100x12	320x16
6	№18a	100x100x14	160x100x12	300x16
7	№16a	125x125x12	125x80x10	250x12
8	№18	100x100x12	140x90x10	260x16

9	№14	125x125x10	110×70×8	240×10
Примечание. Если в составе сечения отсутствует какой-либо из профилей, то данные из таблицы, относящиеся к нему, игнорируются, а учитываются только присутствующие элементы.				

Пример выполнения задачи 2

Для неравнополочного уголка 100×63×10 полосы 220×14 и швеллера №18 (рис. 2.2) определить положение главных центральных осей и величину главных моментов инерции.

Решение

Из сортамента выбираем параметры сечения Таблица 2.2.

Показываем центры тяжести сечений C_1 , C_2 и C_3 , проводим центральные оси для каждого сечения

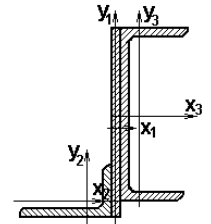


Рис. 2.2

Таблица 2.2

Параметры сечения	Элементы сечения		
	Полоса 220×14 №1	Уголок неравнополочный 100×65×10 №2	Швеллер №18 №3
Площадь A , $см^2$	30,8	15,67	20,7
Моменты инерции J_x , $см^4$	1242	51,68	1090
Моменты инерции J_y , $см^4$	5	155,52	86
Расстояние до центра тяжести x_0 , $см$	На оси симметрии	3,37	1,94
Расстояние до центра тяжести y_0 , $см$	На оси симметрии	1,64	На оси симметрии
Центробежный момент инерции J_{xy} , $см^4$	0	51,18	0

Моменты инерции полосы рассчитываем как для прямоугольника:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{1,4 \cdot 22^3}{12} = 1242 см^4$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12} = \frac{22 \cdot 1,4^3}{12} = 5 см^4$$

Выбираем в качестве вспомогательных осей центральные оси полосы. Тогда, координаты центров тяжести сечений 1, 2 и 3 относительно выбранных осей:

$C_1(0;0)$; $C_2(-3,37+0,7)$; $-(11-1,64)$; $C_3(1,94+0,7)$; $11-9$) то есть

$C_1(0;0)$; $C_2(-4,07)$; $-(9,36)$; $C_3(2,64)$; 2)

Определяем координаты центра тяжести сечения в этих осях по формулам [1]:

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}, \quad x_c = \frac{S_y}{A} = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}. \quad (2.1)$$

$$x_c = \frac{15,67 \cdot (-4,07) + 20,7 \cdot 2,64}{30,8 + 20,7 + 15,67} = -0,14 \text{ см}; \quad y_c = -\frac{15,67 \cdot (-9,36) + 20,7 \cdot 2}{30,8 + 20,7 + 15,67} = -1,57 \text{ см}.$$

Отложив полученные значения от осей x_1 , y_1 , находим положение центра тяжести сечения (рис. 2.3).

Проводим центральные оси сечения X , Y . Положение центров тяжести элементов сечения C_1 , C_2 и C_3 относительно этих осей запишутся следующим образом:

$C_1(0,14; 1,57)$, $C_2(-4,07-0,14)$; $-(9,36-1,57)$, $C_3(2,64+0,14)$; $2+1,57$, то есть $C_1(0,14; 1,57)$, $C_2(-3,93; -7,79)$, $C_3(2,78; 3,57)$

Находим осевые и центробежные моменты инерции сечения относительно центральных осей X , Y по формулам: $J_X = \sum J_{X1} + a_i^2 \cdot A_i$; $J_Y = \sum J_{Y1} + b_i^2 \cdot A_i$;

$$J_{XY} = \sum J_{X1Y1} + a_i \cdot b_i \cdot A_i. \quad (2.2)$$

причем здесь $a_i = y_i$ и $b_i = x_i$.

$$J_x = 1242 + 1,57^2 \cdot 30,8 + 51,68 + (-7,79)^2 \cdot 15,67 + 1090 + 3,57^2 \cdot 20,7 = 3674 \text{ см}^4$$

$$J_y = 5 + 0,14^2 \cdot 30,8 + 155,52 + (-3,93)^2 \cdot 15,67 + 86 + 2,78^2 \cdot 20,7 = 649 \text{ см}^4$$

$$J_{xy} = 0 + 0,14 \cdot 1,57 \cdot 30,8 + 51,18 + (-3,93) \cdot (-7,79) \cdot 15,67 + 0 + 2,78 \cdot 3,57 \cdot 20,7 = 743 \text{ см}^4$$

$$J_{xy} = 0 + 0,14 \cdot 1,57 \cdot 30,8 + 51,18 + (-3,93) \cdot (-7,79) \cdot 15,67 + 0 + 2,78 \cdot 3,57 \cdot 20,7 = 743 \text{ см}^4$$

Вычисляем значения главных центральных моментов инерции сечения по формулам [1]:

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_x + J_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_x - J_y)^2 + 4 \cdot J_{xy}^2} \quad (2.3)$$

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{3674 + 649}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(3674 - 649)^2 + 4 \cdot 743^2} = 2161,5 \pm 1685,1 \text{ см}^4$$

или окончательно $J_{\max} = 3846,6 \approx 3847 \text{ см}^4$; $J_{\min} = 476,4 \approx 476 \text{ см}^4$.

Определяем положение главных центральных осей по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = - \frac{J_{xy}}{J_{\max} - J_y}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = - \frac{743}{3847 - 649} = -0,232, \quad \alpha_1 = -13,08 \text{ или } \alpha_1 = -13^\circ 5'$$

Положительные углы откладываются от оси X против хода часовой стрелки, а отрицательные – по ходу часовой стрелки. Напомним, что угол α_1 - это угол между осью X и осью, относительно которой момент инерции равен

J_{\max} (рис. 1.3).

Выполняем проверку правильности вычислений:

$$J_x + J_y = J_{\max} + J_{\min},$$

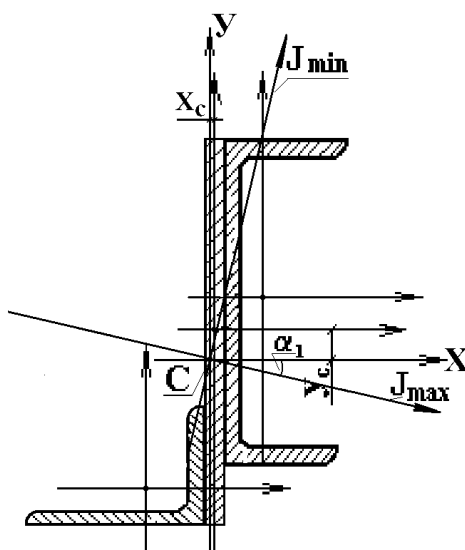
$$674 + 649 = 3847 + 476$$

$$4323 = 4323$$

Правая часть равна левой, следовательно, вычисления выполнены верно.

Выполняем чертеж сечения в масштабе, либо в натуральную величину (см. рис. 2.3) на миллиметровой бумаге формата А4, с нанесенными главными центральными осями сечения и указанными расчетными величинами x_c , y_c .

Рисунок 2.3



Расчетно-графическая работа № 3

Статически определяемые системы при кручении. К стальному валу приложены 4 крутящих момента: M_1, M_2, M_3, M_4 . Требуется:

1. построить эпюру крутящих моментов;
2. при заданном значении допускаемого напряжения $[\tau]$ определить диаметр вала d из расчёта на прочность и округлить его значение до ближайшего большего, равного: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 мм;
3. построить эпюру углов закручивания φ ;
4. найти наибольший относительный угол закручивания γ (на 1 м).
Данные для расчёта взять из Таблицы 3.1 и рис. 3.2.

Таблица 3.1

	Расстояния (м)	Крутящие моменты (Н·м)	$[\tau]$

Номер варианта	a	b	c	d	M_1	M_2	M_3	M_4	МПa
0	1,1	1,2	1,3	0,7	1100	800	1000	1200	55
1	1,2	1,3	0,9	0,8	1200	950	2000	1300	60
2	0,6	1,1	1,2	1,0	1300	700	1950	1400	65
3	1,5	1,6	0,8	1,1	1400	600	1750	750	70
4	1,6	0,9	1,0	0,9	1500	1900	1550	1050	75
5	1,0	0,8	1,7	0,5	1600	1750	1100	900	80
6	1,7	1,8	1,5	1,6	1700	1500	1200	1000	85
7	1,8	0,7	1,4	1,3	1800	1400	1350	1500	90
8	1,9	2,0	1,1	1,9	1900	1650	1450	2000	90
9	2,0	1,9	1,8	1,7	2000	1000	1550	1650	100

Пример решения задачи 3.1

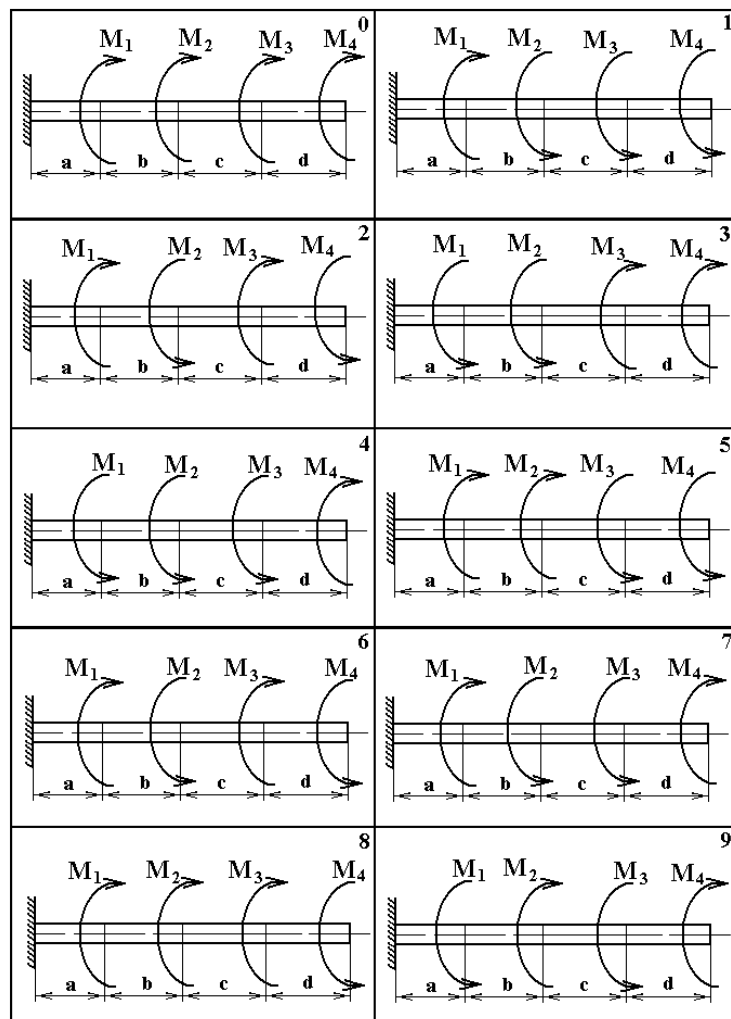


Рисунок 3.2

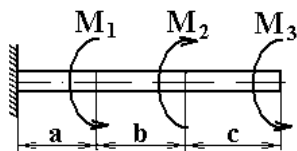


Рис. 3.1.

К стальному валу приложены три крутящих момента: $M_1=5$ кН·м, $M_2=4$ кН·м, $M_3=0,5$ кН·м (рис. 3.2). Размеры вала $a=1,1$ м; $b=0,8$ м; $c=1,3$ м. Допускаемое касательное напряжение $[\tau]=45$ МПа. Требуется:

1. построить эпюру крутящих моментов;
2. при заданном значении допускаемого касательного напряжения $[\tau]$ определить диаметр вала d из расчёта на прочность;
3. построить эпюру углов закручивания;
4. найти наибольший относительный угол закручивания (на 1 м).

Решение

1. Покажем расчётную схему (рис. 3.3). Реакцию в заделке определять не нужно, поскольку, используя метод сечений, можно при движении справа налево постоянно отбрасывать левую часть. Вал имеет три силовых участка. Рассмотрим равновесие каждого из этих участков.

I участок $0 \leq z_1 < c$;

$$M(z_1) = M_3;$$

Так как момент на участке постоянный (не зависит от длины участка), то

$$M(0) = M(1,3) = 0,5 \text{ кН·м}$$

II участок $0 \leq z_2 < b$;

$$M(z_2) = M_3 - M_2$$

Так как момент на участке постоянный (не зависит от длины участка), то

$$M(0) = M(0,8) = -3,5 \text{ кН·м}$$

III участок $0 \leq z_3 < a$;

$$M(z_3) = M_3 - M_2 + M_1$$

Так как момент на участке постоянный (не зависит от длины участка), то

$$M(0) = M(1,1) = 1,5 \text{ кН·м}$$

2. Как видно из эпюры (рис. 3.3), по абсолютной величине максимальным является момент на II участке: $M_{\max} = 3,5$ кН·м. По этому моменту будем рассчитывать диаметр вала по формуле [2]:

$$\tau = \frac{M_{\max}}{W_p} \leq [\tau], \quad (3.1)$$

где W_p – полярный момент сопротивления.

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \quad (3.2)$$

С учётом (3.2) выразим диаметр d из (3.1):

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\max}}{\pi \cdot [\tau]}} = 4,27 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 42,7 \text{ мм} \quad (3.3)$$

Согласно стандартному ряду принимаем $d = 50$ мм.

3. При построении эпюр углов закручивания будем использовать формулы [2]:

$$\text{Для углов закручивания: } \varphi = \frac{M \cdot l}{G \cdot J_p} \quad (3.4)$$

Для относительных углов закручивания:

$$\gamma = \frac{M}{G \cdot J_p} \quad (3.5)$$

где M – крутящий момент на данном участке;

l – длина данного участка;

G – модуль упругости при сдвиге, для стали $G = 8 \cdot 10^4$ МПа;

J_p – полярный момент инерции.

$$J_p = \pi \cdot d^4 / 32 = 62,5 \text{ см}^4.$$

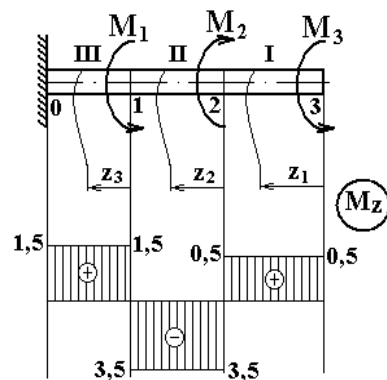


Рис. 3.3.

Эпюру углов закручивания необходимо строить с места защемления балки, так как в этом месте угол закручивания φ известен ($\varphi=0$), то есть с участка III (рис. 3.4).

III участок $0 \leq z_3 < a$;

$$\varphi(z_3) = \frac{M(z_3) \cdot z_3}{G \cdot J_p}; \quad \varphi(0)=0; \quad \varphi(1,1)=0,033 \text{ рад}$$

$$\gamma(z_3) = \frac{M(z_3)}{G \cdot J_p}; \quad \gamma(0)=\gamma(1,1)=0,03 \text{ рад/м}$$

II участок $0 \leq z_2 < b$;

$$\varphi(z_2) = \frac{M(z_2) \cdot z_2}{G \cdot J_p}; \quad \varphi(0)=0,033 \text{ рад}; \quad \varphi(0,8)=-$$

0,056 рад

$$\gamma(z_2) = \frac{M(z_2)}{G \cdot J_p}; \quad \gamma(0)=\gamma(0,8)=-0,07 \text{ рад/м}$$

I участок $0 \leq z_1 < c$;

$$\varphi(z_1) = \frac{M(z_1) \cdot z_1}{G \cdot J_p}; \quad \varphi(0)=0,056 \text{ рад}; \quad \varphi(1,3)=0,013 \text{ рад}$$

$$\gamma(z_1) = \frac{M(z_1)}{G \cdot J_p}; \quad \gamma(0)=\gamma(1,3)=0,013 \text{ рад/м}$$

Наибольший относительный угол закручивания – на втором участке: $\gamma = -0,07$ рад/м

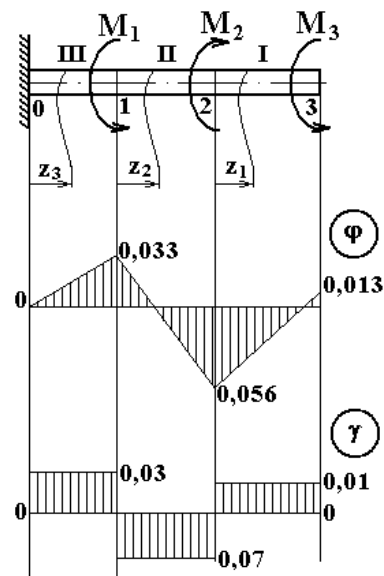


Рис. 3.4

Расчетно-графическая работа № 4

Изгib. Построение эпюр

Для заданных двух схем балок (рис. 4.1) необходимо написать выражения M и Q для каждого участка в общем виде и, построить эпюры M и Q . Требуется:

1. Подобрать для схем (а) и (б) балку круглого, прямоугольного (отношение сторон $h/b=2$), кольцевого (отношение диаметров $c=0,7$), двутаврового сечений при заданном $[\sigma]$;
2. Сравнить площади поперечных сечений и сделать вывод о том, какая форма наиболее рациональна.

Данные для расчета взять из Таблицы 4.1 и рис. 4.1.

Таблица 4.1

Номер варианта	q кН/м	F кН	M кНм	a м	$[\sigma]$ МПа
0	-10	15	-10	0.5	160
1	12	-20	-15	0.8	180
2	-17	11	17	0.9	200
3	11	-14	-9	1.1	250
4	-13	16	14	0.4	280
5	14	-18	-13	0.7	220
6	-16	22	-18	0.6	240
7	15	-12	12	1.2	300
8	-19	10	19	1.4	280
9	20	-13	20	1.5	320

Примечание: Знак «-» перед значением нагрузки (q, F или M) показывает, что направление заданной нагрузки необходимо изменить на противоположное, а в расчетах использовать значение, взятое по модулю.

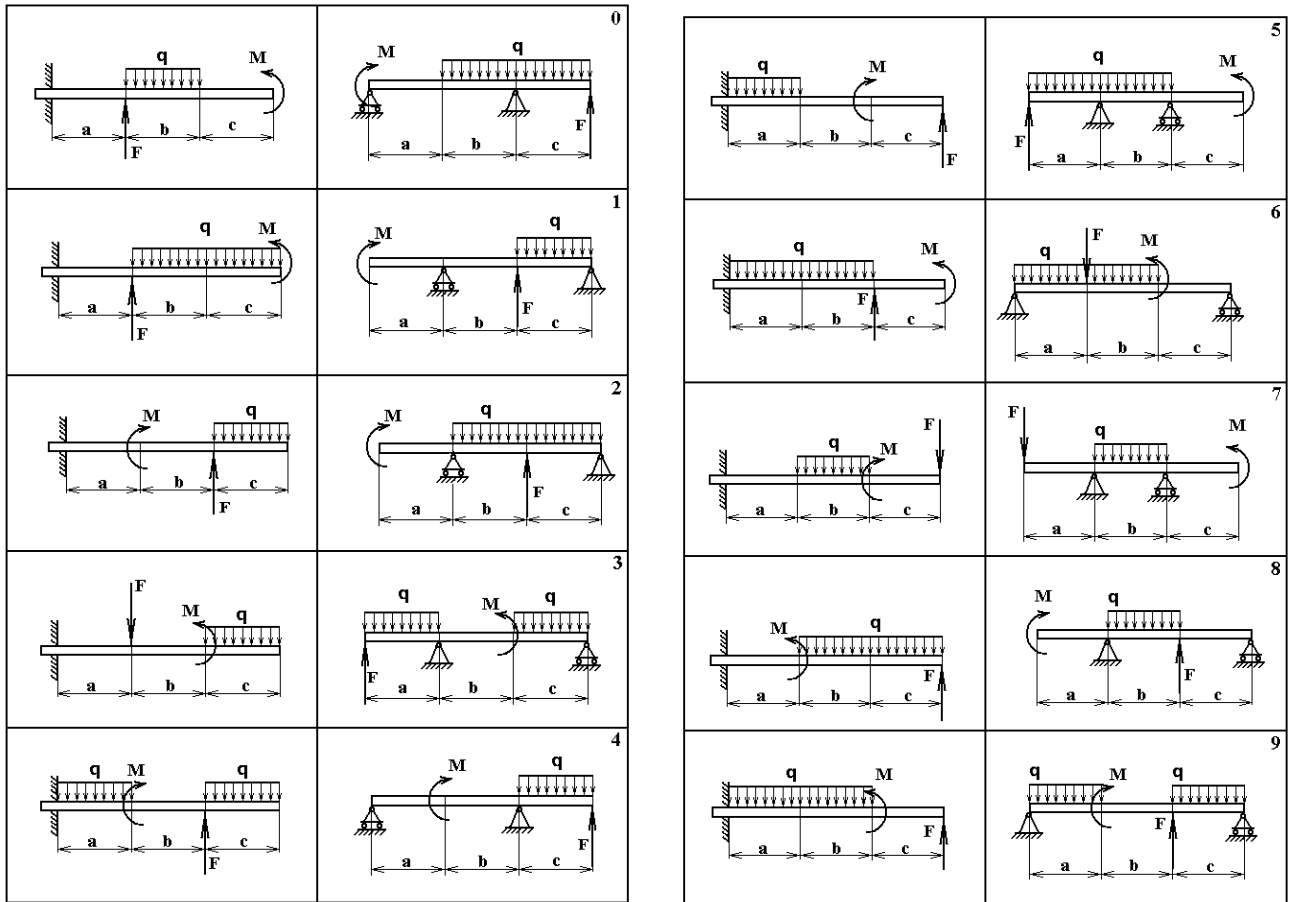
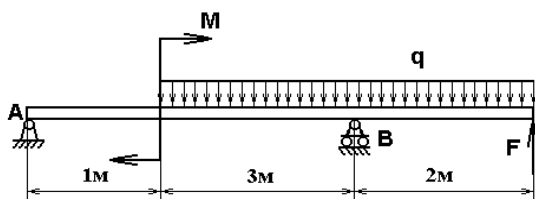


Рисунок 4.1 – Схемы балок и нагрузки

Пример решения задачи 4.1

Дана двухопорная балка с приложенными к ней нагрузками $M=4 \text{ кН}\cdot\text{м}$; $F=2 \text{ кН}$; $q=3 \text{ кН/м}$ (рис. 4.2). Допускаемое напряжение $[\sigma]=160 \text{ МПа}$.

Рисунок 4.2



Требуется:

1. Подобрать для схем (а) и (б) балку круглого, прямоугольного (отношение сторон $h/b=2$), кольцевого (отношение диаметров $c=0,6$), двутаврового сечений при заданном $[\sigma]$;
2. Сравнить площади поперечных сечений и сделать вывод о том, какая форма наиболее рациональна.

Решение

1. Вначале определяем опорные реакции балки. Составляем уравнения моментов относительно опорных точек.

$$\sum M_A(F_i) = 0; F \cdot 6 + R_B \cdot 4 - q \cdot 5 \cdot 3,5 - M = 0, \text{ откуда}$$

$$R_B = \frac{q \cdot 5 \cdot 3,5 - F \cdot 6 + M}{4}; R_B = \frac{3 \cdot 17,5 - 12 + 4}{4} = 11,125 \text{ кН}$$

$$\sum M_B(F_i) = 0; -R_A \cdot 4 - M + q \cdot 5 \cdot 0,5 + F \cdot 2 = 0, \text{ откуда}$$

$$R_A = \frac{q \cdot 5 \cdot 0,5 - M + F \cdot 2}{4}; R_A = 1,875 \text{ кН}$$

Проверяем правильность определения опорных реакций:

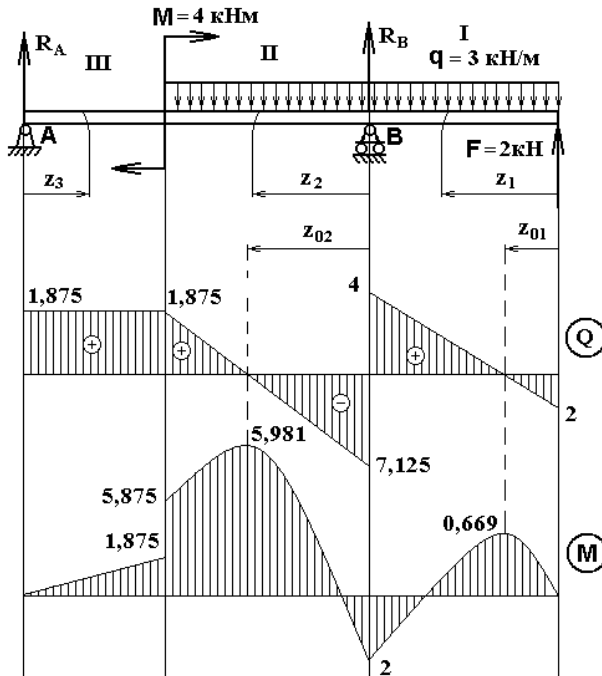
$$\sum F_{iy} = R_A - q \cdot 5 + R_B + F = 1,875 - 15 + 11,125 + 2 = 0, \text{ следовательно, опорные реакции найдены правильно.}$$

2. Далее запишем уравнения поперечных сил и изгибающих моментов для каждого участка балки.

Участок I. $0 \leq z_1 < 2$ м.

$$Q(z_1) = -F + q \cdot z_1; \quad Q(0) = -F = -2 \text{ кН}; \quad Q(2) = 4 \text{ кН}.$$

$$M(z_1) = F \cdot z_1 - q \cdot \frac{z_1^2}{2}; \quad M(0) = 0; \quad M(2) = -2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$



Строим эпюры по вычисленным значениям (Рис. 4.3).

Так как на силовом участке поперечная сила пересекает нулевую линию, то на эпюре моментов должен быть экстремум.

Вычислим положение этого сечения.

$$Q(z_{01}) = -F + q \cdot z_{01} = 0;$$

$$\Rightarrow z_{01} = \frac{F}{q} = 0,66 \text{ м}.$$

$$M(0,66) = 0,669 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Участок II. $0 \leq z_2 < 3$ м.

$$Q(z_2) = -F - R_B + q \cdot (2 + z_2);$$

$$Q(0) = -F = -7,125 \text{ кН}; \quad Q(3) = 1,875 \text{ кН}.$$

$$M(z_2) = F \cdot (2 + z_2) + R_B \cdot z_2 - q \cdot (2 + z_2)^2 / 2;$$

$$M(0) = -2 \text{ кН} \cdot \text{м}; \quad M(3) = 5,875 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Строим эпюры по вычисленным значениям (рис. 4.3).

Рисунок 4.3

Так как на силовом участке поперечная сила пересекает нулевую линию, то на эпюре моментов должен быть экстремум.

Вычислим положение этого сечения.

$$Q(z_{02}) = -F - R_B + q \cdot z_{02} = 0; \quad z_{02} = 2,37 \text{ м}.$$

$$M(2,37) = 5,981 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Участок III. $0 \leq z_3 < 1$ м.

$$Q(z_3) = R_A; \quad Q(0) = Q(1) = R_A = 1,875 \text{ кН}.$$

$$M(z_3) = R_A \cdot z_3; \quad M(0) = 0; \quad M(1) = 1,875 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов по участкам (рис. 4.3).

Итак, опасным будет сечение, в котором изгибающий момент достигает максимального значения по абсолютной величине.

В данной задаче $M_{\max} = 5,981 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

3. Вычисляем необходимый момент сопротивления поперечного сечения балки

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{5,981 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 37,4 \text{ см}^3.$$

- 3.1. Двутавровое поперечное сечение.

Этому моменту сопротивления $W_x = 37,4 \text{ см}^3$ соответствует двутавр №10, момент сопротивления и площадь поперечного сечения которого соответственно равны $W_x = 39,7 \text{ см}^3$; $A = 12 \text{ см}^2$.

- 3.2. Прямоугольное сечение ($h/b=2$).

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{h^3}{12} = 37,4 \Rightarrow h = \sqrt[3]{12 \cdot 37,4} = \sqrt[3]{448,8} = 7,65 \text{ см}.$$

$$h = 7,65 \text{ см}; \quad b = 3,83 \text{ см}; \quad A = 29,26 \text{ см}^2.$$

- 3.3. Круглое поперечное сечение:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 37,4, \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot W_x} = 7,25 \text{ см}$$

$$A = \pi \cdot r^2 = 41,3 \text{ см}^2.$$

3.4. Кольцевое сечение ($c=0,5$).

$$W_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32} (1 - c^4) = 37,4 \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_x}{\pi \cdot (1 - c^4)}} = 7,4 \text{ см}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4} (1 - c^2) = 32,3 \text{ см}^2.$$

4. Сравниваем площади поперечных сечений A , см² подобранных профилей, сведя данные в Таблицу 4.2:

Таблица 4.2

Тип сечения	Площадь сечения, см ²
Двутавровое	12
Прямоугольное	29,26
Круглое	41,3
Кольцевое	32,3

Таким образом, при изгибе оптимальным является сечение двутавра.

Пример построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для консольной балки не приведен, т.к. задача решается так же, как и первая. Особенностью является то, что начала координат для всех силовых участков следует выбирать со стороны свободного конца балки. В этом случае нет необходимости вычислять вертикальную составляющую реакции и реактивный момент в заделке.

Расчетно-графическая работа № 5

Внецентренное сжатие. Чугунный короткий стержень сжимается продольной силой F , приложенной в точке A . Требуется:

1. вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении, выразив эти напряжения через F и размеры сечения;
2. найти допускаемую нагрузку $[F]$ при заданных размерах сечения и допускаемых напряжениях для чугуна на сжатие $[\sigma_c]$ и на растяжение $[\sigma_p]$.

Данные для расчёта взять из Таблицы 5.1 и рисунка 5.1.

Таблица 5.1

Номер варианта	a, см	b, см	$[\sigma_c]$, МПа	$[\sigma_p]$, МПа
0	6	4	120	30
1	4	6	130	40
2	5	7	140	50
3	5	8	150	60
4	8	6	140	60
5	6	8	130	50
6	7	10	120	60
7	8	10	150	70
8	10	8	140	70
9	9	7	130	60

Пример выполнения работы

Чугунный короткий стержень, поперечное сечение которого показано на рисунке 5.2, сжимается продольной силой F , приложенной в точке A . Требуется:

1. вычислить наибольшие растягивающие и сжимающие напряжения в поперечном сечении, выразив эти напряжения через F и размеры сечения;

найти допустимую нагрузку [F] при заданных размерах сечения и допустимых напряжениях для чугуна: на сжатие $[\sigma_c]=100$ МПа и на растяжение $[\sigma_p]=25$ МПа.

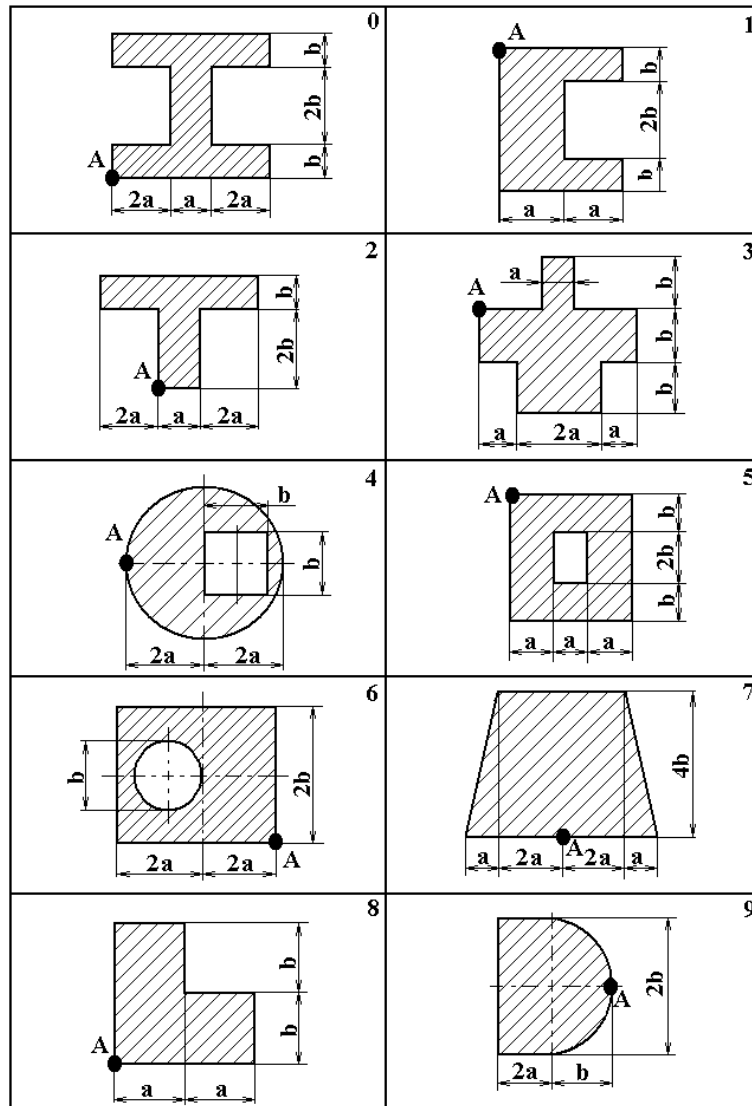
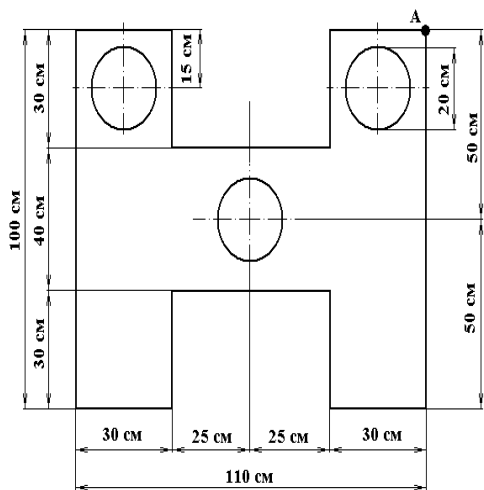


Рисунок 5.1 – Схемы сечений

Нормальные напряжения в любой точке поперечного сечения при внецентренном сжатии определяются по формуле:

$$\sigma = -\frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{x_F \cdot x}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y}{i_x^2} \right) \quad (5.1)$$



где A – площадь поперечного сечения;

x_F, y_F – координаты точки приложения силы F от главных центральных осей;

x, y – координаты точки сечения, в котором определяются напряжения, взятые от главных центральных осей;

i_x, i_y – радиусы инерции сечения относительно оси X и Y соответственно.

Опасными точками сечения будут точки, наиболее удалённые от нейтральной линии. Найдём эти точки.

Определяем положения главных центральных осей инерции поперечного сечения. Ось Y является осью симметрии сечения, следовательно, является главной центральной осью. Положение второй главной центральной оси X определится координатой центра

тяжести поперечного сечения по формуле (2.1) из Задачи 2:

$$y_c = \frac{S_x}{A} = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i} \quad (5.2)$$

Разбиваем сечение на 3 прямоугольника, как показано на рисунке 5.3. В качестве вспомогательной оси будем использовать ось X_1 .

$$y_{\bar{N}} = \frac{\left(30 \cdot 100 \cdot 50 - \pi \cdot \frac{20^2}{4} \cdot 85 \right) \cdot 2 + 50 \cdot 40 \cdot 50 - \pi \cdot \frac{20^2}{4} \cdot 50}{\left(30 \cdot 100 - \pi \cdot \frac{20^2}{4} \right) + 50 \cdot 40 - \pi \cdot \frac{20^2}{4}} = 46,9 \text{ см}$$

Определяем главные моменты инерции J_x, J_y :

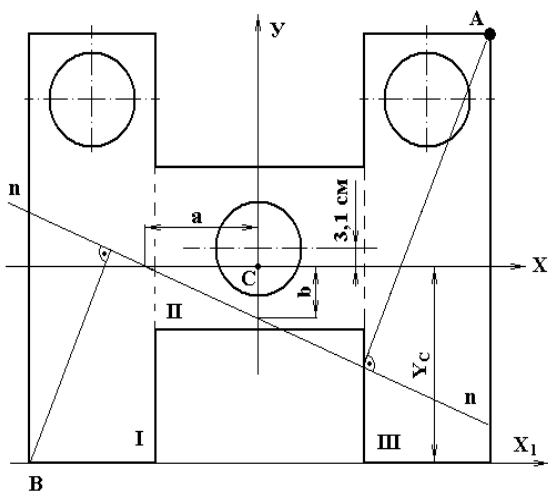
$$J_x = \left(\frac{100^3 \cdot 30}{12} + 3,1^2 \cdot 30 \cdot 100 - (0,05 \cdot 20^4 + 38,1^2 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4}) \right) \cdot 2 + \frac{40^3 \cdot 50}{12} + 3,1^2 \cdot 50 \cdot 40 - (0,05 \cdot 20^4 + 3,1^2 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4})$$

$$J_x = 4455368,2 \text{ см}^4$$

$$J_y = \left(\frac{30^3 \cdot 100}{12} + 40^2 \cdot 30 \cdot 100 - (0,05 \cdot 20^4 + 40^2 \cdot \pi \cdot \frac{20^2}{4}) \right) \cdot 2 + \frac{50^3 \cdot 40}{12} - 0,05 \cdot 20^4 = 9438316 \text{ см}^4$$

Вычисляем квадраты главных радиусов инерции:

$$i_x^2 = \frac{J_x}{A} = 624,14 \text{ см}^2; \quad i_y^2 = \frac{J_y}{A} = 1337,25 \text{ см}^2 \quad (5.3)$$



Определяем положение нулевой линии.

Значения координат точки приложения силы F : $x_F=55$ см; $y_F=53,1$ см. Отрезки, отсекаемые нулевой линией на главных центральных осях определяются по формулам:

$$y = 0; \quad a = x = -\frac{i_y^2}{x_F};$$

$$x = 0; \quad b = y = -\frac{i_x^2}{y_F}. \quad (5.4)$$

$$a = x = -\frac{1337,25}{55} = -24,3 \text{ см}$$

$$b = y = -\frac{624,14}{53,1} = -11,75 \text{ см}$$

Отложив отрезки a и b соответственно на

осях X и Y , и, проведя через их концы прямую,

получим нейтральную линию сечения, на которой нормальные напряжения равны нулю ($\sigma=0$).

Эта линия разбивает поперечное сечение на две части. В той части сечения, где находится точка приложения сжимающей силы F , т. е. точка A , действуют только напряжения сжатия.

В части сечения, расположенной ниже нулевой линии $n—n$, действуют только напряжения растяжения. Наиболее удаленная от нулевой линии $n—n$ в сжатой зоне - точка **A**, а в растянутой зоне — точка **B**. Следовательно, наибольшие по величине напряжения сжатия будут в точке **A**, а наибольшие растягивающие напряжения — в точке **B**. Все значения координат точек, в которых определяются напряжения, отсчитываются от главных центральных осей инерции X, Y :

$x_A=55$ см; $y_A = 53,1$ см; $x_B=-55$ см; $y_B= -46,9$ см.

Определяем наибольшие сжимающие σ_A и растягивающие σ_B напряжения:

$$\sigma_A = -\frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{x_F \cdot x_A}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y_A}{i_x^2} \right) = -11,02 \cdot F \text{ 1/м}^2$$

$$\sigma_B = -\frac{F}{A} \cdot \left(1 + \frac{x_F \cdot x_B}{i_y^2} + \frac{y_F \cdot y_B}{i_x^2} \right) = 7,45 \cdot F \text{ 1/м}^2$$

Определяем допускаемую нагрузку [F]:

Из условия прочности на сжатие:

$$\sigma_A \leq [\sigma_c]; \quad 11,02 \cdot F \text{ 1/м}^2 \leq 100 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$[F_c] \leq 9074 \text{ кН}$$

Из условия прочности на растяжение:

$$\sigma_B \leq [\sigma_p]; \quad 7,45 \cdot F \text{ 1/м}^2 \leq 25 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$[F_c] \leq 134 \text{ кН}$$

Следовательно, допускаемая нагрузка

$$[F] = 134 \text{ кН,}$$

как отвечающая сразу двум условиям прочности.

Расчетно-графическая работа № 7

Расчет на устойчивость. Стержень длиной l сжимается силой F . Требуется:

1. Найти размеры поперечного сечения при допуске напряжении на сжатие $[\sigma]$ для соответствующего материала;
2. критическую силу F_k ;
3. коэффициент запаса устойчивости n_y .
4. Расчет вести последовательными приближениями, предварительно задавшись коэффициентом $\varphi=0,5$. Данные для расчета взять из Таблицы 7.1 и рисунков 7.1 и 7.2.

Рисунок 7.1

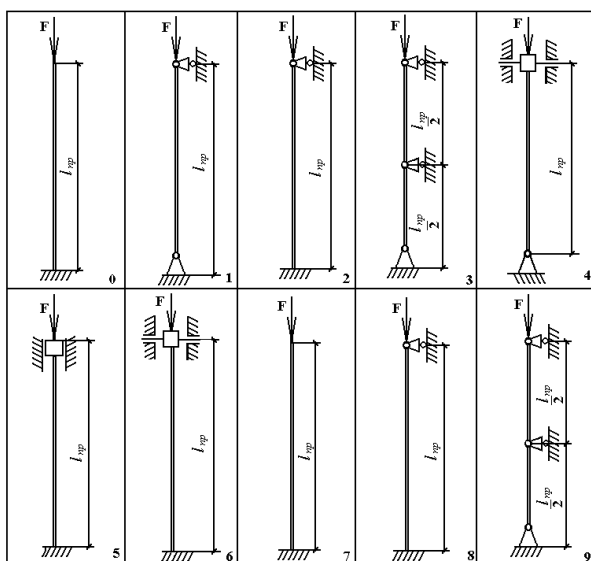


Таблица 7.1

Номер варианта	Длина стержня l_{np} , м
0	2,2

1	2,1
2	2,2
3	2,3
4	2,4
5	2,9
6	2,5
7	2,6
8	2,7
9	2,8

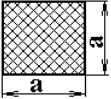
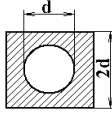
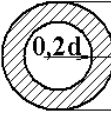

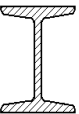
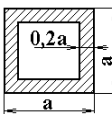
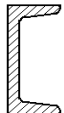
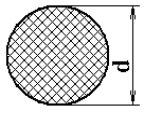
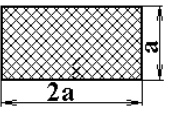
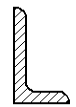
 <p>0</p> <p>Дерево; $F=50$ кН; $l=l_{пр}$</p>	 <p>5</p> <p>Чугун; $F=160$ кН; $l=0,5l_{пр}$</p>
 <p>1</p> <p>Чугун; $F=160$ кН; $l=l_{пр}$</p>	 <p>6</p> <p>Сталь; $F=80$ кН; $l=0,7l_{пр}$</p>
 <p>2</p> <p>Сталь; $F=150$ кН; $l=0,8l_{пр}$</p>	 <p>7</p> <p>Чугун; $F=200$ кН; $l=0,5l_{пр}$</p>
 <p>3</p> <p>Сталь; $F=140$ кН; $l=0,6l_{пр}$</p>	 <p>8</p> <p>Дерево; $F=50$ кН; $l=l_{пр}$</p>
 <p>4</p> <p>Дерево; $F=60$ кН; $l=1,2l_{пр}$</p>	 <p>9</p> <p>Сталь; $F=100$ кН; $l=0,7l_{пр}$</p>

Рисунок 7.2

Пример решения задачи 7

Дан стержень с опорами, закрепленными по схеме 5 (рис. 7.1), сжатый силой $F=100$ кН. Поперечное сечение стержня - квадратное со сторонами «а». Длина стержня $l=4,14$ м. Материал стержня - сталь. Модуль упругости $E=2 \cdot 10^{11}$ Па, допустимое напряжение $[\sigma]=160$ МПа.

Требуется определить:

- размеры поперечного сечения при допустимом напряжении на сжатие $[\sigma]$;
- величину критической силы F_k ;
- коэффициент запаса устойчивости n_y .

Решение

Задача решается методом последовательных приближений. В первом приближении задаемся коэффициентом уменьшения основного допустимого напряжения $\varphi_1=0,5$. Из условия устойчивости [1] определяем площадь сечения:

$$A = \frac{F}{\varphi \cdot [\sigma]} \quad (7.1)$$

$$A_1 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^6} = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2; A = a^2 \Rightarrow a = \sqrt{A} = 3,535 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$$

Определяем минимальные момент инерции и радиус инерции сечения [1]:

$$I_{\min} = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{a^4}{12}; i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{a^4}{a^2 \cdot 12}} = 0,288a = 1,018 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня [1]:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} \quad (7.2)$$

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,018 \cdot 10^{-2}} = 203$$

По таблице приложения П2 находим соответствующее значение $\varphi'=0,19$. Производим проверку на устойчивость:

$$\sigma = \frac{F}{\varphi \cdot A} = \frac{100 \cdot 10^3}{0,19 \cdot 12,5 \cdot 10^{-4}} = 421 \text{ МПа} > [\sigma]$$

Поскольку $\sigma > [\sigma]$, то задаемся новым значением φ и повторяем весь расчет.

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi'}{2} = \frac{0,5 + 0,19}{2} = 0,345$$

$$A_2 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,345 \cdot 160 \cdot 10^6} = 18,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 4,256 \cdot 10^{-2} \text{ м}; i_{\min} = 0,288 \cdot 4,256 \cdot 10^{-5} = 1,225 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,225 \cdot 10^{-2}} = 168$$

По таблице соответствующее значение $\varphi'=0,26$.

$$\text{Проверяем на устойчивость: } \sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,26 \cdot 18,1 \cdot 10^{-4}} = 212,5 \text{ МПа}$$

$$\sigma = 212,5 \text{ МПа} > [\sigma]$$

Поэтому делаем следующее приближение.

$$\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi'}{2} = \frac{0,19 + 0,26}{2} = 0,226$$

$$A_3 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,226 \cdot 160 \cdot 10^6} = 27,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 5,263 \cdot 10^{-2} \text{ м}; i_{\min} = 0,288 \cdot 5,263 \cdot 10^{-2} = 1,516 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,516 \cdot 10^{-2}} = 136,6$$

По таблице находим значение $\varphi'=0,36$.

$$\text{Проверяем на устойчивость: } \sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,36 \cdot 27,7 \cdot 10^{-4}} = 100 \text{ МПа} < [\sigma]$$

Определяем погрешность δ между значениями:

$$\delta = \frac{160 - 100}{160} \cdot 100\% = 60\%$$

Допускаемая погрешность должна быть не более 5%. Поэтому, делаем следующее приближение.

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_3 + \varphi'}{2} = \frac{0,36 + 0,26}{2} = 0,31$$

$$A_4 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,31 \cdot 160 \cdot 10^6} = 20,16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 4,49 \cdot 10^{-2} \text{ м}; i_{\min} = 0,288 \cdot 4,49 \cdot 10^{-5} = 1,293 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,293 \cdot 10^{-2}} = 160. \text{ По таблице значение } \varphi'=0,29.$$

Проверяем на устойчивость:

$$\sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,29 \cdot 20,16 \cdot 10^{-4}} = 171 \text{ МПа} > [\sigma].$$

Определяем погрешность δ между значениями:

$$\delta = \frac{171 - 160}{160} \cdot 100\% = 6,3\% > 5\%$$

Делаем следующее приближение.

$$\varphi_5 = \frac{\varphi_4 + \varphi^1}{2} = \frac{0,31 + 0,29}{2} = 0,3$$

$$A_5 = \frac{100 \cdot 10^3}{0,3 \cdot 160 \cdot 10^6} = 20,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$a = \sqrt{A} = 4,56 \cdot 10^{-2} \text{ м. } i_{\min} = 0,288 \cdot 4,56 \cdot 10^{-2} = 1,315 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Определяем гибкость стержня:

$$\lambda = \frac{0,5 \cdot 4,14}{1,315 \cdot 10^{-2}} = 157,4. \text{ По Таблице П2 значение } \varphi^1 = 0,2978.$$

Проверяем на устойчивость:

$$\sigma = \frac{100 \cdot 10^3}{0,2978 \cdot 20,8 \cdot 10^{-4}} = 161,4 \text{ МПа} > [\sigma]$$

Определяем погрешность δ между значениями:

$$\delta = \frac{161,4 - 160}{160} \cdot 100\% = 0,9\% < 5\%$$

Принимаем $a = 4,56 \cdot 10^{-2}$ м.

Определяем минимальный момент инерции:

$$I_{\min} = \frac{a^4}{12} = 36,03 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

Определяем критическую силу:

$$F_k = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{(\mu \cdot l)^2} \quad (7.3)$$

$$F_k = \frac{3,14^2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 36,03 \cdot 10^{-8}}{(0,5 \cdot 4,14)^2} = 165984 \text{ Н}$$

Определяем коэффициент запаса устойчивости:

$$n_y = \frac{F_k}{F} = \frac{166}{100} = 1,66$$

Ответ: $a = 4,56 \cdot 10^{-2}$ м; $F_k = 166$ кН; $n_y = 1,66$.

Расчетно-графическая работа № 8

Расчет на удар. На двутавровую балку, свободно лежащую на двух опорах, с высоты h падает груз F .

Требуется

- 1) найти наибольшее нормальное напряжение в балке при заданных условиях;
- 2) заменить вторую опору пружиной с жесткостью α и определить, как изменятся наибольшие нормальные напряжения в балке;
- 3) сравнить полученные результаты.

Данные для расчёта взять из Таблицы 8.1 и рис. 8.2

Таблицы 8.1

Номер варианта	№ двутавра	l , м	F кН	h , см	$\alpha \cdot 10^3$ м/кН
0	20	2,1	10	6	20
1	22	2,2	11	7	21
2	24	2,3	12	8	23
3	24	2,4	13	5	23
4	27	2,5	14	9	25
5	27	2,6	13	9	25
6	30	2,7	14	10	27
7	30	2,8	15	11	27
8	33	2,9	16	8	29
9	33	3,0	15	10	30

Пример выполнения задачи 8.

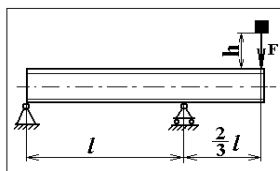


Рис. 8.1

На двутавровую стальную балку № 30 (рис. 8.1) длиной $l=3$ м, свободно лежащую на двух жестких опорах, с высоты $h=10$ см падает груз $F=1000$ Н. Требуется:

1) найти наибольшее нормальное напряжение в балке при заданных условиях;

2) заменить вторую опору пружиной с жесткостью α и определить, как изменятся наибольшие нормальные напряжения в балке;

3) сравнить полученные результаты.

Массу балки не учитывать. Модуль упругости материала балки $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

Для двутавровой балки № 30 по ГОСТ 8239—89 [2] осевые момент сопротивления W_x и момент инерции I_x поперечного сечения равны: $W_x=472$ см³, $I_x=7080$ см⁴.

Решение

Наибольшие напряжения σ_d в балке при действии динамической нагрузки определяются по формуле [1]:

$$\sigma_d = \sigma_{ст} \cdot \mu_d \quad (8.1)$$

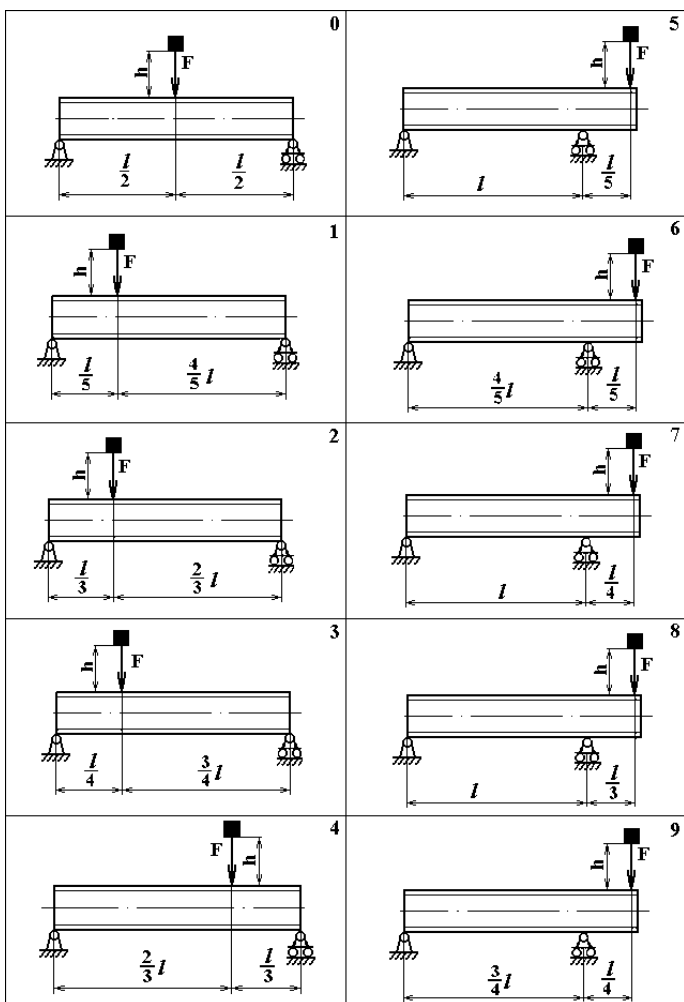
где $\sigma_{ст}$ - напряжение в балке под действием статической нагрузки;

μ_d - динамический коэффициент при ударе определяемый по формуле [1]:

$$\mu_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\lambda_{ст}}}, \quad (8.2)$$

где $\lambda_{ст}$ - перемещение в точке удара.

Правая опора шарнирная. Реакции, возникающие в опорах (рис. 8.3), определяются из уравнений равновесия от



действия статически приложенной силы F :

Рисунок 8.2 – Схемы нагрузки на балку

$$\sum M_A = R_B \cdot l - F_{ст} \cdot \frac{5}{3}l = 0; R_B = 1667 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = R_A \cdot l - F_{ст} \cdot \frac{2}{3}l = 0; R_A = -667 \text{ кН}.$$

Проверка:

$$\sum F_{ky} = R_A + R_B - F = -667 + 1667 - 1000 = 0. \text{ Следовательно, реакции определены верно.}$$

Эпюра изгибающих моментов от статической силы $F_{ст}$ показана на рис. 8.3 (эпюра M_p).

Наибольшие напряжения изгиба в опасном сечении (над опорой В):

$$\sigma_{н\delta} = \frac{M_{н\delta}}{W_x} = \frac{F_{н\delta} \cdot \frac{2}{3} \cdot l}{W_x} \quad (8.3)$$

$$\sigma_{ст} = \frac{10^3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3}{472 \cdot 10^{-6}} = 4,24 \cdot 10^6 \text{ Па} = 4,24 \text{ МПа}$$

Прогиб под грузом определяется по правилу Верещагина[2]:

$$\lambda_{cm} = \sum \frac{\omega \cdot \eta_c}{E \cdot I_x}, \quad (8.4)$$

где ω - площадь эпюры изгибающих моментов от внешней нагрузки (на рис. 8.3 - ω_1 и ω_2);
 η_c - ордината на единичной эпюре моментов M_1 , под центром тяжести площади эпюры изгибающих моментов.

Строим эпюру изгибающих моментов M_1 от фиктивной единичной силы, приложенной в точке удара (рис. 8.3).

Тогда статический прогиб в точке удара:

$$\lambda_{cm} = \frac{1}{E \cdot I_x} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{9} \cdot l + l \cdot \frac{2}{3} \cdot l \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{4}{9} \cdot l \right) = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ м.}$$

Динамический коэффициент определяем по формуле (8.2):

$$\mu_\sigma = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot h}{\lambda_{cm}}} = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 10 \cdot 10^{-2}}{1,74 \cdot 10^{-5}}} = 108,2$$

Таким образом, наибольшие динамические напряжения согласно (8.1):

$$\sigma_d = 4,24 \cdot 108,2 = 458,8 \text{ МПа.}$$

II. Правая опора заменена пружиной. Деформационная схема показана на рис. 8.4. В случае опирания правого конца балки на пружину при действии статически приложенной силы F , пружина, под влиянием опорной реакции R_B , уменьшит свою длину на величину λ , называемую осадкой пружины:

$$\lambda = \alpha \cdot R_B \quad (8.5)$$

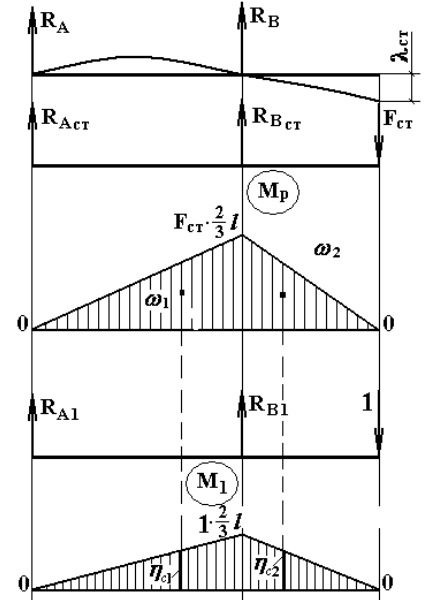


Рисунок 8.3

При этом перемещение точки удара, вызванное сжатием пружины, определяется из подобия треугольников ABB' и ACC' (рис. 8.4):

$$\frac{\Delta}{\lambda} = \frac{AC}{AB}; \Rightarrow \Delta = \frac{5}{3} \cdot \lambda = \frac{5}{3} \cdot \alpha \cdot R_B = 0,0833 \text{ м}$$

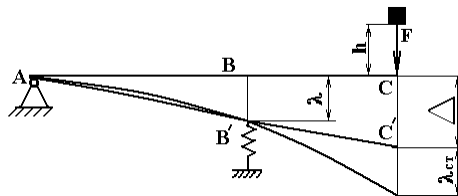


Рисунок 8.4.

Полное вертикальное перемещение λ'' точки удара при статическом действии силы F , равно сумме упругих перемещений $\lambda_{ст}$, найденных в балке с жесткими опорами (п. I) и перемещений балки, как жесткого целого Δ , вызванных поворотом её за счет осадки пружины (п. II):

$$\lambda'' = \lambda_{ст} + \Delta = 1,74 \cdot 10^{-5} + 8,33 \cdot 10^{-2} = 8,332 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Коэффициент динамичности определим из (8.2):

$$\mu_d'' = 2,844$$

Наибольшие нормальные напряжения от статически приложенной силы не зависят от изменения жесткости опоры и определяются по п. I.

Наибольшие динамические напряжения:

$$\sigma_d'' = 4,24 \cdot 2,844 = 12,1 \text{ МПа.}$$

Сравнивая динамические напряжения, определенные в системе с жесткими и упругими опорами

$$\frac{\sigma_\sigma}{\sigma_\sigma''} = \frac{458,8}{12,1} = 37,9$$

можно сделать вывод, что наличие пружины в системе уменьшит динамические напряжения в 37,9 раз.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Информационные технологии, используемые в осуществлении образовательного процесса, по дисциплине позволяют:

- организовать процесс образования путем визуализации изучаемой информации посредством использования презентаций, учебных фильмов;
- контролировать результаты обучения на основе компьютерного тестирования;
- использовать графические и текстовые редакторы в написании докладов, контрольных работ;
- автоматизировать поиск информации посредством использования справочных систем.

10.1. Перечень необходимого программного обеспечения

Для осуществления учебного процесса используется свободно распространяемое (бесплатное не требующее лицензирования) программное обеспечение:

Наименование программного обеспечения, производитель	Реквизиты подтверждающего документа (№ лицензии, дата приобретения, срок действия)
Microsoft Office Word 2010	Номер продукта 14.0.6024.1000 SP1 MSO (14.0.6024.1000) 02260-018-0000106-48095
УП ВО	v22.4.73, от 17.11.2017
Kaspersky Anti-virus 6/0	№ лицензии 26FE-000451-5729CF81 Срок лицензии 07.02.2020
Adobe Reader 9	Бесплатно, 01.02.2019,
OC Windows 7 Профессиональная, Microsoft Corp.	№ 00371-838-5849405-85257, 23.01.2012, бессрочный
VLC Media Player, VideoLAN	01.02.2019, свободная лицензия
7-zip.org	GNU LGPL
Inkscape - профессиональный векторный графический редактор для Linux, Windows и macOS.	Свободно распространяемое ПО GNU GENERAL PUBLIC LICENSE Version 3, 29 June 2007
Офисный пакет WPSOffice	Свободно распространяемое ПО
GIMP - растровый графический редактор для Linux, Windows	Свободно распространяемое ПО Стандартная Общественная Лицензия GNU(GNUGPL), опубликованная Фондом свободного программного обеспечения (FSF)
Autodesk AutoCAD - Профессиональное ПО для 2D и 3D проектирования Производитель: Компания Autodesk	Учебная версия
Oracle VM VirtualBox - программный продукт виртуализации для операционных систем Microsoft Windows, Linux, FreeBSD, macOS, Solaris/OpenSolaris, ReactOS, DOS и других Производитель: Oracle	Универсальная общедоступная лицензия GNU

10.2. Перечень необходимых информационных справочных систем:

Каждый обучающийся в течение всего периода обучения обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронно-библиотечным системам, профессиональным базам данных, информационным справочным и поисковым системам:

1. ЭБС «Znanium.com» <http://znanium.com/>
2. ЭБС IPRbooks <http://www.iprbookshop.ru/>
3. eLIBRARY.RU (НЭБ) <http://elibrary.ru>
4. ЭНБ «Киберленинка» <http://cyberleninka.ru/>

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Наименования специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Специальные помещения		
<p>Аудитория для занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации: <i>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа № ауд.403 адрес: ул. Первомайская, 19, 4этаж</i></p>	<p>Переносное мультимедийное оборудование, доска, мебель для аудиторий, компьютерный класс <i>на 15 посадочных мест</i>, оснащенный компьютерами <i>Pentium</i> с выходом в Интернет</p>	<p>свободно распространяемое (бесплатное не требующее лицензирования) программное обеспечение: 1. Microsoft Office Word 2010. Номер продукта 14.0.6024.1000 SP1 MSO (14.0.6024.1000) 02260-018-0000106-48095. 2. УП ВО. v22.4.73, от 17.11.2017. 3. Kaspersky Anti-virus 6/0. № лицензии 26FE-000451-5729CF81 Срок лицензии 07.02.2020. 4. Adobe Reader 9. Бесплатно, 01.02.2019. 5. ОС Windows7 Профессиональная, Microsoft Corp. № 00371-838-5849405-85257, 23.01.2012, бессрочный. 6. VLC Media Player, VideoLAN. 01.02.2019, свободная лицензия. 7. 7-zip.org. GNU LGPL. 8. Inkscape- профессиональный векторный графический редактор для Linux, Windows и macOS. Свободно распространяемое ПО GNU GENERAL PUBLIC LICENSE Version 3, 29 June 2007. 9. Офисный пакет WPSOffice. Свободно распространяемое ПО. 10. GIMP- растровый графический редактор для Linux, Windows. Свободно распространяемое ПО Стандартная Общественная Лицензия GNU(GNUGPL), опубликованная Фондом свободного программного обеспечения (FSF). 11. Autodesk AutoCAD- Профессиональное ПО для 2D и 3Dпроектирования Производитель: Компания Autodesk. Учебная версия. 12. OracleVMVirtualBox- программный продукт виртуализации для операционных систем Microsoft Windows, Linux, FreeBSD, macOS, Solaris/OpenSolaris, ReactOS, DOS и других. Производитель: Oracle. Универсальная общедоступная лицензия GNU.</p>
Помещения для самостоятельной работы		

<p>Учебные аудитории для самостоятельной работы: №ауд.403 адрес: ул. Первомайская, 19, 4 этаж</p> <p>В качестве помещений для самостоятельной работы может быть: читальный зал: ул. Первомайская, 191, 3 этаж.</p>	<p>Переносное мультимедийное оборудование, доска, мебель для аудиторий, компьютерный класс на 15 посадочных мест, оснащенный компьютерами Pentium с выходом в Интернет</p>	<p>свободно распространяемое (бесплатное не требующее лицензирования) программное обеспечение:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Microsoft Office Word 2010. Номер продукта 14.0.6024.1000 SP1 MSO (14.0.6024.1000) 02260-018-0000106-48095. 2. УП ВО. v22.4.73, от 17.11.2017. 3. Kaspersky Anti-virus 6/0. № лицензии 26FE-000451-5729CF81 Срок лицензии 07.02.2020. 4. Adobe Reader 9. Бесплатно, 01.02.2019. 5. ОС Windows7 Профессиональная, Microsoft Corp. № 00371-838-5849405-85257, 23.01.2012, бессрочный. 6. VLC Media Player, VideoLAN. 01.02.2019, свободная лицензия. 7. 7-zip.org. GNU LGPL. 8. Inkscape- профессиональный векторный графический редактор для Linux, Windows и macOS. Свободно распространяемое ПО GNU GENERAL PUBLIC LICENSE Version 3, 29 June 2007. 9. Офисный пакет WPSOffice. Свободно распространяемое ПО. 10. GIMP– растровый графический редактор для Linux, Windows. Свободно распространяемое ПО Стандартная Общественная Лицензия GNU(GNUGPL), опубликованная Фондом свободного программного обеспечения (FSF). 11. Autodesk AutoCAD- Профессиональное ПО для 2D и 3Dпроектирования Производитель: Компания Autodesk. Учебная версия.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Дополнения и изменения к рабочей программе
за _____ / _____ учебный год

В рабочую программу _____
(наименование дисциплины)

Для специальности(ей) _____
(номер специальности)

Вносятся следующие дополнения и изменения:

Дополнения и изменения внес _____
(должность, Ф.И.О., подпись)

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры _____

(наименование кафедры)

«__» _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)