

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Кафедра « Механика и анализ конструкций и процессов »

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

И.В. Макурин

2018 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины «Сопротивление материалов»

основной профессиональной образовательной программы по специальности


24.05.07 – Самолето- и вертолетостроение  
специализация «Технологическое проектирование высокоресурсных  
конструкций самолетов и вертолетов»

Форма обучения заочная  
Технология обучения традиционная,

7ТС4а, 8ТС4а


Комсомольск-на-Амуре 2018

Автор рабочей программы  
доцент, к.т.н.


  
М.Р. Петров.  
« 4 » мая 2017 г.

СОГЛАСОВАНО

Директор библиотеки

  
И.А. Романовская  
« 4 » мая 2017 г.

Декан ССФ

  
С.И. Феоктистов  
« 4 » мая 2017 г.

Декан ФЗДО

  
М.В. Семибратова  
« 4 » мая 2017 г.

Начальник учебно-методического  
управления

  
Е.Е. Поздеева  
« 4 » мая 2017 г.

## Введение

Рабочая программа дисциплины «Сопротивление материалов» составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта, утверждённого приказом Министерства образования и науки Российской Федерации №1165 от 12 сентября 2016 г., и основной образовательной программы подготовки специалистов 24.05.07 «Самолето- и вертолестроение»

### 1 Аннотация дисциплины

Наименование дисциплины	Сопротивление материалов
Цель дисциплины	Во-первых, привитие инженерного мышления. Во-вторых, обучение студентов постановке и решению практических задач, доводя до числового результата, анализу полученного решения и определению границы его применения. В-третьих, формирование у студентов логического творческого мышления. В-четвертых, ознакомление с основами математического и физического моделирования различных элементов конструкций. В-пятых, привитие студентам навыков решения задач прочности, жёсткости и устойчивости простейших элементов конструкции, уметь проводить количественный и качественный анализ полученных результатов.
Задачи дисциплины	Способствовать подготовке выпускника вуза, отвечающей требованиям образовательного стандарта. При этом выпускник должен знать современные научные методы познания природы для решения задач, имеющих естественно-научное содержание и возникающих при выполнении профессиональных функций.
Основные разделы дисциплины	А) Геометрические характеристики поперечных сечений. Б) Центральное растяжение - сжатие прямолинейного стержня. В) Сдвиг. Кручение стержней круглого поперечного сечения.

	Г) Прямой изгиб стержней (балок). Д) Устойчивость центрально сжатых стержней.							
Общая трудоемкост ь дисциплины	<u>8</u> з.е. / <u>288</u> академических часа							
	Семестр	Аудиторная нагрузка, ч				СР С, ч	Промежуточная аттестация, ч	Всего за семестр, ч
		Лекции	Пр. занятия	Лаб. работы	Курсовое проектирование			
<u>4</u> семестр	6	8	6	-	259	9	288	
	6	8	6	-	259	9	288	

## 2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами образовательной программы

Дисциплина «Сопротивление материалов» нацелена на формирование компетенций, знаний, умений и навыков, указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, знания, умения, навыки

Наименование и шифр компетенции, в формировании которой принимает участие дисциплина	Перечень формируемых знаний, умений, навыков предусмотренных образовательной программой		
	Перечень знаний (с указанием шифра)	Перечень умений (с указанием шифра)	Перечень навыков (с указанием шифра)
<b>ОПК – 2</b>  Способность к самообразованию и использованию в практической деятельности новых знаний и умений	31(ОПК-2-4)  Знать основные понятия и гипотезы, используемые в курсе «Сопротивление материалов», теоретические положения, лежащие в основе расчетов на прочность, жёсткость и	У1(ОПК-2-4)  Уметь ориентироваться в выборе расчетных схем элементов конструкций;	Н1(ОПК-2-4)  Владеть навыками проведения инженерных расчетов на прочность и жесткость стержневых систем, работающих на растяжение и сжатие, сдвиг, кручение, изгиб;

	устойчивость элементов конструкций		
	32(ОПК-2-4) Знать виды простого и сложного сопротивления элементов конструкций, основы проведения расчетов элементов конструкций при сложных видах сопротивления, а также в условиях циклического характера нагружения изделий	У2(ОПК-2-4) проводить расчеты на прочность, жёсткость и устойчивость стержневых систем	Н2(ОПК-2-4) навыками выбора оптимальных размеров и форм поперечных сечений стержней, обеспечивающих требуемые показатели надежности, безопасности и экономичности.

### 3 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Сопроотивление материалов» изучается на 2 курсе в 4 семестре.

Дисциплина является обязательной дисциплиной входит в состав блока 1 «Дисциплины (модули)» и относится к базовой части.

Для освоения дисциплины необходимы знания, умения, навыки, сформированные на предыдущих этапах освоения компетенции ОПК-2-4 при изучении дисциплин Математика, Физика, Теоретическая механика. Дисциплина Сопроотивление материалов является необходимой для успешного изучения дисциплины Детали машин и основы конструирования.

**4 Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость (объем) дисциплины составляет 8 зачетных единицы, 288 академических часов.

Распределение объема дисциплины (модуля) по видам учебных занятий представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Объем дисциплины (модуля) по видам учебных занятий

Объем дисциплины	Всего академических часов
	Заочная форма обучения
Общая трудоемкость дисциплины	288
<b>Контактная аудиторная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий), всего</b>	20
В том числе:	
<b>занятия лекционного типа</b> (лекции и иные учебные занятия, предусматривающие преимущественную передачу учебной информации педагогическими работниками)	6
<b>занятия семинарского типа</b> (семинары, практические занятия, практикумы, лабораторные работы, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)	14
<b>Самостоятельная работа обучающихся и контактная работа</b> , включающая групповые консультации, индивидуальную работу обучающихся с преподавателями (в том числе индивидуальные консультации); взаимодействие в электронной информационно-образовательной среде вуза	259
Промежуточная аттестация обучающихся	9

**5 Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

Таблица 3 – Структура и содержание дисциплины (модуля)

Наименование разделов, тем и содержание материала	Компонент учебного плана	Трудоемкость (в часах)	Форма проведения	Планируемые (контролируемые) результаты освоения	
				Компетенции и	Знания, умения, навыки
<b>Раздел Теория прочности</b>					

Наименование разделов, тем и содержание материала	Компонент учебного плана	Трудоемкость (в часах)	Форма проведения	Планируемые (контролируемые) результаты освоения	
				Компетенции	Знания, умения, навыки
<p><b>Тема 1</b></p> <p>Основные положения. Гипотезы и допущения.. Внутренние силовые факторы. Понятия о напряжении Растяжение – сжатие.</p> <p>Определение нормальной силы, нормальные напряжения и деформации. Механические свойства металлов.</p> <p>Работа внешних сил при растяжении-сжатии;</p> <p>Геометрические характеристики поперечных сечений, статические моменты. Центр тяжести сечения. Моменты инерции;</p> <p>Сдвиг и кручение. Внутренние силовые факторы при сдвиге</p> <p>Изгиб. Основные параметры. Внутренние силовые факторы при изгибе</p>	Лекция	6	традиционная	ОПК-2-4	З1(ОПК-2-4) У1(ОПК-2-4)

Наименование разделов, тем и содержание материала	Компонент учебного плана	Трудоемкость (в часах)	Форма проведения	Планируемые (контролируемые) результаты освоения	
				Компетенции	Знания, умения, навыки
<p><b>Тема 2</b>  Основные положения.  Гипотезы и допущения..  Внутренние силовые факторы.  Понятия о напряжении  Растяжение – сжатие.</p> <p>Определение нормальной силы, нормальные напряжения и деформации.  Механические свойства металлов.</p> <p>Работа внешних сил при растяжении-сжатии;</p> <p>Геометрические характеристики поперечных сечений, статические моменты. Центр тяжести сечения.  Моменты инерции;</p> <p>Сдвиг и кручение.  Внутренние силовые факторы при сдвиге</p> <p>Изгиб. Основные параметры.  Внутренние силовые факторы при изгибе</p>	Практические занятия	8	традиционная	ОПК-2-4	31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)



Наименование разделов, тем и содержание материала	Компонент учебного плана	Трудоемкость (в часах)	Форма проведения	Планируемые (контролируемые) результаты освоения	
				Компетенции	Знания, умения, навыки
<p><b>Тема 3</b>  Ознакомительное занятие. Техника безопасности в лаборатории.  Ознакомление с испытательными машинами и принципами их действия</p> <p>Испытание на растяжение углеродистой стали с целью получения основных прочностных характеристик и мер пластичности</p> <p>Испытание различных материалов на сжатие с целью изучения характера деформации и разрушения</p> <p>Определение коэффициентов упругости с целью определения взаимозависимости и продольной и поперечной деформаций при растяжении в упругой стадии</p>	Лабораторная работа	8	традиционная	ОПК-2-4	31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)
		9			

Наименование разделов, тем и содержание материала	Компонент учебного плана	Трудоемкость (в часах)	Форма проведения	Планируемые (контролируемые) результаты освоения	
				Компетенции	Знания, умения, навыки
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	<u>РГР №1, РГР №2</u> подготовка к лекционным и практическим занятиям, подготовка к защите лабораторных работ	259	традиционная	ОПК-2-4	31(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)
<b>Промежуточный контроль</b>	Экзамен	9			
<b>ИТОГО в 4 семестре</b>	Лекции	6	-	-	-
	Практические занятия	8			
	Лабораторные работы	6	-	-	-
	Самостоятельная работа обучающихся	259	-	-	-
<b>Промежуточная аттестация по дисциплине</b>		9			
<b>ИТОГО в 4 семестре</b>	Лекции	6	-	-	-
	Лабораторные работы	6			
	Практические занятия	8			
	Самостоятельная работа обучающихся	259			
<b>ИТОГО:</b> общая трудоемкость дисциплины 288 часов, в том числе с использованием активных методов обучения 6 часов					

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

Самостоятельная работа обучающихся, осваивающих дисциплину «Соппротивление материалов», состоит из следующих компонентов: изучение теоретических разделов дисциплины; подготовка к защите лабораторных работ; подготовка и оформление расчётно-графической работы и т.п.

Для успешного выполнения всех разделов самостоятельной работы учащимся рекомендуется использовать следующее учебно-методическое обеспечение:

1. Г.С Лейзерович, В.С. Симонов. Руководство к самостоятельной работе по сопротивлению материалов/Комсомольск на Амуре, ФГБОУ ВПО КнАГТУ, 2007
2. Г.С Лейзерович, С.В. Макаренко. Методические указания по курсу «Соппротивление материалов»/ Комсомольск на Амуре, ФГБОУ ВПО КнАГТУ, 2003

Рекомендуемый график выполнения самостоятельной работы представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Рекомендуемый график выполнения самостоятельной работы студентов

Вид самостоятельной работы	Количество часов в неделю																	Итого по видам работ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Подготовка к практическим занятиям и защите лабораторных работ	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>85</b>
Изучение теоретических разделов дисциплины	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	<b>85</b>
Подготовка, оформление и защита РГР №1, РГР №2	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	<b>89</b>
<b>ИТОГО в 4 семестре</b>	<b>15</b>	16	15	15	16	15	15	16	15	15	15	15	16	15	15	15	15	<b>259</b>

## 7 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

Таблица 5 – Паспорт фонда оценочных средств

Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства	Показатели оценки
<p>Основные положения. Гипотезы и допущения. Классификация сил. Внутренние силовые факторы. Понятия о напряжении</p>	<p>31(ОПК-2-4) У1(ОПК-2-4)</p>	<p>Задание 1  РГР№1, экзамен</p>	<p>Различает внешние и внутренние силовые факторы. Определяет напряжения в простейших случаях растяжения и сжатия</p>
<p>Растяжение – сжатие. Определение нормальной силы, нормальные напряжения и деформации. Механические свойства металлов. Работа внешних сил при растяжении-сжатии;</p>	<p>31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)</p>	<p>Задание 1 лабораторная работа  РГР№1, экзамен</p>	<p>Определяет внутренние силовые факторы и напряжения в бруске при сложном случае растяжения-сжатия. Владеет методом сечений и определяет работу силы при растяжении и сжатии</p>
<p>Геометрические характеристики поперечных сечений, статические моменты. Центр тяжести сечения. Моменты инерции;</p>	<p>Н2(ОПК-2-4)</p>	<p>Задание 2  РГР№1, экзамен</p>	<p>Определяет статический момент и моменты инерции поперечного сечения стержня. Демонстрирует понимание роли геометрических сечений стержня в определении прочности стержня</p>

Сдвиг и кручение. Внутренние силовые факторы при сдвиге;	31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)	Задание 3 лабораторная работа  РГР№1, экзамен	Определяет внутренние силовые факторы в поперечных сечениях стержня, работающего на кручение. Строит эпюры внутренних силовых факторов и напряжений, проектирует поперечное сечение вала
Изгиб. Основные параметры. Внутренние силовые факторы при изгибе;	31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)	Задание 4 лабораторная работа  РГР№1, экзамен	Определяет внутренние силовые факторы в поперечных сечениях стержня, работающего на изгиб. Строит эпюры внутренних силовых факторов и напряжений, проектирует поперечное сечение балки
Дифференциальные зависимости при изгибе. Нормальные напряжения при чистом изгибе;	31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4)	Задание 4 лабораторная работа  РГР№2, экзамен	Определяет согласованность эпюр поперечных сил и изгибающих моментов в балке
Касательные напряжения при изгибе	31(ОПК-2-4) Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4) Н2(ОПК-2-4)	Задание 4 лабораторная работа  РГР№2, экзамен	Определяет касательные напряжения в поперечных сечениях балки при изгибе, оценивает прочность балки по касательным

Перемещения при изгибе	Н1(ОПК-2-4) 32(ОПК-2-4) У2(ОПК-2-4)	Задание 4 лабораторная работа РГР№2, экзамен	напряжениям Определяет перемещения сечений балки при изгибе
Основы напряженно-деформированного состояния. Теория прочности	32(ОПК-2-4)	Задание 1,2,3.4 РГР№2, экзамен	Оценивает прочность стержня при различных способах его деформации

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с оценкой.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, представлены в виде технологической карты дисциплины (таблица 6).

Таблица 6 – Технологическая карта

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
<b>Промежуточная аттестация в форме экзамена</b>				
1	Задание 1-12	В течение семестра	5 баллов	5 баллов - студент правильно выполнил задание. Показал отличный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. 4 балла - студент выполнил задание с небольшими неточностями. Показал хороший уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. 3 балла - студент выполнил задание с существенными неточностями. Показал удовлетворительный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. 2 балла - при выполнении задания студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. 0 баллов – задание не выполнено.
2	РГР №1	В течение	10 баллов	5 баллов - студент правильно выполнил задание. Показал отличный уровень знаний и умений при решении

	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
		семестра		<p>профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>4 балла - студент выполнил задание с небольшими неточностями. Показал хороший уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>3 балла - студент выполнил задание с существенными неточностями. Показал удовлетворительный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>2 балла - при выполнении задания студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>0 баллов – задание не выполнено.</p>
3	РГР №2	В течение семестра	10 баллов	<p>5 баллов - студент правильно выполнил задание. Показал отличный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>4 балла - студент выполнил задание с небольшими неточностями. Показал хороший уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>3 балла - студент выполнил задание с существенными неточностями. Показал удовлетворительный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>2 балла - при выполнении задания студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.</p> <p>0 баллов – задание не выполнено.</p>
			<u>80</u> баллов	-
	Экзамен	баллов	30 -	
			Теоретический вопрос – оценивание уровня	<p><i>Один вопрос:</i></p> <p>10 баллов - студент правильно ответил на теоретический вопрос билета. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все</p>



	Наименование оценочного средства	Сроки выполнения	Шкала оценивания	Критерии оценивания
			усвоенных знаний (в билете 2 вопроса по 10 баллов)	<p><i>дополнительные вопросы.</i></p> <p><i>7 баллов - студент ответил на теоретический вопрос билета с небольшими неточностями. Показал хорошие знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i></p> <p><i>4 балла - студент ответил на теоретический вопрос билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i></p> <p><i>0 баллов - при ответе на теоретический вопрос билета студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</i></p>
			Практическая задача – оценивание уровня усвоенных умений и навыков	<p><i>Одна задача:</i></p> <p><i>10 баллов - студент правильно выполнил практическое задание билета. Показал отличные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</i></p> <p><i>8 баллов - студент выполнил практическое задание билета с небольшими неточностями. Показал хорошие умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i></p> <p><i>5 баллов - студент выполнил практическое задание билета с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения и навыки в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i></p> <p><i>0 баллов - при выполнении практического задания билета студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При</i></p>

	<b>Наименование оценочного средства</b>	<b>Сроки выполнения</b>	<b>Шкала оценивания</b>	<b>Критерии оценивания</b>
				<i>ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</i>
	Итого	<b><i>110 баллов</i></b>	-	
<p><b>Критерии выведения итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена</b></p> <p>0 - 64 % от максимально возможной суммы баллов - "неудовлетворительно" (недостаточный уровень для текущей аттестации по дисциплине);</p> <p>65 - 74 % от максимально возможной суммы баллов - "удовлетворительно" (пороговый (минимальный) уровень);</p> <p>75 - 84 % от максимально возможной суммы баллов - "хорошо" (средний уровень);</p> <p>85 - 100 % от максимально возможной суммы баллов - "отлично" (высокий (максимальный) уровень).</p>				

## Задания для текущего контроля

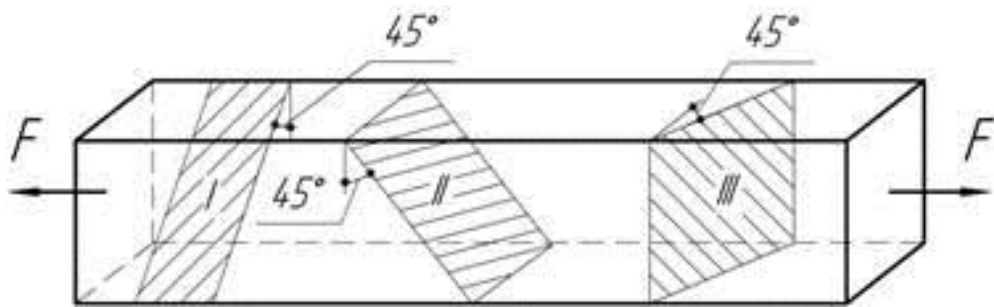
### Вопросы к защите лабораторных работ

1. Лабораторная работа №1. Испытание стальных образцов на разрыв.
  - 1) Какие характеристики отражают прочность материала?
  - 2) Какие образцы применяют при испытании на разрыв?
  - 3) Какие параметры характеризуют пластичность материала?
  - 4) Чем отличается диаграмма истинных напряжений от диаграммы условных напряжений?
  - 5) Как определить по диаграмме упругую и пластичную деформации?
2. Лабораторная работа №2. Испытание металлических образцов на сжатие.
  - 1) Какие механические характеристики можно определить при сжатии стали, дуралюмина, чугуна?
  - 2) Чем объясняется бочкообразная форма стального образца?
  - 3) Что называется пределом текучести материала при сжатии?
  - 4) Что называется пределом прочности материала при сжатии?
  - 5) Чем отличаются диаграммы сжатия хрупких и пластичных материалов?
  - 6) Почему разрушение при сжатии хрупкого материала происходит по площадкам, расположенным под углом  $45^{\circ}$  к линии действия сжимающей нагрузки?
3. Лабораторная работа №3. Определение констант упругости механическими тензомерами.
  - 1) Какие значения может принимать коэффициент Пуассона?
  - 2) Что характеризует модуль упругости  $E$ ?
  - 3) Какой физический смысл имеет модуль упругости  $E$ ?
  - 4) Каким соотношением связаны между собой упругие характеристики материала?
  - 5) С какой целью принята попарная установка механических тензомеров ?

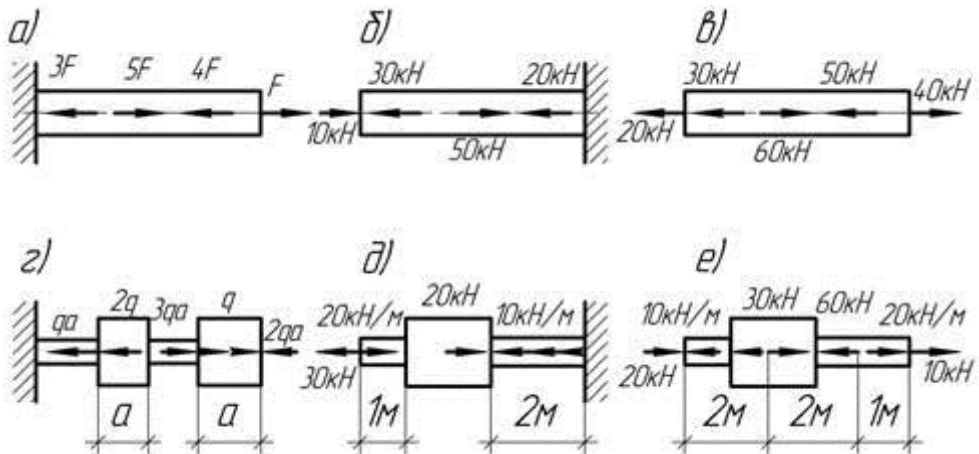
### Задание 1

а) Какие напряжения возникают на заштрихованных площадках при растяжении стержня квадратного сечения? F

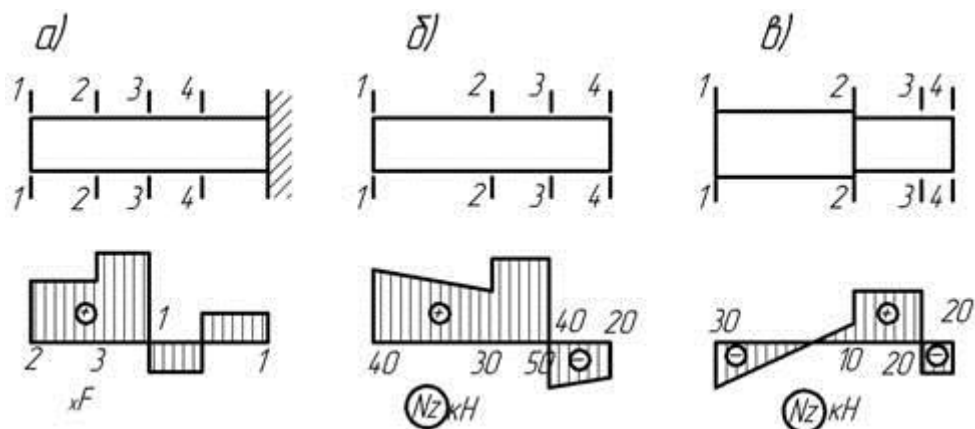
№ Варианта	Сила F, кН	Площадь поперечного сечения стержня S, см <sup>2</sup>
1	10	10
2	15	10
3	20	15
4	25	20
5	15	20
6	30	20
7	20	20
8	20	10
9	25	15
0	30	15



б) Построить эпюру продольных сил и нормальных напряжений в поперечных сечениях стержней.

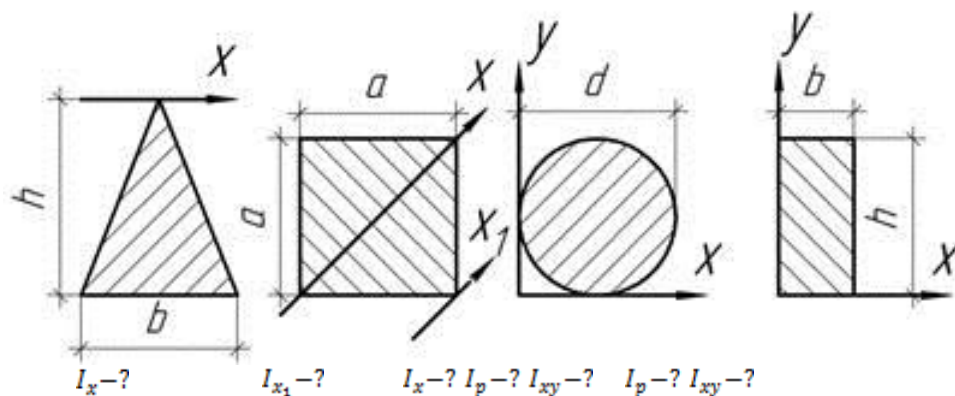


в) По заданной эпюре продольной силы определить величину и направление приложенной к стержню нагрузки.



## Задание 2

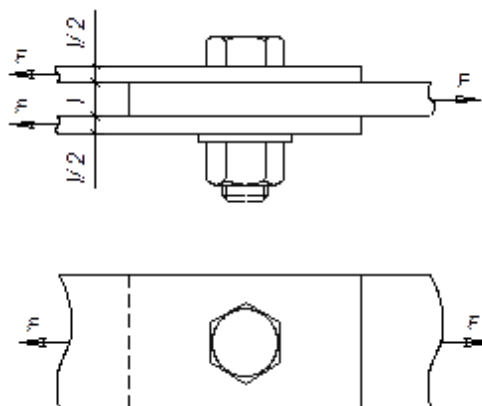
Определите указанные ниже величины.



№ Варианта	a, см	b, см	h, см	d, см
1	10	20	30	15
2	15	20	15	30
3	20	25	30	20
4	25	30	20	20
5	15	15	20	25
6	30	30	25	15
7	20	15	10	30
8	20	20	15	15
9	25	10	15	30
0	30	15	20	10

### Задание 3

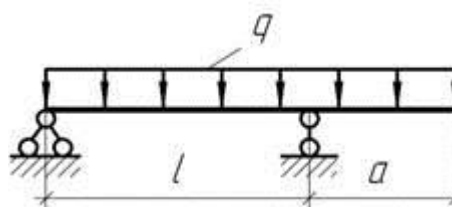
Определить касательные напряжения и прочность в соединении, изображенном на рисунке. Допускаемые напряжения для материала болта: на срез 80 МПа, на смятие 200 МПа.



№ Варианта	Сила $F$ , кН	Толщина, $t$ , см
1	10	1
2	15	1
3	20	1.5
4	25	2
5	15	2
6	30	2
7	20	2
8	20	1
9	25	1.5
0	30	1.5

### Задание 4

Построить эпюры  $Q$  и  $M$ .



№ Варианта	$q$ , кН/м	$l$ , м	$a$ , м
1	10	1	2
2	15	1	1
3	20	1.5	1.5
4	25	2	1.5

5	15	2	2
6	30	2	2
7	20	2	2
8	20	1	1
9	25	1.5	1
0	30	1.5	1.5

## Задание 5

### Задача 1.

Какой из двух стержней одинаковой длины, условия закрепления и нагружения которых также одинаковы, является более гибким – стержень с равной площадью?

### Задача 2.

Критическая нагрузка на стержень с шарнирно-опертыми концами равна 200 кН. Во сколько раз увеличится критическая нагрузка при ..... площади поперечного сечения....., если стержень имеет:

а) квадратное сечение, б) круглое, в) кольцевое с  $\frac{d_B}{d_H} = 0,8$ . Дано:  $E=200$  ГПа,  $\sigma_{пл} = 1100$  МПа,  $\sigma_{пл} = 750$  МПа,  $l = 0,4$  м.

Указание: При  $\sigma_{кр} > \sigma_{пл}$  применять формулу  $\sigma_{кр} = (1100 - 6,65\lambda)$  МПа.

### Задача 3.

Шарнирно –..... стержень I №14 сжимается силой  $F=.....$  кН. Вычислить и сравнить коэффициенты запаса прочности  $P_{пл}$  и устойчивости  $P_y$ , если  $E=200$  ГПа,  $\sigma_{пл} = 1100$  МПа,  $\sigma_{пл} = 750$  МПа,  $l = 1$  м.

### Задача 4.

Шарнирно-опертый стержень..... сечения сжимается силой  $F=50$  кН. Длина стержня  $l=1$  м, материал –.....,  $\rho_d = 2,7 \frac{\tau}{м^3}$ ,  $E_d = 70$  ГПа, запас устойчивости  $[P_y]=2$ . Найти массу стержня. Установить также, во сколько раз увеличится масса стержня, если заменить дюраль на сталь, сохранив прежнюю длину и запас устойчивости, принимая  $\rho_{ст} = 7,85 \frac{\tau}{м^3}$ ,  $E_{ст} = 200$  ГПа.

### Задача 5.

Определить сжимающей силы, при которой шарнирно-опертая по концам стальная труба с наружным диаметром  $d_H = 100$  мм, внутренним  $d_B = 90$  мм и длиной  $l=4$  м потеряет устойчивость. Чему равны при этом напряжения в трубе?

### Задача 6.

Как изменится сила, если одновременно увеличить диаметр круглой стойки в 2 раза и длину в 4 раза?

### Задача 7.

Конструктивный элемент представляет собой шарнирно опертый по концам круглый стержень диаметра  $d=4$  см и длины  $l=1$  м. По проекту он должен быть изготовлен из стали Ст20, имеющий предел пропорциональности  $\sigma_{\text{пц}} = 225$  МПа. Ввиду отсутствия данного материала его изготовили из легированной стали 12ХНЗА с  $\sigma_{\text{пц}} = 360$  МПа. На сколько за счет этого элемента при той же самой сжимающей силе?

### Задача 8.

Стойка проектируется из двух равнобоких уголкового профиля. Как следует собой, чтобы получить наибольшую несущую способность составной стойки?

### Задача 9.

Стержень шатуна кривошипно-шатунного механизма проверяют на устойчивость от осевой сжимающей силы, причем в плоскости движения шатуна концы его считают шарнирно опертыми, а в плоскости, нормальной к плоскости движения – жестко заделанными. При каком соотношении сечения шатуна обеспечивается его равноустойчивость в указанных плоскостях?

### Задача 10.

Две деревянные стойки одинаковой длины и веса отличаются только формой поперечного сечения (у одной сечение круглое, а у другой - квадратное). У какой стойки выше?

### Задача 11.

Стойка имеет прямоугольное сечение 10x40 см. Как следует закрепить ее по концам, чтобы обеспечить в главных плоскостях?

### Задача 12.

Круглая стальная стойка гибкостью  $\lambda=100$  выдерживает сжимающую силу  $F=100$  кН при запасе устойчивости  $\Pi_y=2$ . Во сколько раз можно увеличить сжимающую силу, и сохранив прежний коэффициент запаса устойчивости?



## РГР №1

**Задание 1.** Стальной стержень (модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>) находится под действием внешних осевых сил  $P$  и  $2P$  (рис. 1). Построить эпюры продольных сил  $N$  и нормальных напряжений  $\sigma_z$ . Оценить прочность стержня, если предельное напряжение (предел текучести)  $\sigma_m = 24$  кН/см<sup>2</sup>, а допускаемый коэффициент запаса  $[n] = 1,5$ . Найти удлинение стержня  $\Delta l$ . Исходные данные взять из табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные к задаче 1

Буквы алфавита	Номер схемы (рис. 3.1)	$F$ , см <sup>2</sup>	$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м	$P$ , кН
А, П	1	2,0	1,2	1,4	1,6	11
Б, Р	2	2,2	1,4	1,6	1,4	12
В, С	3	2,4	1,8	1,6	1,2	13
Г, Т	4	2,6	1,6	2,0	1,0	14
Д, У	5	2,8	2,0	1,8	1,2	15
Е, Ф	6	3,0	2,2	1,6	1,4	16
Ж, Х	7	3,2	2,4	1,4	1,6	17
З, Ц	8	3,4	2,6	1,2	1,8	18
И, Ч	9	3,6	2,8	1,0	1,4	19
К, Ш	0	3,8	2,4	1,6	1,2	20
Л, Щ	1	2,2	1,6	1,4	1,2	10
М, Э	2	2,4	1,6	1,8	1,0	11
Н, Ю	3	2,6	2,0	1,8	1,0	13
О, Я	4	2,8	1,8	2,0	1,4	14

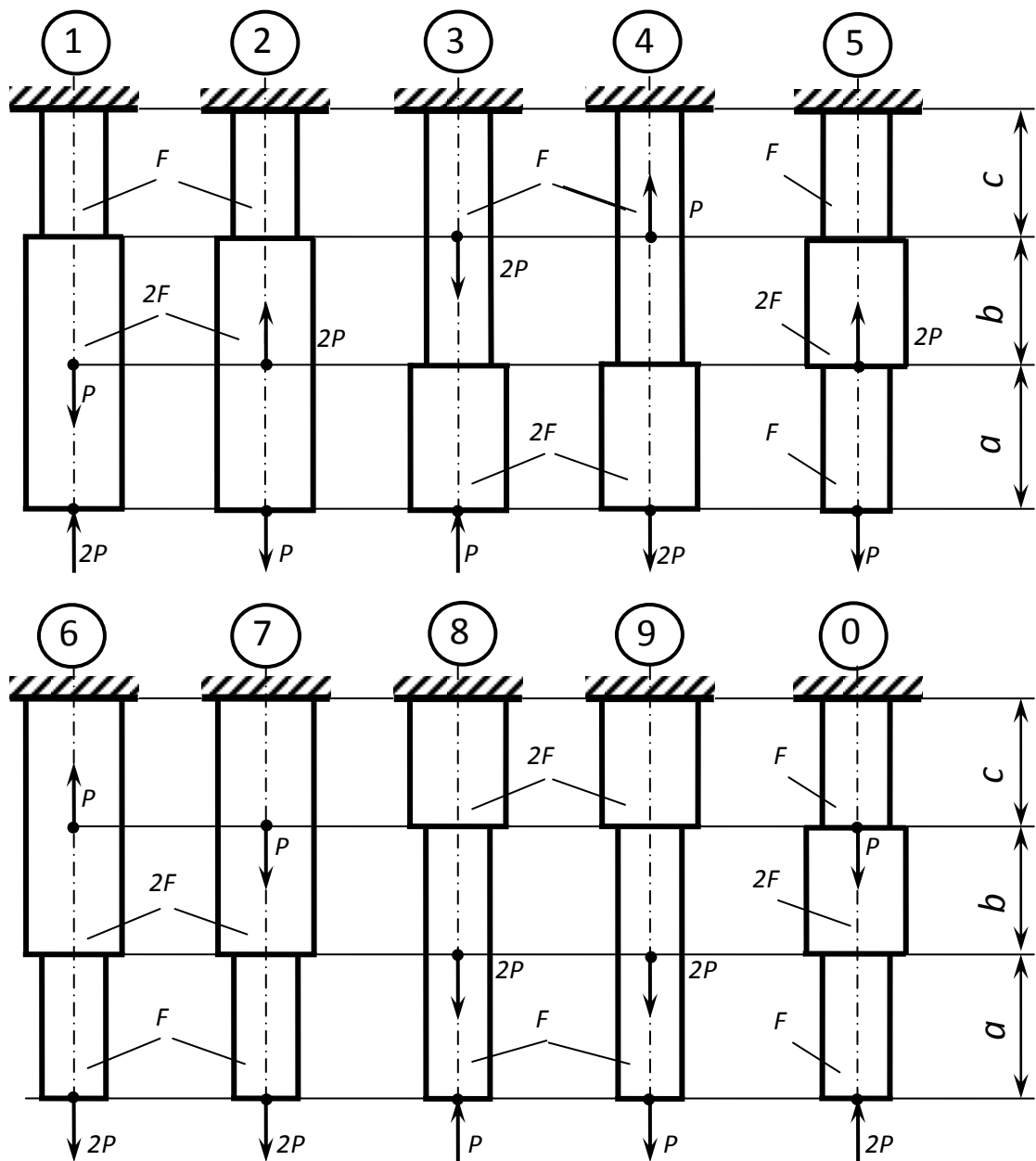


Рис. 1

**Задание 2.** Для заданного поперечного сечения стержня (рис. 2), состоящего из двух прокатных профилей и полосы, требуется найти положение центра тяжести сечения, направление главных центральных осей инерции  $u$  и  $v$ , а также вычислить главные центральные моменты инерции  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$ . Данные взять из табл. 2.

Исходные данные к задаче 2

Буквы алфавита	Номер схемы (рис. 3.9)	Номер швеллера	Номер двутавра	Размеры уголка	Толщина листа, мм
<i>l</i>	2	3	4	5	6
А, П	1	24	12	100×100×8	12
Б, Р	2	22	14	100×100×10	12
В, С	3	20	16	100×100×12	12
Г, Т	4	18	18	100×100×8	14
Д, У	5	16	20	100×100×10	14
Е, Ф	6	14	22	100×100×12	14
Ж, Х	7	12	24	100×100×8	16
З, Ц	8	24	22	100×100×10	16
И, Ч	9	22	20	100×100×12	16
К, Ш	0	20	18	100×100×8	10
Л, Щ	1	18	16	100×100×10	10
М, Э	2	16	14	100×100×12	10
Н, Ю	3	14	12	100×100×8	14
О, Я	4	12	10	100×100×10	14

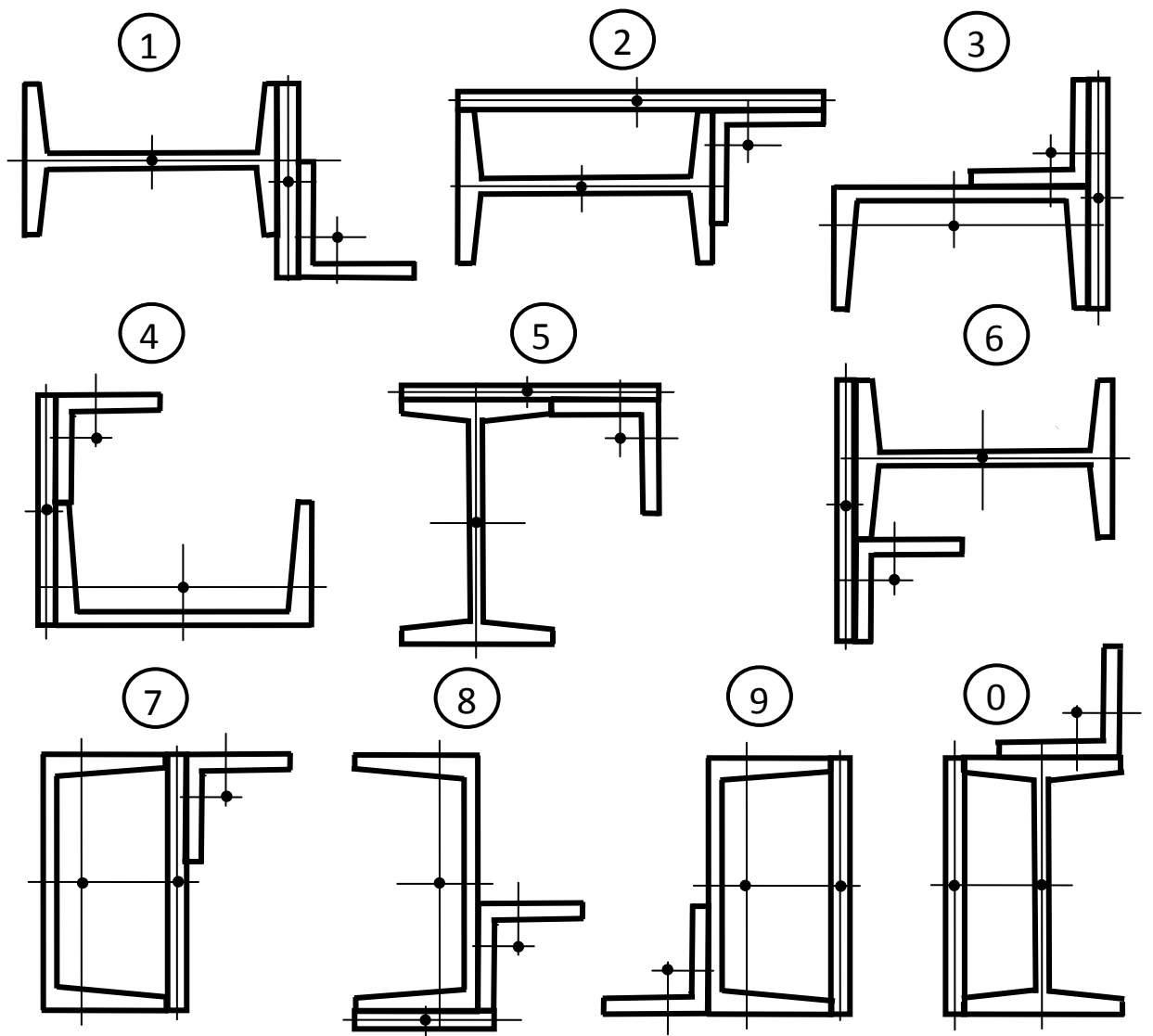


Рис.2

**Задание 3.** Жесткозащемленный одним концом стальной стержень (модуль сдвига  $G = 0,8 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>) круглого поперечного сечения скручивается четырьмя моментами  $M_i$  (рис. 3).

Требуется:

- построить эпюру крутящих моментов;
- при заданном допуске касательном напряжении  $[\tau] = 8$  кН/см<sup>2</sup> из условия прочности определить диаметр вала, округлив его до ближайшего из следующих значений 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200 мм;
- построить эпюру углов закручивания поперечных сечений стержня. Данные взять из табл. 3.

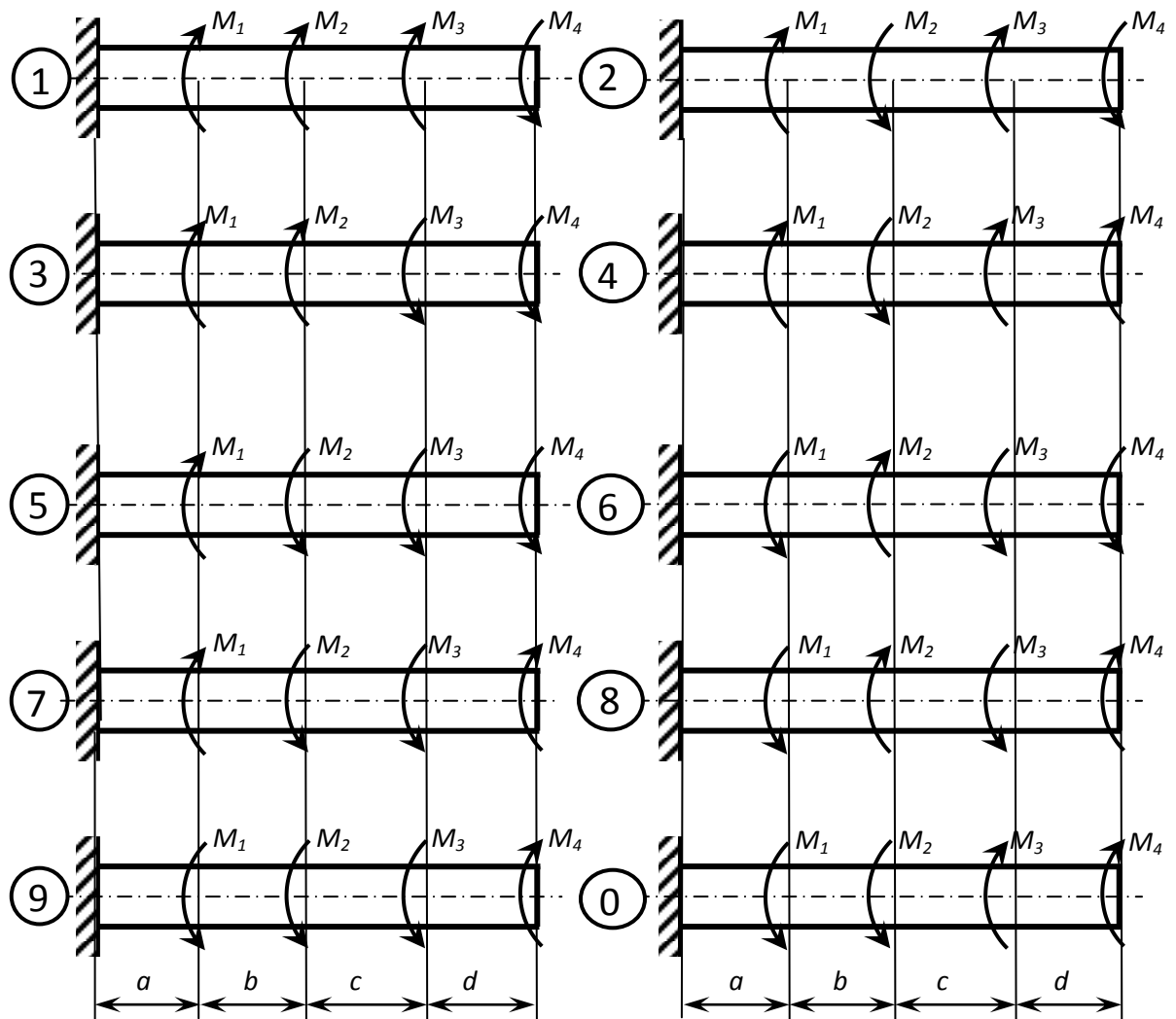


Рис. 3

Таблица 3

Исходные данные к задаче

Буквы алфавита	Номер схемы (рис. 1)	$M_1$ , кН·м	$M_2$ , кН·м	$M_3$ , кН·м	$M_4$ , кН·м	$a$ , м	$b$ , м	$c$ , м	$d$ , м
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А, П	1	1,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,6
Б, Р	2	1,0	2,0	1,0	0,8	1,2	1,4	1,6	1,9
В, С	3	2,0	4,0	1,0	1,0	1,4	1,6	1,0	1,2
Г, Т	4	3,0	5,0	1,6	1,4	1,6	1,0	1,2	1,4

Д, У	5	4,0	6,0	1,8	1,4	1,1	1,1	1,8	1,5
Е, Ф	6	2,0	4,0	1,2	1,2	1,3	1,3	1,5	1,1
Ж, Х	7	2,0	3,0	1,2	1,0	1,5	1,5	1,3	1,3
З, Ц	8	3,0	4,0	1,0	1,0	1,7	1,7	1,5	1,4
И, Ч	9	4,0	5,0	1,8	1,6	1,9	1,9	1,7	1,3
К, Ш	0	5,0	6,0	2,0	1,6	1,2	1,4	1,4	1,2
Л, Щ	1	3,0	4,0	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,4
М, Э	2	3,0	5,0	1,4	1,0	1,6	1,4	1,4	1,6
Н, Ю	3	4,0	5,0	1,2	1,2	1,8	1,6	1,6	1,8
О, Я	4	5,0	7,0	2,0	1,8	2,0	1,8	1,8	2,0

## РГР №2

**Задание 1.** Для двух заданных схем балок (рис. 1) требуется:

- построить эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  и изгибающих моментов  $M_z$ ;
- подобрать из условия прочности по нормальным напряжениям ( $[\sigma]=16 \text{ кН/см}^2$ ) балку *круглого* поперечного сечения для схемы *а* и балку *двухтаврового* поперечного сечения для схемы *б*;
- проверить прочность подобранных балок по касательным напряжениям ( $[\tau]=8 \text{ кН/см}^2$ ).

Данные взять из табл. 1

Таблица 1

Исходные данные к задаче

Буквы алфавита	Номер схемы (рис. 1)	$l$ , м	$a_1/l$	$a_2/l$	$a_3/l$	$M$ , кН·м	$P$ , кН	$q$ , кН/м
А, П	1	3	0,2	0,6	0,2	8	5	10
Б, Р	2	4	0,3	0,5	0,3	7	6	11

В, С	3	5	0,4	0,4	0,3	6	7	12
Г, Т	4	6	0,5	0,3	0,2	5	8	13
Д, У	5	3	0,6	0,7	0,2	4	9	14
Е, Ф	6	4	0,7	0,5	0,3	8	10	9
Ж, Х	7	5	0,8	0,4	0,6	7	5	10
З, Ц	8	6	0,2	0,6	0,3	6	6	11
И, Ч	9	3	0,3	0,5	0,4	5	7	12
К, Ш	0	4	0,4	0,4	0,2	4	8	8
Л, Щ	1	5	0,5	0,3	0,4	5	2	9
М, Э	2	6	0,6	0,7	0,5	4	3	10
Н, Ю	3	3	0,7	0,3	0,4	3	4	11
О, Я	4	4	0,8	0,6	0,3	2	5	12

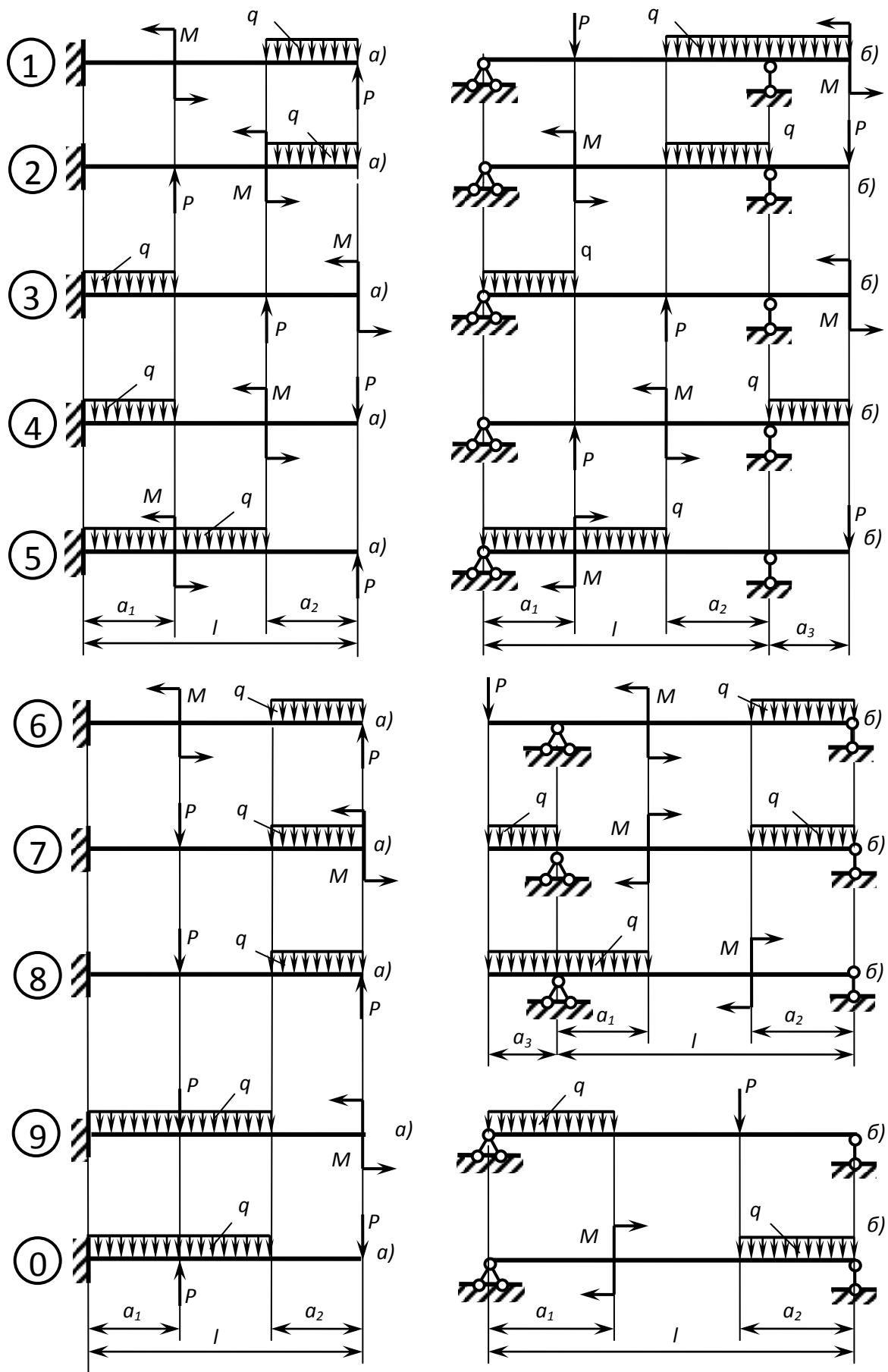


Рис. 1

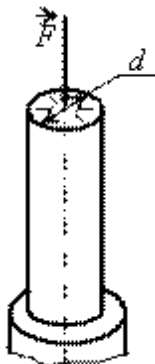


## Вопросы к защите РГР

- 1). Закон Гука при растяжении прямых стержней.
- 2). Построение эпюр крутящих моментов и углов закручивания при кручении стержня
- 3). Построение эпюр изгибающих моментов при изгибе консольных балок.
- 4). Формулы расчета на прочность при растяжении, сдвиге, кручении и изгибе.
- 5). Классификация материалов на пластичные и хрупкие. Предельные и допускаемые напряжения для пластичных и хрупких материалов.
- 6) Суть проектного и проверочного расчетов на прочность.
- 7). Диаграммы растяжения (условная и истинная) и выносливости. Механические свойства материалов при растяжении.
- 8). Напряжения в точке. Главные напряжения.
- 9). Обобщенный закон Гука. Критерии прочности.
- 10). Устойчивость стержня, определение критической силы по формуле Эйлера
- 11). Каковы единицы измерения сосредоточенных сил, моментов, погонной нагрузки?
- 12). В чем заключается метод сечений и для чего он применяется?

## ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ К ЭКЗАМЕНУ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Пример 1. Круглая колонна диаметра  $d$  сжимается силой  $F$ . Определить увеличение диаметра  $\Delta d$ , зная модуль упругости  $E$  и коэффициент Пуассона  $\nu$  материала колонны.



**Решение.**

Продольная деформация по закону Гука равна

$$\varepsilon = \sigma_z / E = -4F / (\pi d^2 E).$$

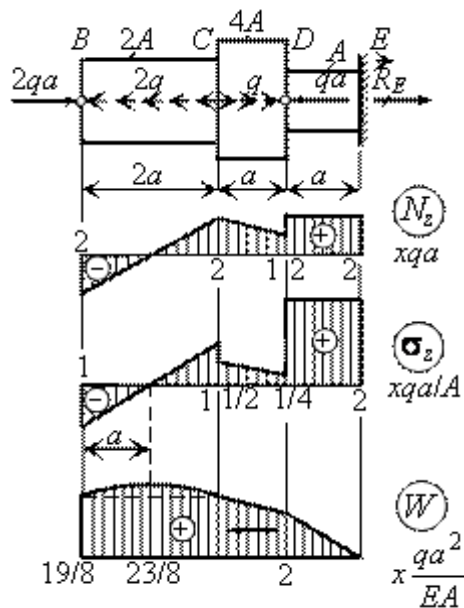
Используя закон Пуассона, находим поперечную деформацию

$$\varepsilon' = -\nu \varepsilon = \nu 4F / (\pi d^2 E).$$

С другой стороны,  $\varepsilon' = \Delta d / d$ .

Следовательно,  $\Delta d = \nu 4F / (\pi d E)$ .

Пример 2. Построить эпюры продольной силы, напряжения и перемещения для ступенчатого бруса.



**Решение.**

Определение опорной реакции. Составляем уравнение равновесия в проекции на ось  $z$ :

$$\sum Z_i = 0, \quad -2qa + 2q \cdot 2a - qa + qa - R_E = 0,$$

откуда  $R_E = 2qa$ .

. Построение эпюр  $N_z$ ,  $\sigma_z$ ,  $W$ .

Эпюра  $N_z$ . Она строится по формуле

$$N_z = N_0 \pm qz.$$

Имеем

$$N_B = -2qa,$$

$$N_C = N_B + 2q \cdot 2a = 2qa$$

$$N_{DC} = N_C - qa = qa,$$

$$N_{DE} = N_{DC} + qa = 2qa.$$

Эпюра  $\sigma_x$ . Напряжение равно  $\sigma_x = N_x/A(z)$ . Как следует из этой формулы, скачки на эпюре  $\sigma_x$  будут обусловлены не только скачками  $N_x$ , но также резкими изменениями площади поперечных сечений. Определяем значения  $\sigma_x$  в характерных точках:

$$\sigma_B = \frac{N_B}{2A} = \frac{-2qa}{2A} = -\frac{qa}{A},$$

$$\sigma_{CB} = \frac{N_C}{2A} = \frac{2qa}{2A} = \frac{qa}{A},$$

$$\sigma_{CD} = \frac{N_C}{4A} = \frac{2qa}{4A} = \frac{qa}{2A},$$

$$\sigma_{DC} = \frac{N_{DC}}{4A} = \frac{qa}{4A},$$

$$\sigma_{DE} = \frac{N_{DE}}{A} = \frac{2qa}{A} \text{ и строим эпюру } \sigma_x.$$

Эпюра  $W$ . Она строится по формуле

$$W = W_o + \frac{1}{E_o} \int \sigma_x dz = W_o + \omega_\sigma / E.$$

Построение ведем от защемления к свободному концу. Находим перемещения в характерных сечениях:

$$W_o = W_E = 0,$$

$$W_D = W_o + \frac{\omega_\sigma}{E} = \left( \frac{2qa}{EA} \right) \cdot a = \frac{2qa^2}{EA},$$

$$W_C = W_D + \frac{\omega_\sigma}{E} = \frac{2qa^2}{EA} + \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \right) \cdot \left( \frac{qa}{EA} \right) \cdot a = \frac{19qa^2}{8EA},$$

$$W_{\max} = W_C + \frac{\omega_\sigma}{E} = \frac{19qa^2}{8EA} + \left( \frac{qa}{2EA} \right) \cdot a = \frac{23qa^2}{8EA},$$

$$W_B = W_C + \frac{\omega_\sigma}{E} = W_C = \frac{19qa^2}{8EA},$$

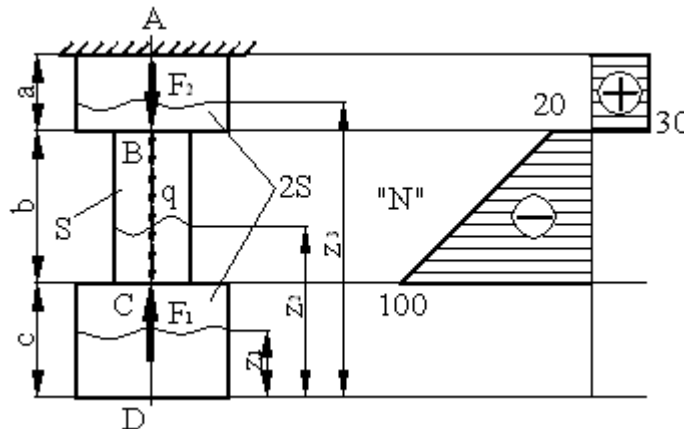
строим эпюру  $W$ .

Пример 3.

Для стержня, изображенного на рисунке, построить эпюру нормальной силы и определить удлинение стержня, если  $F_1 = 100$  кН,  $F_2 = 50$  кН,  $q = 40$  кН/м,  $a = 1$  м,  $b = 2$  м,  $c = 1,5$  м,  $E = 2 \times 10^5$  МПа,  $S = 0,2$  м<sup>2</sup>.

**Решение.**

1. Разбиваем брус на участки  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$
2. Определяем значение нормальной силы на каждом участке



CD  $0 \leq z_1 \leq 1,5$

$$N_1 = \sum_{n.n.} z = 0$$

CB  $1,5 \leq z_2 \leq 3,5$

$$N_2 = \sum_{n.n.} z = -F_1 + q(z_2 - 1,5)$$

при  $z_2 = 1,5$  м,  $N_2 = -100$  кН,

при  $z_2 = 3,5$  м,  $N_2 = -20$  кН,

BA  $3,5 \leq z_3 \leq 4,5$

$$N_3 = \sum_{n.n.} z = -F_1 + 2q + F_2 = 30$$

кНёё

1) Строим эпюру нормальной силы

2) Определяем удлинение стержня

$$\Delta l = \Delta l_{AB} + \Delta l_{BC} + \Delta l_{CD}$$

$$\Delta l_{AB} = -\frac{F_1 l_{AB}}{ES_{AB}} + \frac{q l_{BC} l_{AB}}{ES_{AB}} + \frac{F_2 l_{AB}}{ES_{AB}} = -\frac{F_1 a}{E2S} + \frac{qba}{E2S} + \frac{F_2 a}{E2S} =$$

$$= -\frac{100 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 0,2} + \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 0,2} + \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 1}{2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 0,2} = 3,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

$$\Delta l_{ac} = -\frac{Fl_{ac}}{ES_{ac}} + \frac{ql_{ac}^2}{2ES_{ac}} = -\frac{Fl}{ES} + \frac{qb^2}{2ES} = -\frac{100 \cdot 10^3 \cdot 2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 0,2} + \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 2^2}{2 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,2} = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$$\Delta l = 3,75 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-6} = -2,625 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

## 8 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### а. Основная литература

1. Дарков, А.В. Сопротивление материалов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. - 4-е изд., перераб. - М.: Высшая школа, 1989; 1975; 1969. - 654с.
2. Варданян, Г.С. Сопротивление материалов с основами строительной механики : учебник для вузов / Г. С. Варданян, Н. М. Атаров, А. А. Горшков; Под ред. Г.С.Варданяна. - Изд.испр. - М.: ИНФРА-М, 2012; 2011. - 504с.
3. Долинский, Ф.В. Краткий курс сопротивления материалов : учебное пособие для вузов / Ф. В. Долинский. - М.: Высшая школа, 1988. - 432с.

### б. Дополнительная литература

1. Александров, А.В. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов, Б. П. Державин. - 2-е изд., испр. - М.: Высшая школа, 2000. - 560с.
2. Ахметзянов, М.Х. Сопротивление материалов : учебник для вузов / М. Х. Ахметзянов, И. Б. Лазарев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Юрайт, 2011. - 300с.
3. Ицкович, Г.М. Руководство к решению задач по сопротивлению материалов : учебное пособие для вузов / Г. М. Ицкович, Л. С. Минин, А. И. Винокур; Под ред. Л.С.Минина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2001; 1999. - 592с.
4. Ицкович, Г.М. Сборник задач по сопротивлению материалов : учебное пособие / Г. М. Ицкович, А. И. Винокуров, Н. В. Барановский. - 4-е изд. - Л.: Судостроение, 1972. - 230с.
5. Лейзерович, Г.С. Руководство к самостоятельной работе по сопротивлению материалов : учебное пособие / Г. С. Лейзерович, В. С. Симонов. - Комсомольск-на-Амуре: Изд-во Комсомольского-на-Амуре гос.техн.ун-та, 2007. - 88с.
6. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов : учебник для вузов / В. И. Феодосьев. - 9-е изд., перераб. - М.: Наука, 1986. - 512с.

## 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной

сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Электронная библиотека [www.znaniium.com](http://www.znaniium.com)
2. Электронный портал научной литературы [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

## 10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

### Пример выполнения

#### РГР №1

#### Задание

**Пример 1.** Стальной стержень (модуль Юнга  $E = 2 \cdot 10^4$  кН/см<sup>2</sup>) с размерами  $a = 200$  см;  $b = 150$  см,  $c = 100$  см и площадью поперечного сечения нижнего участка  $F_n = F = 10$  см<sup>2</sup>, а верхнего –  $F_g = 2F = 20$  см<sup>2</sup> нагружен внешними осевыми силами  $P_1 = 100$  кН и  $P_2 = 300$  кН (рис. 1). Построить эпюры продольных сил  $N$  и нормальных напряжений  $\sigma_z$ . Оценить прочность стержня, если предельное напряжение (предел текучести)  $\sigma_m = 24$  кН/см<sup>2</sup>, а допускаемый коэффициент запаса  $[n] = 1,5$ . Найти удлинение стержня  $\Delta l$ .

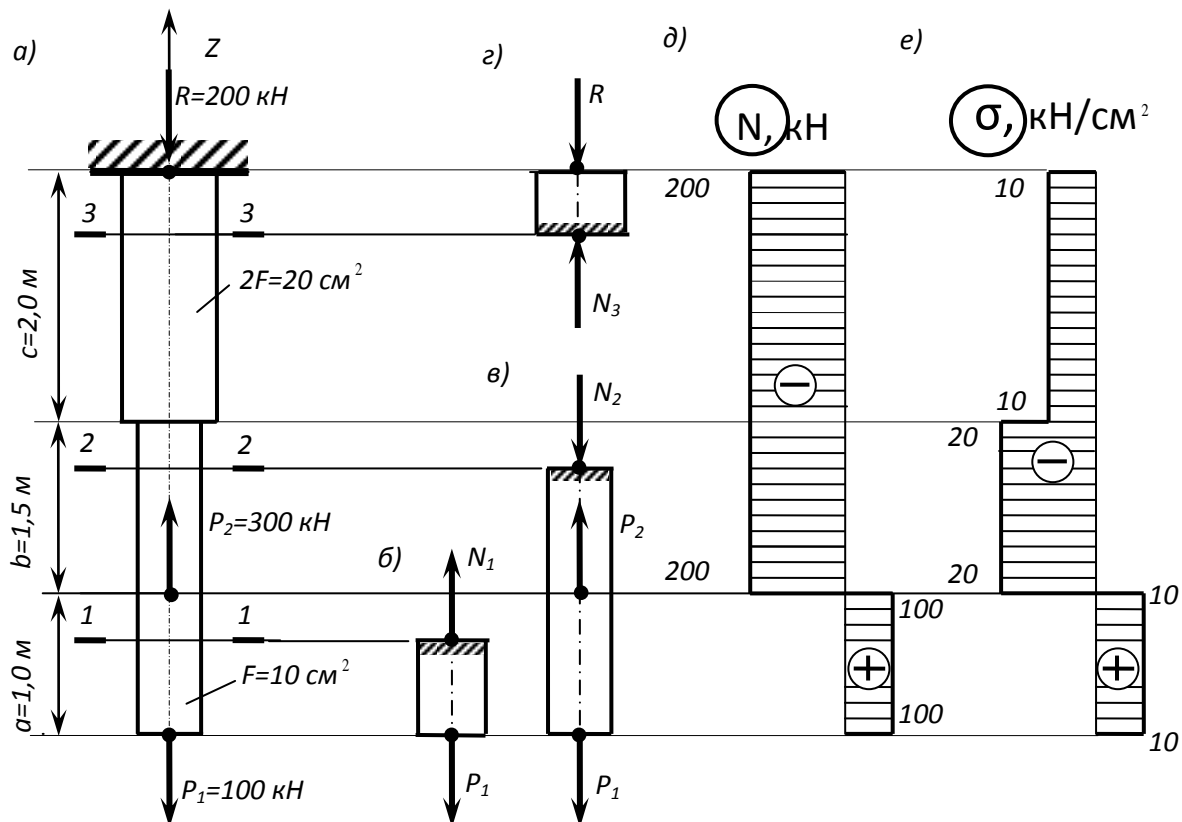


Рис. 1

### Решение.

1. Определяем значение опорной реакции  $R$ , возникающей в заделке. Учитывая, что  $P_2 > P_1$ , направим опорную реакцию  $R$  вниз. Тогда из уравнения равновесия  $\sum Z = 0$  находим:

$$-R + P_2 - P_1 = 0; \quad R = P_2 - P_1 = 300 - 100 = 200 \text{ кН.}$$

2. Строим эпюру продольных сил  $N$ .

Разбиваем длину стержня на три участка (рис. 1, а). Границами участков являются те сечения, в которых приложены внешние силы и (или) изменяется размер поперечного сечения стержня.

Воспользуемся методом сечений (РОЗУ). Делаем по одному сечению в произвольном месте каждого из трех участков стержня.

Начнем с сечения  $I - I$ . Отбросим (или закроем листком бумаги) верхнюю часть стержня (рис. 1, б). Само сечение  $I - I$  мысленно считаем неподвижным. Мы видим, что внешняя сила  $P_1$  растягивает рассматриваемую нижнюю часть стержня. Отброшенная нами верхняя часть стержня противодействует этому растяжению. Это противодействие мы заменим внутренней продольной силой  $N_1$ , направленной от сечения и соответствующей растяжению. Разрушения стержня не произойдет только в

том случае, если возникающая в сечении  $1 - 1$  внутренняя продольная сила  $N_1$  уравнивает внешнюю силу  $P_1$ . Поэтому очевидно, что

$$N_1 = P_1 = 100 \text{ кН.}$$

Переходим к сечению  $2 - 2$  (рис. 2, *в*). Внешняя сила  $P_1$  растягивает рассматриваемую нами нижнюю часть стержня, а сила  $P_2$  ее сжимает (напомним, что  $2 - 2$  мы мысленно считаем *неподвижным*). Причем, согласно условию задачи,  $P_2 > P_1$ . Чтобы уравновесить эти две силы, в сечении  $2 - 2$  должна возникнуть внутренняя сила  $N_2$ , противодействующая *сжатию*, то есть направленная к сечению. Она равна:

$$N_2 = P_2 - P_1 = 300 - 100 = 200 \text{ кН.}$$

Делаем сечение  $3 - 3$ . Отбросим теперь часть стержня, расположенную ниже этого сечения. Внутренняя продольная сила  $N_3$  должна уравновесить внешнюю (реактивную) *сжимающую* силу  $R$ . Поэтому она направлена к сечению и равна:

$$N_3 = R = 200 \text{ кН.}$$

Легко убедиться в том, что полученный результат не изменится, если мы отбросим не нижнюю, а верхнюю часть стержня. В этом случае продольная сила  $N_3$  также противодействует *сжатию*. Она равна:

$$N_3 = P_2 - P_1 = 300 - 100 = 200 \text{ кН.}$$

При построении эпюры продольных сил  $N$  будем пользоваться следующим правилом знаков: *внутренняя продольная сила, возникающая в поперечном сечении стержня, считается **положительной**, если она противодействует **растяжению** стержня, и **отрицательной**, если она противодействует его **сжатию**.*

Это правило знаков вводится для того, чтобы можно было наглядно видеть, какая часть стержня испытывает деформацию растяжения, а какая часть – деформацию сжатия. Это обстоятельство может оказаться крайне важным, в частности для стержней из хрупкого материала, которые имеют разные допускаемые напряжения на растяжение и на сжатие.

Таким образом, мы установили, что в *любом* сечении нижнего участка стержня внутренняя продольная сила противодействует *растяжению* и равна  $N_1 = +100$  кН. В любом сечении среднего и верхнего участков стержня имеет место деформация *сжатия*, поэтому  $N_2 = N_3 = -200$  кН.

Для построения эпюры продольных сил  $N$  проводим *тонкой* линией ось, параллельную оси стержня  $z$  (рис. 1, *д*). Вычисленные значения



продольных сил в выбранном масштабе и с учетом их знака откладываем от этой вертикальной оси. В пределах каждого из участков стержня продольная сила остается постоянной, поэтому мы как бы «заштриховываем» горизонтальными линиями соответствующий участок.

Отметим, что каждая линия «штриховки» (то есть ордината эпюры) в принятом масштабе дает значение продольной силы в соответствующем поперечном сечении стержня.

Полученную эпюру обводим жирной линией.

Анализируя полученную эпюру, мы видим, что в местах приложения внешних сил на эпюре  $N$  имеет место скачкообразное изменение продольной силы на величину, равную значению соответствующей внешней силы. Причем изменение поперечного размера стержня никак не сказывается на характере эпюры  $N$ .

3. Строим эпюру нормальных напряжений  $\sigma_z$ .

Нормальное напряжение, возникающее в  $k$ -м поперечном сечении стержня при растяжении (сжатии), вычисляется по следующей формуле

$$\sigma_{z_k} = N_k / F_k ,$$

где  $N_k$  и  $F_k$  – продольная сила и площадь  $k$ -го поперечного сечения стержня соответственно.

В первом поперечном сечении стержня нормальное напряжение равно

$$\sigma_{z_1} = \frac{N_1}{F_1} = \frac{N_1}{F} = +\frac{100}{10} = +10 \text{ кН/см}^2,$$

во втором –

$$\sigma_{z_2} = \frac{N_2}{F_2} = \frac{N_2}{F} = -\frac{200}{10} = -20 \text{ кН/см}^2,$$

в третьем –

$$\sigma_{z_3} = \frac{N_3}{F_3} = \frac{N_3}{2F} = -\frac{200}{20} = -10 \text{ кН/см}^2.$$

Строим по вычисленным значениям эпюру  $\sigma_z$ . В пределах каждого из участков стержня напряжения постоянны, то есть эпюра напряжений параллельна оси. Заметим, что в отличие от эпюры  $N$ , на эпюре  $\sigma_z$  «скачок» имеет место не только в местах приложения внешних сил, но и там, где происходит изменение размеров поперечного сечения стержня.

4. Оцениваем прочность стержня.

Сопоставляем *наибольшее* (по модулю) нормальное напряжение  $\sigma_{z_2}$ , которое в нашем примере возникает во втором сечении стержня, с *допускаемым напряжением*  $[\sigma]$ . Напомним, что допускаемое напряжение представляет собой долю от *предельного* напряжения  $\sigma_{np}$ , то есть от напряжения, при котором начинается разрушение материала. Разрушение стали, как *пластичного материала*, начинается при появлении значительных остаточных деформаций. Поэтому для стали предельное напряжение равно пределу текучести:  $\sigma_{np} = \sigma_m$ . Тогда

$$[\sigma] = \sigma_m / [n] = 24 / 1,5 = 16 \text{ кН/см}^2.$$

Условие прочности имеет вид  $\sigma_z^{\max} \leq [\sigma]$ . В нашем случае

$$\sigma_z^{\max} = |\sigma_{z_2}| = 20 \text{ кН/см}^2 > [\sigma] = 16 \text{ кН/см}^2,$$

следовательно, прочность стержня на втором участке *не обеспечена*.

Таким образом, площадь поперечного сечения стержня на втором участке, равную  $F_2 = F = 10 \text{ см}^2$ , нам необходимо *увеличить*.

Несложный анализ показывает, что на других участках стержня условие прочности выполняется.

Из условия прочности определяем *требуемую* площадь поперечного сечения стержня на втором участке:

$$F_2^{\text{треб}} \geq |N_2| / [\sigma] = 200 / 16 = 12,5 \text{ см}^2.$$

Принимаем на втором участке  $F_2 = 12,5 \text{ см}^2$ .

5. Вычисляем удлинение всего стержня  $\Delta l$ .

При переменных по длине стержня значениях продольной силы и площади поперечного сечения удлинение вычисляется по формуле

$$\Delta l = \sum_k \frac{N_k l_k}{EF_k},$$

где  $E$  – модуль Юнга, а  $l_k$  – длина соответствующего участка стержня.

Тогда

$$\Delta l = \frac{N_1 l_1}{EF_1} + \frac{N_2 l_2}{EF_2} + \frac{N_3 l_3}{EF_3} = \frac{100 \cdot 100}{2 \cdot 10^4 \cdot 10} - \frac{200 \cdot 150}{2 \cdot 10^4 \cdot 12,5} - \frac{200 \cdot 200}{2 \cdot 10^4 \cdot 20} = -0,17 \text{ см.}$$

Таким образом, длина стержня уменьшается на 1,7 мм.

## Задание 2

**Пример 2.** Для составного поперечного сечения стержня, состоящего из равнобокого уголка № 7 с толщиной стенки 8 мм, швеллера № 22 и полосы 180×20 мм (рис. 2), требуется найти положение центра тяжести сечения, направление главных центральных осей инерции  $u$  и  $v$ , а также вычислить главные центральные моменты инерции  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$ .

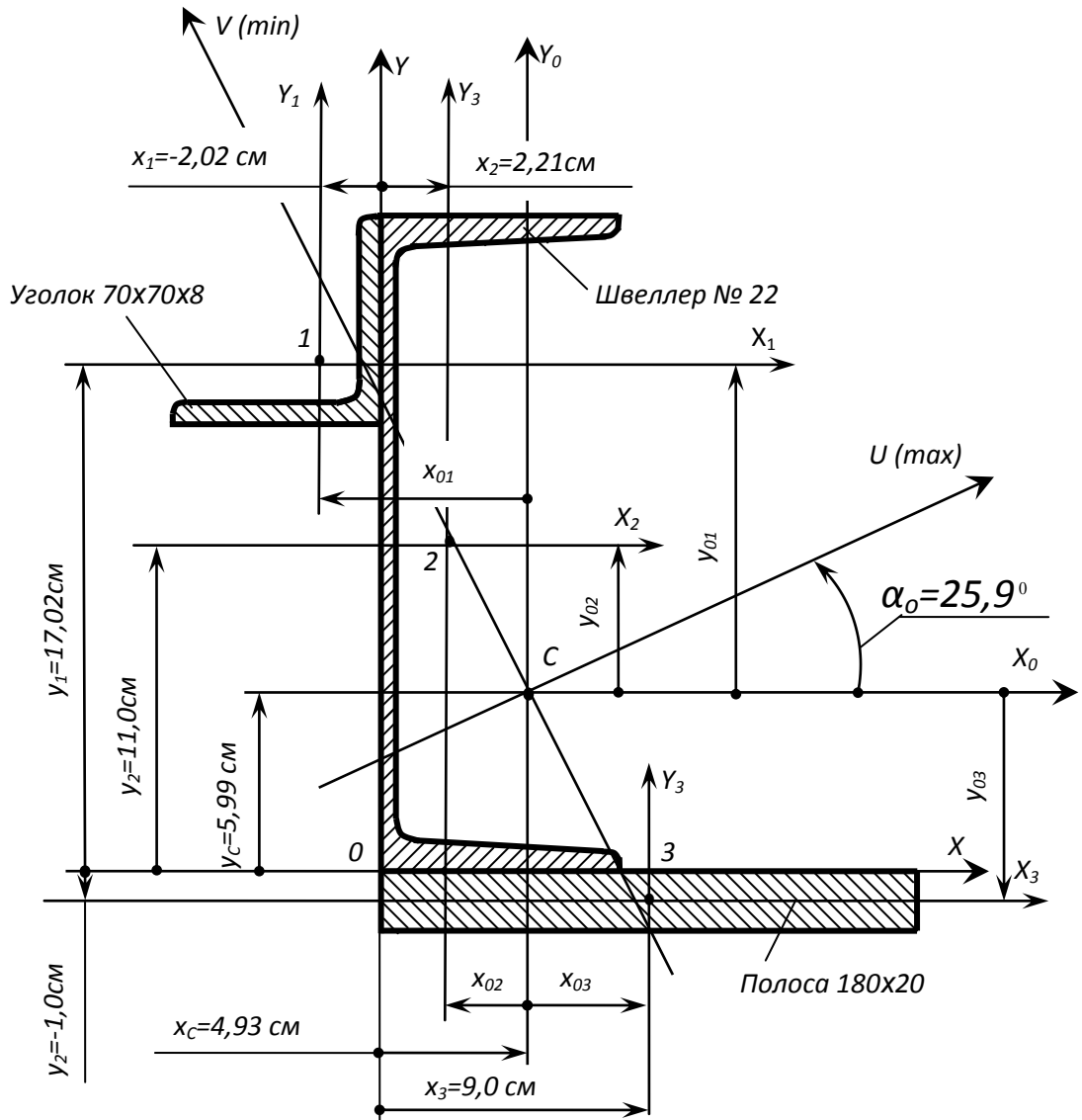


Рис. 2

**Решение.**

1. Определяем координаты центра тяжести поперечного сечения.

Размеры и геометрические характеристики уголка и швеллера устанавливаем по сортаментам (прил. 1, табл. П1.1, П1.4). Вычерчиваем сечение в масштабе (см. рис. 2). Выбираем *оси сравнения*  $x$  и  $y$ , располагая их по контуру швеллера. Именно в этих осях мы и будем определять положение центра тяжести всего сечения. Для каждого элемента сечения (уголка, швеллера и полосы) проводим *собственные* центральные оси  $x_i, y_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), параллельные выбранным осям сравнения  $x$  и  $y$ .

Координаты центра тяжести всего поперечного сечения (точка  $C$ ), состоящего из трех элементов (уголка – 1, швеллера – 2 и полосы – 3), вычисляются по формулам:

$$x_c = \frac{S_y}{F} = \frac{S_{y1} + S_{y2} + S_{y3}}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + F_3 x_3}{F_1 + F_2 + F_3};$$

$$y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{S_{x1} + S_{x2} + S_{x3}}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + F_3 y_3}{F_1 + F_2 + F_3},$$

где  $S_{y_i}$  и  $S_{x_i}$  – статические моменты соответствующего элемента относительно осей сравнения;  $F_i$  – площадь элемента;  $x_i$  и  $y_i$  – координаты центра тяжести элемента  $C_i$  в осях сравнения. Вычисления производим в табличной форме (табл. 2).

Таблица 2

Определение координат центра тяжести поперечного сечения

Номер элемента	Наименование элемента	Площадь элемента $F_i, \text{см}^2$	Координаты центра тяжести элемента $C_i$		Статические моменты элемента относительно осей сравнения $S_{y_i}$ и $S_{x_i}$	
			$x_i, \text{см}$	$y_i, \text{см}$	$S_{y_i} = F_i x_i, \text{см}^3$	$S_{x_i} = F_i y_i, \text{см}^3$
1	Уголок	10,67	-2,02	17,02	-21,55	181,60
2	Швеллер	26,70	2,21	11,00	59,01	293,70
3	Полоса	36,00	9,00	-1,00	324,00	-36,00
$\Sigma$	Все сечение	73,37			361,46	439,30

Координаты центра тяжести поперечного сечения (точка  $C$ ) в осях сравнения  $x$ ,  $y$ :

$$x_c = \frac{S_y}{F} = \frac{361,46}{73,37} = 4,93 \text{ см}; \quad y_c = \frac{S_x}{F} = \frac{439,30}{73,37} = 5,99 \text{ см}.$$

По найденным значениям  $x_c$  и  $y_c$  отмечаем на чертеже центр тяжести всего сечения точку  $C$  и проводим *центральные* оси  $x_0$  и  $y_0$ .

Заметим, что центр тяжести всей фигуры должен располагаться внутри треугольника, вершинами которого являются центры тяжести элементов поперечного сечения.

2. Вычисляем моменты инерции всего поперечного сечения относительно центральных осей  $x_0$  и  $y_0$ .

Осевые и центробежный моменты инерции сечения относительно центральных осей определяются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} I_{x_0} &= (I_{x_1} + y_{01}^2 F_1) + (I_{x_2} + y_{02}^2 F_2) + (I_{x_3} + y_{03}^2 F_3); \\ I_{y_0} &= (I_{y_1} + x_{01}^2 F_1) + (I_{y_2} + x_{02}^2 F_2) + (I_{y_3} + x_{03}^2 F_3); \\ I_{x_0 y_0} &= (I_{x_1 y_1} + x_{01} y_{01} F_1) + (I_{x_2 y_2} + x_{02} y_{02} F_2) + (I_{x_3 y_3} + x_{03} y_{03} F_3). \end{aligned}$$

Значения осевых моментов инерции уголка  $I_{x_1}$ ,  $I_{y_1}$  и швеллера  $I_{x_2}$ ,  $I_{y_2}$  относительно *собственных* центральных осей  $x_i$  и  $y_i$  определяем по сортаменту (см. прил. 1). Для полосы осевые моменты инерции соответственно равны:

$$I_{x_3} = \frac{18 \cdot 2^3}{12} = 12 \text{ см}^4; \quad I_{y_3} = \frac{18^3 \cdot 2}{12} = 972 \text{ см}^4.$$

Центробежные моменты инерции швеллера  $I_{x_2 y_2}$  и полосы  $I_{x_3 y_3}$  равны нулю, поскольку их собственные центральные оси являются осями симметрии.

Центробежный момент инерции уголка  $I_{x_1 y_1}$  относительно собственных центральных осей  $x_1$  и  $y_1$  вычисляется по формуле

$$I_{x_1 y_1} = \pm \frac{1}{2} (I_{\max} - I_{\min}),$$

где  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  – максимальный и минимальный главные моменты инерции уголка соответственно. По сортаменту находим, что  $I_{\max} = 76,35 \text{ см}^4$ , а  $I_{\min} = 19,97 \text{ см}^4$ .

Центробежный момент инерции уголка *не равен нулю*, поскольку оси  $x_1$  и  $y_1$  не являются для него главными центральными осями инерции (главные центральные оси для равнобокого уголка повернуты относительно осей  $x_1$  и  $y_1$  на угол  $45^\circ$ ).

Знак центробежного момента инерции уголка (как, впрочем, и для любой другой фигуры) зависит от *направления* координатных осей. Он легко определяется следующим образом. Согласно определению, центробежный момент инерции фигуры равен интегралу, в котором элементарная площадка  $dF$  умножается на произведение расстояний от этой площадки до координатных осей. Мысленно разделим уголок на три площади, расположенные, в нашем случае, в первом, третьем и четвертом квадрантах. Эти площади, в свою очередь, разобьем на элементарные площадки. Видно, что для элементарных площадок, расположенных в первом и третьем квадрантах, расстояния от элементарных площадок до координатных осей имеют одинаковый знак. Поэтому при интегрировании по площади, расположенной в этих квадрантах, мы получим знак «плюс». В четвертом квадранте расстояния от площадок до координатных осей имеют разные знаки, что при интегрировании даст знак «минус». Очевидно, что, суммируя полученные результаты, мы, в итоге, получим положительное значение центробежного момента инерции уголка. Следовательно,

$$I_{x_1 y_1} = +\frac{1}{2}(76,35 - 19,97) = 28,19 \text{ см}^4.$$

Теперь определяем координаты центров тяжести отдельных элементов  $C_i$  в центральных осях  $x_0$  и  $y_0$ :

для уголка

$$x_{01} = x_1 - x_c = -2,02 - 4,93 = -6,95 \text{ см};$$

$$y_{01} = y_1 - y_c = 17,02 - 5,99 = 11,03 \text{ см};$$

для швеллера

$$x_{02} = x_2 - x_c = 2,21 - 4,93 = -2,72 \text{ см};$$

$$y_{02} = y_2 - y_c = 11,00 - 5,99 = 5,01 \text{ см};$$

для полосы

$$x_{03} = x_3 - x_c = 9,00 - 4,93 = 4,07 \text{ см};$$

$$y_{03} = y_3 - y_c = -1,00 - 5,99 = -6,99 \text{ см.}$$

Дальнейшие вычисления моментов инерции всего поперечного сечения относительно центральных осей  $x_0$  и  $y_0$  производим в табличной форме (табл. 3).

Определение моментов инерции сечения относительно центральных осей  $x_0$  и  $y_0$

Таблица 3

Номер элемента	Наименование элемента	Площадь элемента $F_i$ , $\text{см}^2$	Моменты инерции относительно собственных центральных осей $x_i$ и $y_i$			Координаты центра тяжести в осях $x_0$ и $y_0$	
			$I_{x_i}$ , $\text{см}^4$	$I_{y_i}$ , $\text{см}^4$	$I_{x_i y_i}$ , $\text{см}^4$	$x_{0i}$ , $\text{см}$	$y_{0i}$ , $\text{см}$
1	Уголок	10,67	48,16	48,16	28,19	-6,95	11,03
2	Швеллер	26,70	2110,00	151,00	0	-2,72	5,01
3	Полоса	36,00	12,00	972,00	0	4,07	-6,99
$\Sigma$	Все сечение	73,37					

Продолжение табл. 3

Наименование элемента	"Переносные" моменты инерции, $\text{см}^4$			Моменты инерции относительно центральных осей $x_c$ и $y_c$ , $\text{см}^4$		
	$x_{0i}^2 F_i$	$y_{0i}^2 F_i$	$x_{0i} y_{0i} F_i$	$I_{x_i} + y_{0i}^2 F_i$	$I_{y_i} + x_{0i}^2 F_i$	$I_{x_i y_i} + x_{0i} y_{0i} F_i$
Уголок	515,39	1298,12	-817,95	1346,28	563,55	-789,76
Швеллер	197,54	670,17	-363,85	2780,17	348,54	-363,85
Полоса	596,34	1758,96	-1024,17	1770,96	1568,34	-1024,17
Все сечение				5897,41	2480,43	-2177,78

После округления вычисленных значений моментов инерции до *трех* значащих цифр, окончательно, получим

$$I_{x_0} = 5900 \text{ см}^4; \quad I_{y_0} = 2480 \text{ см}^4; \quad I_{x_0 y_0} = -2180 \text{ см}^4.$$

3. Определяем положение *главных* центральных осей инерции *и* и *ν*.

Угол наклона *главных* центральных осей *и* и *ν* к центральным осям  $x_0$  и  $y_0$  соответственно определяем из следующей формулы:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2I_{x_0 y_0}}{I_{x_0} - I_{y_0}} = -\frac{-2 \cdot 2180}{5900 - 2480} = 1,27.$$

Отсюда находим, что  $2\alpha_0 = 51,8^\circ$  и  $\alpha_0 = 25,9^\circ$ .

Откладываем *положительное* значение угла  $\alpha_0$  от оси  $x_0$  *против* хода часовой стрелки и проводим главные центральные оси *и* и *ν* (см. рис. 2).

Ось, относительно которой момент инерции *максимален*, составляет меньший угол с той из центральных осей  $x_0$  или  $y_0$ , относительно которой осевой момент больше. Поскольку  $I_{x_0} = 5900 \text{ см}^4$  больше, чем  $I_{y_0} = 2480 \text{ см}^4$ , ось *и* является осью относительно которой момент инерции сечения *максимален*, то есть ось *и* – ось *max*. Соответственно, ось *ν* является осью *min*.

4. Вычисляем значения *главных* центральных моментов инерции  $I_{\max}$  и  $I_{\min}$  для заданного поперечного сечения.

Значения главных центральных моментов инерции всей фигуры определяются по формуле

$$I_{\max, \min} = \frac{I_{x_0} + I_{y_0}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_{x_0} - I_{y_0})^2 + 4I_{x_0 y_0}^2}.$$

Тогда

$$I_{\max, \min} = \frac{5900 + 2480}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(5900 - 2480)^2 + 4 \cdot (-2180)^2} = 4190 \pm 2770 \text{ см}^4;$$

$$I_{\max} = I_u = 4190 + 2770 = 6960 \text{ см}^4; \quad I_{\min} = I_\nu = 4190 - 2770 = 1420 \text{ см}^4.$$

Контролем правильности *последних* вычислений может служить следующее условие:

$$I_{x_0} + I_{y_0} = I_{\max} + I_{\min}.$$

Имеем

$$5900 + 2480 = 6960 + 1420, \quad 7380 = 7380.$$



### Задание 3

**Пример 3.** К стальному валу постоянного поперечного сечения (рис. 3) приложены четыре внешних скручивающих момента:  $M_1 = 1,5$  кН·м;  $M_2 = 5,5$  кН·м;  $M_3 = 3,2$  кН·м;  $M_4 = 1,8$  кН·м. Длины участков стержня:  $a = 1,5$  м;  $b = 2$  м,  $c = 1$  м,  $d = 1,2$  м. Требуется: построить эпюру крутящих моментов, определить диаметр вала при  $[\tau] = 8$  кН/см<sup>2</sup> и построить эпюру углов закручивания поперечных сечений стержня.

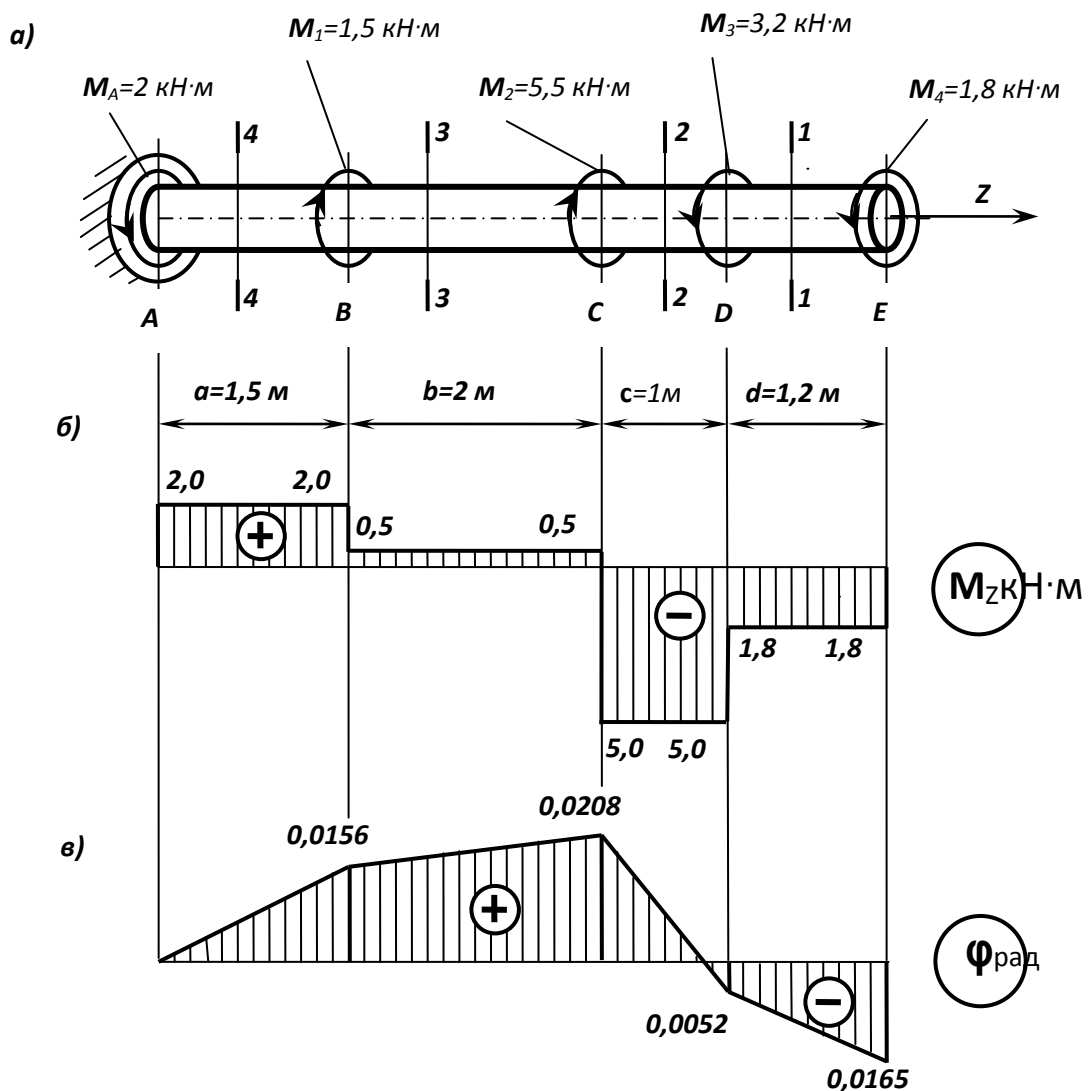


Рис. 3

**Решение.**

1. Определяем реактивный момент, возникающий в жесткой заделке.

Обозначим момент в заделке  $M_A$  и направим его, например, против хода часовой стрелки (при взгляде навстречу оси  $z$ ).

Запишем уравнение равновесия вала. При этом будем пользоваться следующим правилом знаков: *внешние скручивающие моменты* (активные моменты, а также реактивный момент в заделке), *вращающие вал против хода часовой стрелки (при взгляде на него навстречу оси  $z$ ), считаем положительными.*

Тогда

$$\sum M_z = 0; \quad M_A - M_1 - M_2 + M_3 + M_4 = 0;$$

$$M_A = M_1 + M_2 - M_3 - M_4 = 1,5 + 5,5 - 3,2 - 1,8 = 2 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Знак «плюс» в полученном нами выражении говорит о том, что мы *угадали* направление реактивного момента  $M_A$ , возникающего в заделке.

## 2. Строим эпюру крутящих моментов.

Напомним, что *внутренний* крутящий момент  $M_z$ , возникающий в некотором поперечном сечении стержня, равен *алгебраической* сумме *внешних* скручивающих моментов, приложенных к любой из рассматриваемых частей стержня (то есть действующих левее или правее сделанного сечения). При этом внешний скручивающий момент, вращающий рассматриваемую часть стержня *против хода часовой стрелки (при взгляде на поперечное сечение)*, входит в эту алгебраическую сумму со знаком «плюс», а *по ходу* – со знаком «минус».

Соответственно, *положительный* внутренний крутящий момент, *противодействующий* внешним скручивающим моментам, направлен *по ходу часовой стрелки (при взгляде на поперечное сечение)*, а *отрицательный* – *против* ее хода.

Разбиваем длину стержня на четыре участка (рис. 3.8, а). Границами участков являются те сечения, в которых приложены внешние моменты.

Делаем по одному сечению в *произвольном* месте каждого из четырех участков стержня.

Начнем с сечения  $1 - 1$ . Мысленно отбросим (или закроем листком бумаги) левую часть стержня. Чтобы уравновесить скручивающий момент  $M_4 = 1,8 \text{ кН}\cdot\text{м}$ , в поперечном сечении стержня должен возникнуть равный ему и противоположно направленный крутящий момент  $M_{z_1}$ . С учетом упомянутого выше правила знаков

$$M_{z_1} = -M_4 = -1,8 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

По аналогии, для сечений  $2 - 2$  и  $3 - 3$  находим:

$$M_{z_2} = -M_4 - M_3 = -1,8 - 3,2 = -5,0 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{z_3} = -M_4 - M_3 + M_2 = -1,8 - 3,2 + 5,5 = +0,5 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Чтобы определить крутящий момент, в сечении 4 – 4 отбросим правую часть стержня. Тогда

$$M_{z_4} = +M_A = +2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Легко убедиться в том, что полученный результат не изменится, если мы отбросим теперь не правую, а левую часть стержня. Получим

$$M_{z_4} = -M_4 - M_3 + M_2 + M_1 = -1,8 - 3,2 + 5,5 + 1,5 = +2 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Для построения эпюры крутящих моментов  $M_z$  проводим *тонкой* линией ось, параллельную оси стержня  $z$  (рис. 3, б). Вычисленные значения крутящих моментов в выбранном масштабе и с учетом их знака откладываем от этой оси. В пределах каждого из участков стержня крутящий момент постоянен, поэтому мы как бы «заштриховываем» вертикальными линиями соответствующий участок. Напомним, что каждый отрезок «штриховки» (ордината эпюры) дает в принятом масштабе значение крутящего момента в соответствующем поперечном сечении стержня. Полученную эпюру обводим *жирной* линией.

Отметим, что в местах приложения внешних *скручивающих* моментов на эпюре  $M_z$  мы получили скачкообразное изменение *внутреннего* крутящего момента на величину соответствующего внешнего момента.

3. Определяем диаметр вала из условия прочности.

Условие прочности при кручении имеет вид

$$\tau_{\max} = \frac{M_{z_{\max}}}{W_\rho} \leq [\tau],$$

где  $W_\rho = \pi d^3 / 16 \approx 0,2 d^3$  – полярный момент сопротивления (момент сопротивления при кручении).

Наибольший по *абсолютному* значению крутящий момент возникает на втором участке вала:  $M_{z_{\max}} = |M_{z_2}| = 500 \text{ кН} \cdot \text{см}$ .

Тогда требуемый диаметр вала определяется по формуле

$$d^{\text{треб}} \geq \sqrt[3]{\frac{|M_{z_2}|}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{500}{0,2 \cdot 8}} = 6,79 \text{ см}.$$

Округляя полученное значение до стандартного, принимаем диаметр вала равным  $d = 70 \text{ мм}$ .

4. Определяем углы закручивания поперечных сечений А, В, С, D и E и строим эпюру углов закручивания.

Сначала вычисляем крутильную жесткость стержня  $GI_\rho$ , где  $G$  – модуль сдвига, а  $I_\rho = \pi d^4 / 32 \approx 0,1 d^4$  – полярный момент инерции. Получим

$$GI_\rho = 0,8 \cdot 10^4 \cdot 0,1 \cdot 7^4 = 192 \cdot 10^4 \text{ кН} \cdot \text{см}^2.$$

*Углы закручивания на отдельных участках стержня равны:*

$$\varphi_{AB} = \frac{M_{z_4} a}{GI_{\rho}} = \frac{200 \cdot 150}{192 \cdot 10^4} = 0,0156 \text{ рад};$$

$$\varphi_{BC} = \frac{M_{z_3} b}{GI_{\rho}} = \frac{50 \cdot 200}{192 \cdot 10^4} = 0,0052 \text{ рад};$$

$$\varphi_{CD} = \frac{M_{z_2} c}{GI_{\rho}} = \frac{-500 \cdot 100}{192 \cdot 10^4} = -0,0260 \text{ рад};$$

$$\varphi_{DE} = \frac{M_{z_1} d}{GI_{\rho}} = \frac{-180 \cdot 120}{192 \cdot 10^4} = -0,0113 \text{ рад}.$$

Угол закручивания в заделки равен нулю, то есть  $\varphi_A = 0$ . Тогда

$$\varphi_B = \varphi_A + \varphi_{AB} = 0 + 0,0156 = 0,0156 \text{ рад};$$

$$\varphi_C = \varphi_B + \varphi_{BC} = 0,0156 + 0,0052 = 0,0208 \text{ рад};$$

$$\varphi_D = \varphi_C + \varphi_{CD} = 0,0208 - 0,0260 = -0,0052 \text{ рад};$$

$$\varphi_E = \varphi_D + \varphi_{DE} = -0,0052 - 0,0113 = -0,0165 \text{ рад}.$$

Эпюра углов закручивания показана на рис. 2, в. Отметим, что в пределах длины каждого из участков вала угол закручивания изменяется по *линейному* закону.

## РГР №2

**Схема (а).** Для консольной балки, нагруженной распределенной нагрузкой интенсивностью  $q = 20 \text{ кН/м}$  и сосредоточенным моментом  $M = 50 \text{ кН}\cdot\text{м}$  (рис. 1), требуется: построить эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  и изгибающих моментов  $M_z$ , подобрать балку круглого поперечного сечения при допуске нормальном напряжении  $[\sigma] = 16 \text{ кН/см}^2$  и проверить прочность балки по касательным напряжениям при допуске касательном напряжении  $[\tau] = 8 \text{ кН/см}^2$ . Размеры балки  $a_1 = 1 \text{ м}$ ;  $a_2 = 2 \text{ м}$ ;  $l = 4 \text{ м}$ .

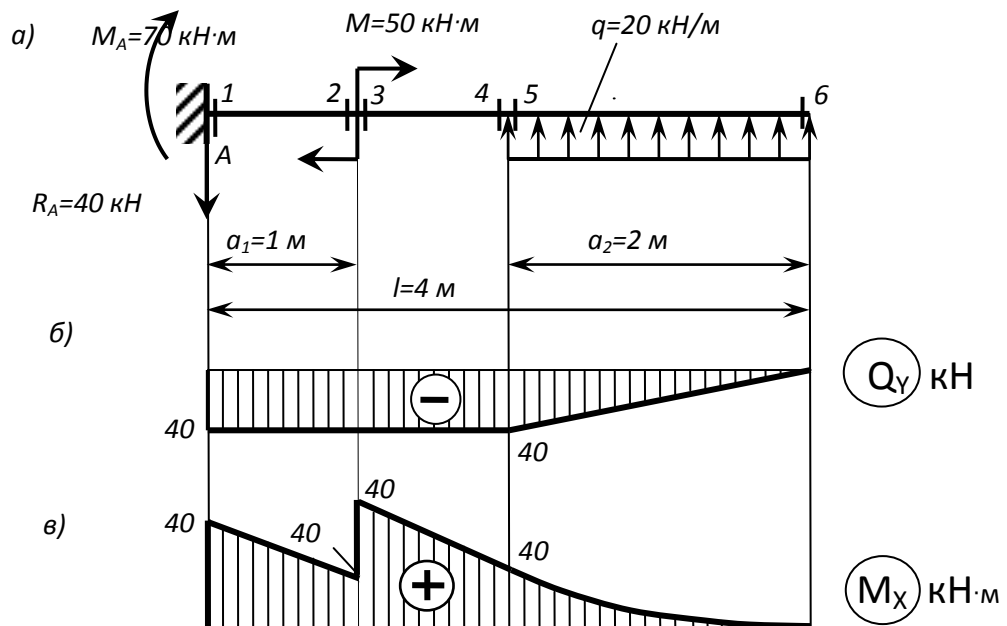


Рис. 1

**Решение.**

1. Определяем опорные реакции.

Горизонтальная реакция в заделке  $H_A$  равна нулю, поскольку внешние нагрузки в направлении оси  $z$  на балку не действуют.

*Выбираем* направления остальных реактивных усилий, возникающих в заделке: вертикальную реакцию  $R_A$  направим, например, вниз, а момент  $M_A$  – по ходу часовой стрелки. Их значения определяем из уравнений статики:

$$\sum M_A = 0; \quad \sum Y = 0.$$

Составляя эти уравнения, считаем момент *положительным* при вращении *против* хода часовой стрелки, а проекцию силы *положительной*, если ее направление совпадает с *положительным* направлением оси  $y$ .

Из первого уравнения находим момент в заделке  $M_A$  :

$$\sum M_A = -M_A - M + qa_2 \left( l - \frac{a_2}{2} \right) = 0;$$

$$M_A = -M + qa_2 \left( l - \frac{a_2}{2} \right) = -50 + 20 \cdot 2 \cdot \left( 4 - \frac{2}{2} \right) = 70 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Из второго уравнения – вертикальную реакцию  $R_A$  :

$$\sum Y = -R_A + qa_2 = 0; \quad R_A = qa_2 = 20 \cdot 2 = 40 \text{ кН}.$$

Полученные нами положительные значения для момента  $M_A$  и вертикальной реакции  $R_A$  в заделке свидетельствуют о том, что мы угадали их направления.

2. Строим эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  и изгибающих моментов  $M_x$ .

В соответствии с характером закрепления и нагружения балки, разбиваем ее длину на *два* участка. По границам каждого из этих участков наметим *четыре* поперечных сечения (см. рис. 1), в которых мы и будем методом сечений (РОЗУ) вычислять значения перерезывающих сил и изгибающих моментов.

Сечение 1. Отбросим мысленно *правую* часть балки. Заменяем ее действие на оставшуюся левую часть перерезывающей силой  $Q_{y1}$  и изгибающим моментом  $M_{x1}$ . Для удобства вычисления их значений закроем отброшенную нами правую часть балки листком бумаги, совмещая левый край листка с рассматриваемым сечением.

Напомним, что перерезывающая сила, возникающая в *любом* поперечном сечении, должна *уравновесить* все внешние силы (активные и реактивные), которые действуют на рассматриваемую (то есть *видимую*) нами часть балки. Поэтому *перерезывающая сила должна быть равна алгебраической сумме всех сил, которые мы видим.*

Приведем и *правило знаков* для перерезывающей силы: *внешняя сила, действующая на рассматриваемую часть балки и стремящаяся «повернуть» эту часть относительно сечения по ходу часовой стрелки, вызывает в сечении положительную перерезывающую силу. Такая внешняя сила входит в алгебраическую сумму для определения  $Q_y$  со знаком «плюс».*

В нашем случае мы видим только реакцию опоры  $R_A$ , которая вращает видимую нами часть балки относительно *первого* сечения (относительно края листка бумаги) *против хода* часовой стрелки. Поэтому

$$Q_{y1} = -R_A = -40 \text{ кН.}$$

Изгибающий момент в *любом* сечении должен *уравновесить* момент, создаваемый *видимыми* нами внешними усилиями, относительно рассматриваемого сечения. Следовательно, он равен *алгебраической* сумме моментов всех усилий, которые действуют на рассматриваемую нами часть балки, относительно рассматриваемого сечения (иными словами, относительно края листка бумаги). При этом внешняя нагрузка, *изгибающая рассматриваемую часть балки выпуклостью вниз*, вызывает в сечении *положительный* изгибающий момент. И момент, создаваемый такой нагрузкой, входит в алгебраическую сумму для определения  $M_x$  со знаком «плюс».

Мы видим два усилия: реакцию  $R_A$  и момент в заделке  $M_A$ . Однако у силы  $R_A$  плечо относительно сечения  $l$  равно нулю. Поэтому

$$M_{x_1} = +M_A = 70 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Знак «плюс» нами взят потому, что реактивный момент  $M_A$  изгибает видимую нами часть балки выпуклостью вниз.

Напомним, что при определении знака изгибающего момента мы мысленно освобождаем видимую нами часть балки от всех фактических опорных закреплений и представляем ее как бы защемленной в рассматриваемом сечении (то есть левый край листка бумаги нами мысленно представляется жесткой заделкой).

Сечение 2. По-прежнему будем закрывать листком бумаги всю правую часть балки. Теперь, в отличие от первого сечения, у силы  $R_A$  появилось плечо:  $a_1 = 1\text{ м}$ . Поэтому

$$Q_{y_2} = -R_A = -40 \text{ кН}; \quad M_{x_2} = +M_A - R_A a_1 = +70 - 40 \cdot 1 = 30 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Сечение 3. Закрывая правую часть балки, найдем

$$Q_{y_3} = -R_A = -40 \text{ кН};$$

$$M_{x_3} = +M_A - R_A a_1 + M = +70 - 40 \cdot 1 + 50 = 80 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Сечение 4. Закроем листком левую часть балки. Тогда

$$Q_{y_4} = -q a_2 = -20 \cdot 2 = -40 \text{ кН};$$

$$M_{x_4} = +q a_2 \frac{a_2}{2} = 20 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} = 40 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Сечение 5. По-прежнему закроем левую часть балки. Будем иметь

$$Q_{y_5} = -q a_2 = -20 \cdot 2 = -40 \text{ кН};$$

$$M_{x_5} = +q a_2 \frac{a_2}{2} = 20 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} = 40 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Сечение 6. Опять закроем левую часть балки. Получим

$$Q_{y_6} = M_{x_6} = 0.$$

По найденным значениям строим эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  (рис.2, б) и изгибающих моментов  $M_x$  (рис.1, в).

Под незагруженными участками эпюра перерезывающих сил идет параллельно оси балки, а под распределенной нагрузкой  $q$  – по наклонной прямой вверх. Под опорной реакцией  $R_A$  на эпюре  $Q_y$  имеется скачок вниз на величину этой реакции, то есть на 40 кН.

На эпюре изгибающих моментов мы видим излом под опорной реакцией  $R_A$ . Угол излома направлен навстречу реакции опоры. Под распределенной нагрузкой  $q$  эпюра изменяется по *квадратичной парабол*е, выпуклость которой направлена *навстречу* нагрузке. В сечении  $b$  на эпюре  $M_x$  –экстремум, поскольку эпюра перерезывающей силы в этом месте проходит здесь через нулевое значение.

3. Определяем требуемый диаметр поперечного сечения балки.

Условие прочности по нормальным напряжениям имеет вид:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} \leq [\sigma],$$

где  $W_x$  – момент сопротивления балки при изгибе. Для балки круглого поперечного сечения он равен:

$$W_x = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3 .$$

Наибольший по *абсолютному* значению изгибающий момент возникает в третьем сечении балки:  $M_{x\max} = |M_{x3}| = 8000$  кН·см.

Тогда требуемый диаметр балки определяется по формуле

$$d^{\text{треб}} \geq \sqrt[3]{\frac{|M_{x3}|}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{8000}{0,1 \cdot 16}} = 17,1 \text{ см.}$$

Принимаем  $d = 170$  мм. Тогда

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} = \frac{8000}{\frac{\pi \cdot 17^3}{32}} = 16,6 \text{ кН/см}^2 > [\sigma] = 16 \text{ кН/см}^2.$$

«Перенапряжение» составляет

$$\frac{16,6 - 16}{16} \cdot 100\% = 3,75\% < 5\% ,$$

что допускается.

4. Проверяем прочность балки по наибольшим касательным напряжениям.

Наибольшие касательные напряжения, возникающие в поперечном сечении балки круглого сечения, вычисляются по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{4Q_{y\max}}{3F} ,$$

где  $F = \pi d^2/4$  – площадь поперечного сечения.



Согласно эпюре  $Q_y$ , наибольшее по алгебраической величине значение перерезывающей силы равно  $Q_{y_{\max}} = |Q_{y_{1-5}}| = 40$  кН. Тогда

$$\tau_{\max} = \frac{4Q_{y_{\max}}}{3F} = \frac{4 \cdot 40}{3 \cdot \frac{\pi \cdot 17^2}{4}} = 0,235 \text{ кН/см}^2 < [\tau] = 8 \text{ кН/см}^2,$$

то есть условие прочности и по касательным напряжениям выполняется, причем, с большим запасом.

**Схема (б).** Для шарнирно опертой балки, нагруженной распределенной нагрузкой интенсивностью  $q = 20$  кН/м, сосредоточенной силой  $P = 50$  кН и сосредоточенным моментом  $M = 60$  кН·м, требуется построить эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  и изгибающих моментов  $M_z$  и подобрать балку двутаврового поперечного сечения при допускаемом нормальном напряжении  $[\sigma] = 16$  кН/см<sup>2</sup> и допускаемом касательном напряжении  $[\tau] = 8$  кН/см<sup>2</sup>. Пролет балки  $l = 6$  м.

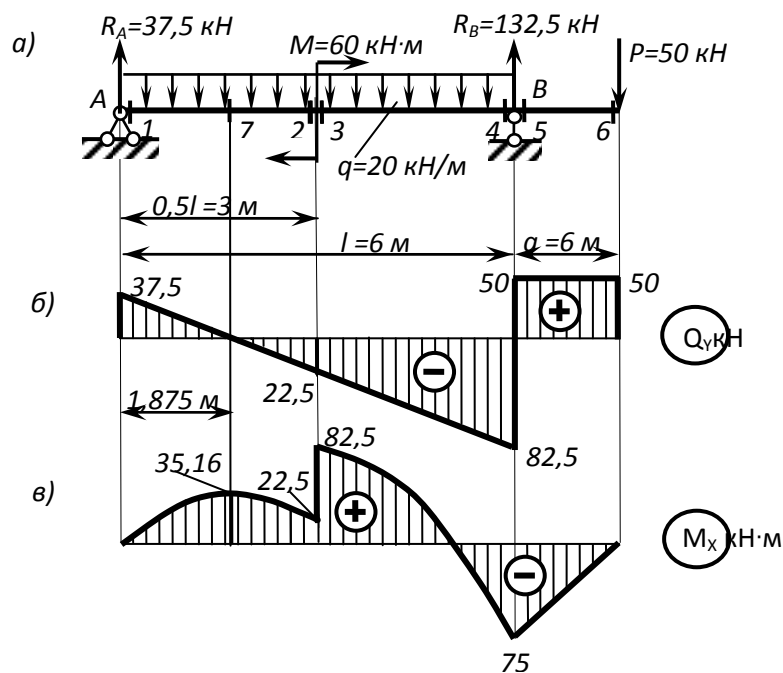


Рис. 2

### Решение.

1. Определяем опорные реакции.

Для заданной шарнирно опертой балки необходимо найти три опорные реакции:  $R_A$ ,  $H_A$  и  $R_B$ . Поскольку на балку действуют только вертикальные нагрузки, перпендикулярные к ее оси, горизонтальная реакция неподвижной шарнирной опоры А равна нулю:  $H_A = 0$ .

Направления вертикальных реакций  $R_A$  и  $R_B$  выбираем произвольно. Направим, например, обе вертикальные реакции вверх. Для вычисления их значений составим два уравнения статики:

$$\sum M_A = 0; \quad \sum M_B = 0.$$

Напомним, что *равнодействующая* погонной нагрузки  $q$ , равномерно распределенной на участке длиной  $l$ , равна  $ql$ , то есть равна площади эпюры этой нагрузки и приложена она в центре тяжести этой эпюры, то есть посередине длины.

Тогда

$$\sum M_A = +R_B l - ql \frac{l}{2} - P \left( l + \frac{l}{4} \right) - M = 0;$$

$$R_B = \frac{ql \frac{l}{2} + P \cdot \left( l + \frac{l}{4} \right) + M}{l} = \frac{20 \cdot 6 \cdot \frac{6}{2} + 50 \cdot \left( 6 + \frac{6}{4} \right) + 60}{6} = 132,5 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = -R_A l - M - P \frac{l}{4} + ql \frac{l}{2} = 0;$$

$$R_A = \frac{-M - P \frac{l}{4} + ql \frac{l}{2}}{l} = \frac{-60 - 50 \cdot \frac{6}{4} + 20 \cdot 6 \cdot \frac{6}{2}}{6} = 37,5 \text{ кН}.$$

Делаем проверку:  $\sum Y = 0$ .

Напомним, что силы, направление которых совпадает с положительным направлением оси  $y$ , проектируются (проецируются) на эту ось со знаком плюс:

$$\sum Y = R_A - P + R_B - ql = 0;$$

$$37,5 - 50 + 132,5 - 2 \cdot 60 = 0; \quad 0 = 0,$$

то есть верно.

2. Строим эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  и изгибающих моментов  $M_z$ .

Разбиваем длину балки на отдельные участки. Границами этих участков являются точки приложения сосредоточенных усилий (активных и/или реактивных), а также точки, соответствующие началу и окончанию действия распределенной нагрузки. Таких участков в нашей задаче получается три. По границам этих участков наметим шесть поперечных сечений, в которых мы и будем вычислять значения перерезывающих сил и изгибающих моментов (рис. 2, а).

Сечение 1. Отбросим мысленно правую часть балки. Для удобства вычисления перерезывающей силы  $Q_{y_1}$  и изгибающего момента  $M_{x_1}$ , возникающих в этом сечении, закроем отброшенную нами часть балки листком бумаги, совмещая левый край листка бумаги с самим сечением.

Перерезывающая сила в сечении балки равна алгебраической сумме всех внешних сил (активных и реактивных), которые мы видим. В данном случае мы видим реакцию опоры  $R_A$  и погонную нагрузку  $q$ , распределенную на *бесконечно малой* длине. Равнодействующая погонной нагрузки равна нулю. Поэтому

$$Q_{y_1} = +R_A = 37,5 \text{ кН.}$$

Знак «плюс» взят потому, что сила  $R_A$  вращает видимую нами часть балки относительно первого сечения (края листка бумаги) *по ходу* часовой стрелки.

Изгибающий момент в сечении балки равен алгебраической сумме моментов всех усилий, которые мы видим, относительно рассматриваемого сечения (то есть относительно края листка бумаги). Мы видим реакцию опоры  $R_A$  и погонную нагрузку  $q$ , распределенную на *бесконечно малой* длине. Однако у силы  $R_A$  плечо равно нулю. Равнодействующая погонной нагрузки также равна нулю. Поэтому

$$M_{x_1} = 0.$$

Сечение 2. По-прежнему будем закрывать листком бумаги всю правую часть балки. Теперь мы видим реакцию  $R_A$  и нагрузку  $q$ , действующую на участке длиной  $l/2$ . Равнодействующая погонной нагрузки равна  $ql/2$ . Она приложена посередине участка длиной  $l/2$ . Поэтому

$$Q_{y_2} = +R_A - q \frac{l}{2} = +37,5 - 20 \cdot \frac{6}{2} = -22,5 \text{ кН;}$$

$$M_{x_2} = +R_A \frac{l}{2} - q \frac{l}{2} \frac{l}{4} = +37,5 \cdot \frac{6}{2} - 20 \cdot \frac{6}{2} \cdot \frac{6}{4} = 22,5 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Напомним, что при определении знака изгибающего момента мы мысленно освобождаем видимую нами часть балки от всех фактических опорных закреплений и представляем ее как бы заземленной в рассматриваемом сечении (то есть левый край листка бумаги нами мысленно представляется *жесткой заделкой*).

Сечение 3. Закроем правую часть. Получим

$$Q_{y_3} = +R_A - q \frac{l}{2} = +37,5 - 20 \cdot \frac{6}{2} = -22,5 \text{ кН;}$$

$$M_{x_3} = +R_A \frac{l}{2} - q \frac{l}{2} \frac{l}{4} + M = +37,5 \cdot \frac{6}{2} - 20 \cdot \frac{6}{2} \cdot \frac{6}{4} + 60 = 82,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сечение 4. Закрываем листком правую часть балки. Тогда

$$Q_{y_4} = +R_A - ql = +37,5 - 2 \cdot 60 = -82,5 \text{ кН};$$

$$M_{x_4} = +R_A l - ql \frac{l}{2} + M = +37,5 \cdot 6 - 20 \cdot 6 \cdot \frac{6}{2} + 60 = -75 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Теперь, для контроля правильности вычислений, закроем листком бумаги левую часть балки. Мы видим сосредоточенную силу  $P$ , реакцию правой опоры  $R_B$  и погонную нагрузку  $q$ , распределенную на бесконечно малой длине. Равнодействующая погонной нагрузки равна нулю. Поэтому

$$Q_{y_4} = +P - R_B = +50 - 132,5 = -82,5 \text{ кН};$$

$$M_{x_4} = -P \frac{l}{4} = -50 \cdot \frac{6}{4} = -75 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

То есть все верно.

Сечение 5. По-прежнему закроем левую часть балки. Будем иметь

$$Q_{y_5} = +P = 5 \text{ кН};$$

$$M_{x_6} = -P \frac{l}{4} = -5 \cdot \frac{6}{4} = -7,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Сечение 6. Опять закроем левую часть балки. Получим

$$Q_{y_6} = +P = 50 \text{ кН};$$

$$M_{x_6} = 0.$$

По найденным значениям строим эпюры перерезывающих сил  $Q_y$  (рис. 3, б) и изгибающих моментов  $M_x$  (рис. 2, в).

Убеждаемся в том, что под незагруженным участком эпюра перерезывающих сил идет параллельно оси балки, а под распределенной нагрузкой  $q$  – по *прямой*, имеющей наклон вниз. На эпюре  $Q_y$  имеется три скачка: под реакцией  $R_A$  – вверх на 37,5 кН, под реакцией  $R_B$  – вверх на 132,5 кН и под силой  $P$  – вниз на 50 кН.

На эпюре изгибающих моментов мы видим изломы под сосредоточенной силой  $P$  и под опорными реакциями. Углы изломов направлены навстречу этим силам. Под распределенной нагрузкой интенсивностью  $q$  эпюра изменяется по *квадратичной* параболе, выпуклость которой направлена навстречу нагрузке. Под сосредоточенным моментом – скачок на 60 кН · м, то есть на величину самого момента. В сечении 7 на

эпюре  $M_x$  –экстремум, поскольку эпюра перерезывающей силы для этого сечения проходит через нулевое значение ( $Q_{y7} = 0$ ). Определим расстояние  $z_*$  от сечения 7 до левой опоры.

Перерезывающая сила

$$Q_{y7} = +R_A - qz_* = +37,5 - 20z_* = 0.$$

Отсюда

$$z_* = \frac{R_A}{q} = \frac{37,5}{20} = 1,875 \text{ м.}$$

Экстремальное значение изгибающего момента в сечении 7 равно:

$$M_{x7} = +R_A z_* - qz_* \frac{z_*}{2} = +37,5 \cdot 1,875 - 20 \cdot 1,875 \cdot \frac{1,875}{2} = 35,16 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

3. Определяем требуемый момент сопротивления балки из условия прочности по нормальным напряжениям.

Согласно эпюре  $M_x$ , максимальный по алгебраической величине изгибающий момент возникает в третьем поперечном сечении балки:  $M_{x_{\max}} = |M_{x3}| = 8250 \text{ кН} \cdot \text{см}$ . Тогда

$$W_x^{\text{треб}} \geq \frac{M_{x_{\max}}}{[\sigma]} = \frac{8250}{16} = 516 \text{ см}^3.$$

По сортаменту подбираем двутавр № 30а, имеющий  $W_x = 518 \text{ см}^3$ .

4. Проверяем прочность балки по наибольшим касательным напряжениям.

Наибольшие касательные напряжения, возникающие в поперечном сечении двутавровой балки, вычисляются по формуле

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{y_{\max}} S_x}{I_x d}.$$

По сортаменту для выбранного нами двутавра определяем, что статический момент *половины* сечения относительно нейтральной оси  $S_x = 292 \text{ см}^3$ , момент инерции относительно нейтральной оси  $I_x = 7780 \text{ см}^4$ , а толщина стенки  $d = 0,65 \text{ см}$ .

Согласно эпюре  $Q_y$ , наибольшее по алгебраической величине значение перерезывающей силы  $Q_{y_{\max}} = |Q_{y4}| = 82,5 \text{ кН}$ . Тогда

$$\tau_{\max} = \frac{|Q_y|_{\max} S_x}{I_x d} = \frac{82,5 \cdot 292}{7780 \cdot 0,65} = 4,76 \text{ кН/см}^2 < [\tau] = 8 \text{ кН/см}^2,$$

то есть условие прочности по касательным напряжениям выполняется.

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

Освоение дисциплины «Сопротивление материалов» основывается на активном использовании Microsoft Power Point, в процессе изучения теоретических разделов дисциплины и подготовки к практическим занятиям. ПО для расчетов MathCad

С целью повышения качества ведения образовательной деятельности в университете создана электронная информационно-образовательная среда. Она подразумевает организацию взаимодействия между обучающимися и преподавателями через систему личных кабинетов студентов, расположенных на официальном сайте университета в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» по адресу <https://student.knastu.ru>. Созданная информационно-образовательная среда позволяет осуществлять взаимодействие между участниками образовательного процесса посредством организации дистанционного консультирования по вопросам выполнения практических заданий. В учебном процессе по дисциплине активно

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

Для реализации программы дисциплины «Сопротивление материалов» используется материально-техническое обеспечение, перечисленное в таблице 7.

Таблица 7 – Материально-техническое обеспечение дисциплины

Аудитория	Наименование аудитории (лаборатории)	Используемое оборудование	Назначение оборудования
Учебный корпус № 2, Хабаровский край, город Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, 27,  Аудитория 133/2	Межфакультетская учебно-научная лаборатория разрушающих методов контроля (механических испытаний) на 12 рабочих мест.	Помещение оснащено:  специализированной (учебной) мебелью (столы, стулья, доска маркерная, доска меловая);  6ПЭВМ:  2 персональных компьютеров Intel(R) Core(TM) i3-4130 CPU @ 3.40GHz, 1 персональный	Проведение лабораторных и практических занятий

		<p>компьютер Intel(R) Core(TM) i3-2370M CPU @ 2.40GHz, 1 персональный компьютер Intel(R) Core(TM) i3-2120 CPU @ 3.30GHz; 1 персональный компьютер Intel(R) Pentium(R) 4 CPU 3.20GHz, 1 персональный компьютер AMD E1-1200 APU with Radeon(tm) HD Graphics;</p> <p>1 LED-телевизор DEXP 60" и ПЭВМ для демонстрации визуального материала;</p> <p>программный комплекс Zetlab; акселерометр BC 110;</p> <p>усилитель аналогового сигнала; весы; линейка; ударный молоток 8202; лабораторный акустико-эмиссионный комплекс на базе промышленной ЭВМ с усилителями и преобразователями; испытательный пресс ИП-100М-авто; испытательный пресс ИП-2500-М-авто; испытательная машина 3382 INSTRON;</p> <p>установка для проведения испытаний на</p>	
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

		<p>усталость МУИ-6000; маятниковый копер JB-W300;</p> <p>станок для нанесения U- или V-образного концентратора; криогенная камера JB-W300;</p> <p>комплекс твердомеров Роквелла и Бринелля</p>	
<p>Учебный корпус</p> <p>№ 1, Хабаровский край, город Комсомольск-на-Амуре, ул. Ленина, 27, литер А, помещение 17,</p> <p>аудитория 209/1</p>	<p>Компьютерный класс на 14 рабочих мест</p>	<p>Помещение оснащено:</p> <p>специализированной (учебной) мебелью (столы, стулья, доска аудиторная комбинированная);</p> <p>набором демонстрационного оборудования для представления информации: интерактивная доска TriumphBoard с мультимедиа-проектором BenQMX 518;</p> <p>МФУ HP LaserJet Professional M1212nf MFP;</p> <p>14 компьютеров Intel(R) Core (TM) i5-3330 CPU.</p> <p>Выход в интернет.</p>	<p>Проведение лекционных и практических занятий в виде презентаций</p>