

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)  
**НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ**  
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)**

---

---



ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «ЮГУ»

**НЕФТЯНОЙ  
ИНСТИТУТ**

**ОП.07 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

**21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО,  
НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ**  
специальность 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин

**Методические указания к выполнению практических занятий  
для обучающихся 2 курса очной формы обучения  
образовательных учреждений  
среднего профессионального образования**

**Часть 1**

**Нижневартовск, 2024**

**ББК 30.12**

**Т 38**

**РАССМОТРЕНО**

На заседании ПЦК «ЭТД»  
Протокол № 02 от 13.03.2024  
Председатель Давиденко И.В.

**УТВЕРЖДЕНО**

Председателем методического совета  
НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ»  
Хайбулина Р.И.  
«27» марта 2024

Методические указания к выполнению практических занятий для обучающихся 2 курса очной формы обучения образовательных учреждений среднего профессионального образования по ОП.07 Техническая механика специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин (21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО, НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ), часть 1, разработаны в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин, утвержденный приказом Минобрнауки России от 15.09.2022 № 836 (далее – ФГОС СПО).

2. Рабочей программой по дисциплине ОП.07 Техническая механика, утвержденной на методическом совете НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ» протокол № 5 от 09.06.2023.

Разработчик:

Кульмасова Гульнара Зифовна, преподаватель Нефтяного института (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

Рецензенты:

1. Таранина Л.Г., преподаватель высшей квалификационной категории Нефтяного института (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

2. Соколова О.Н., преподаватель БУ ПО «Нижневартовский политехнический колледж».

Замечания, предложения и пожелания направлять в Нефтяной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» по адресу: 628615, Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ, г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к выполнению практических занятий по учебной дисциплине ОП.07 Техническая механика программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ) разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин, в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика.

Одной из форм текущего контроля успеваемости обучающихся на практических занятиях являются практические задания.

Цель практического задания – приобретение умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Задачи практических заданий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний обучающихся при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- обучение приемам решения практических задач;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;

Основные задачи методических указаний: определение содержания, формы и порядка проведения практических занятий по учебной дисциплине ОП 07. Техническая механика, а также требований к результатам работы обучающихся.

### Критерии оценки практических занятий: Зачет/незачет

Оценка	Описание оценки
5	Отлично - «5» - содержание материала освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному. Зачет.
4	Хорошо - «4» - содержание материала освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками. Зачет
3	Удовлетворительно - «3» - содержание материала освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий, содержат ошибки. Зачет.

2	Условно неудовлетворительно - «2» - содержание материала освоено частично, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, либо качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному; при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий. Незачет.
---	---

## ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

№ темы	Номер и наименование занятия	Кол-во часов	Общие и профессиональные компетенции
<b>Раздел 1. Теоретическая механика</b>			
1.2.	Практическое занятие №1. Определение равнодействующей для плоской системы сходящихся сил.	4	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
	Практическое занятие № 2. Определение реакций связей плоской системы сходящихся сил.	4	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
1.3.	Практическое занятие №3. Определение реакций связей двухопорной балки.	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
	Практическое занятие №4. Определение усилий в балке с жестким защемлением.	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
	Практическое занятие №5. Определение реакций связей плоской рамы	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
1.5.	Практическое занятие №6. Определение центра тяжести сложных плоских фигур.	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
	Практическое занятие №7. Определение центра тяжести фигур, составленных из прокатного профиля	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
1.6	Практическое занятие №8. Определение скорости и ускорения точки по заданным уравнениям движения	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
<b>Раздел 2. Сопротивление материалов</b>			
2.2	Практическое занятие №9. Расчет многоступенчатого бруса на растяжение-сжатие	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
2.3	Практическое занятие №10. Расчет вала на прочность при кручении	2	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2
2.4	Практическое занятие №11. Определение геометрических характеристик плоских сечений	4	ОК01, ОК02, ОК04; ОК05; ОК06, ОК09; ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ДЛЯ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ

#### Цель занятия:

- научиться построению силовых многоугольников;
- научиться применять условия равновесия при решении задач статики;
- научиться определять равнодействующую аналитическим и геометрическим способами;

к освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин, и овладению:

**профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2.

**общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### Методическое руководство:

- определить равнодействующую способами, указанными в примере;
- сделать необходимые построения;
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

#### Оснащение:

**Оборудование, материалы:** транспорир, линейка, калькулятор.

#### Рекомендуемые информационные источники:

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

Рассмотрим пример определения равнодействующей силы для трех сил, расположенных в координатах x-x и y-y под определенными углами относительно оси x-x.

Дано:  $F_1 = 10\text{H}$ ;  $F_2 = 6\text{H}$ ;  $F_3 = 3\text{H}$ ;  $\alpha_x = 45^\circ$ ;  $\beta_x = 0^\circ$ ;  $\gamma_x = 90^\circ$ .

#### Графический метод:

Выбираем положение координатных осей: 1-я четверть (1-й квадрант).

Выбираем масштаб: в 1 см 2 Ньютона (М 1:2). Строим силовой многоугольник: в начале координат откладываем величину угла  $\alpha_x$ , и под этим углом проводим прямую. На этой прямой откладываем значение силы F, в масштабе. В окончании этого отрезка ставим стрелочку и обозначение  $F_1$ .

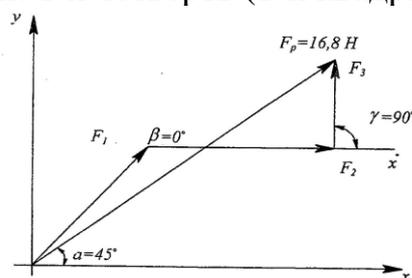


Рисунок 1.1 - Силовой многоугольник

Из 'острия стрелочки  $F_1$  проводим горизонтальную линию — это ось x-x. Относительно этой оси в точке острия стрелки вектора силы  $F_1$ ,

откладываем угол  $\beta_x$  и под этим углом проводим прямую линию, на которой в масштабе откладываем значение силы  $F_2$ .

Из острого угла стрелочки  $F$ , проводим горизонтальную линию — это ось  $x$ . Под этим углом проводим прямую, на которой откладываем в масштабе величину вектора силы  $F_3$  и так далее до построения последнего вектора по заданию. Начало координатных осей  $x$ - $x$  и  $y$ - $y$  соединяем прямой с окончанием последнего вектора — это и есть равнодействующая сила. Измерив этот вектор мерной линейкой, в соответствии с масштабом сил переводим миллиметры в ньютоны. Полученное число записываем возле  $F_p$ .

**Аналитический метод:**

1. Проекция сил на ось  $x$ - $x$ :

$$F_{x1} = F_1 \cdot \cos\alpha = 10 \cdot \cos 45^\circ = 10 \cdot 0,7 = 7H;$$

$$F_{x2} = F_2 \cdot \cos\beta = 6 \cdot 0^\circ = 6 \cdot 1 = 6H;$$

$$F_{x3} = F_3 \cdot \cos Y = 3 \cdot \cos 90^\circ = 0;$$

$$F_{x\Sigma} = \Sigma F_{xn} = F_{x1} + F_{x2} + F_{x3} = 7 + 6 + 0 = 13H.$$

1. Проекция сил на ось  $y$ - $y$ :

$$F_{y1} = F_1 \cdot \sin\alpha = 10 \cdot \sin 45^\circ = 10 \cdot 0,7 = 7H;$$

$$F_{y2} = F_2 \cdot \sin\beta = 6 \cdot \sin 0^\circ = 0;$$

$$F_{y3} = F_3 \cdot \sin Y = 3 \cdot \sin 90^\circ = 3H;$$

$$F_{y\Sigma} = \Sigma F_{yn} = F_{y1} + F_{y2} + F_{y3} = 7 + 0 + 3 = 10H.$$

3. Равнодействующая сила:

$$F_p = \sqrt{F_{\Sigma x}^2 + F_{\Sigma y}^2} = \sqrt{13^2 + 10^2} = 16,4H$$

Погрешность:  $F_{Гр} - F_{Ан} = 16,8H - 16,4H = 0,4H$ , что является допустимым.

Отложение углов производится против хода стрелок механических часов каждый раз от горизонтальной линии. Вектор равнодействующей силы можно изобразить другим цветом.

**Расчетно-графическая работа:**

**Ход работы**(задание):

- повторить лекционный материал Тема 1.2. Плоская система сходящихся сил;

- ознакомиться с примером расчета;

- выписать из таблицы 1.1. данные согласно своему варианту;

- произвести расчет равнодействующей аналитическим и графическим методом;

Таблица 1.1 - Исходные данные по вариантам

№/№	$F_1$ н	$\alpha$ гр	$F_2$ н	$\beta$ гр	$F_3$ н	$\gamma$ гр	$F_4$ н	$\delta$ гр	$F_5$ н	$\eta$ гр	$F_6$ н	$\theta$	$F_7$ н	$\lambda$	$F_8$ н	$\mu$	$F_9$ н	$\nu$	$F_{10}$ н	к
1	1	0	5	240	3	90	11	360	2	0	4	25	6	180	7	85	10	60	2	0
2	3	45	2	270	6	120	6	10	3	10	9	30	4	25	2	30	2	30	8	15
3	1	30	4	300	3	135	4	15	4	15	11	45	5	15	3	100	3	90	9	30
4	4	60	9	30	5	150	7	25	5	75	3	60	3	35	3	110	11	180	10	45
5	8	90	5	360	9	180	4	175	1	60	1	90	2	45	5	10	6	360	6	90
6	2	120	10	0	6	210	6	115	7	45	6	15	1	75	9	50	7	0	4	110

№/№	F <sub>1</sub> <sub>н</sub>	$\alpha$ , гр	F <sub>2</sub> <sub>н</sub>	$\beta$ , гр	F <sub>3</sub> <sub>н</sub>	$\gamma$ , гр	F <sub>4</sub> <sub>н</sub>	$\delta$ гр	F <sub>5</sub> <sub>н</sub>	$\eta$ , гр	F <sub>6</sub> <sub>н</sub>	$\theta$	F <sub>7</sub> <sub>н</sub>	$\lambda$	F <sub>8</sub> <sub>н</sub>	$\mu$	F <sub>9</sub> <sub>н</sub>	$\nu$	F <sub>10</sub> <sub>н</sub>	к
7	9	150	9	30	7	225	9	0	8	15	8	110	7	90	10	110	8	45	7	75
8	10	180	8	45	4	240	7	35	6	90	5	175	8	120	8	115	10	330	9	90
9	5	210	11	60	3	270	6	45	2	75	7	180	9	30	6	60	9	270	11	0
10	1	0	4	10	5	30	7	30	1	95	3	75	10	90	8	30	3	10	4	15

- оформить необходимое построение на формате А4 с соблюдением масштаба;

- сравнить значения равнодействующей, полученные графическим и аналитическим методами. Расхождение не должно превышать 5 единиц;

- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;

- подготовиться к защите практической работы.

#### **Контрольные вопросы:**

1. Аналитическое условие равновесия плоской системы сил.
2. Геометрическое условие равновесия плоской системы сил.
3. Свойства векторов равнодействующей силы и уравнивающей силы.
4. Проекция силы на координатные оси.
5. Аксиомы статики

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ**

#### **Цель занятия:**

- изучить виды опор и их реакции;
- изучить алгоритм решения задач на определение реакций опор;
- научиться применять уравнения статики при решении задач.

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3; ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### **Методическое руководство:**

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- выписать данные своего варианта;
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

#### **Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор.

### **рекомендуемые информационные источники:**

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

- методические указания по выполнению работы.

### **Краткие теоретические сведения:**

*Связями* называют ограничения, налагаемые на положения и скорости точек тела в пространстве. Сила, с которой тело действует на связь, называется *силой давления*; ответная сила называется *силой реакции* или просто *реакцией*.

Согласно аксиоме взаимодействия, эти силы по модулю равны и действуют по одной прямой в противоположные стороны. Силы реакций и давлений приложены к различным телам и поэтому не представляют собой систему сил.

Силы, действующие на тело, делятся на *активные* и *реактивные*. Активные силы стремятся перемещать тело, к которому они приложены, а реактивные препятствуют этому перемещению. Принципиальное отличие активных сил от реактивных заключается в том, что значение реактивных сил, вообще говоря, зависит от значения активных сил, но не наоборот. Активные силы часто называют *нагрузками*.

При решении большинства задач статики несвободное тело условно изображают как свободное с помощью *принципа освобожденности*: всякое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если отбросить связи, заменив их реакциями.

В результате применения этого принципа получаем тело, свободное от связей и находящееся под действием некоторой системы активных и реактивных сил.

Направление реакций определяется тем, в каком направлении данная связь препятствует перемещению тела. Правило для определения направления реакций: *направление реакции связи противоположно направлению перемещения, недопускаемого данной связью*.

**Пример.** Определить силы, нагружающие стержни АВ и АС кронштейна, удерживающего в равновесии груз  $F=6$  кН и растянутую пружину, сила упругости которой  $F_1=2$  кН. Весом частей конструкции, а также трением на блоке пренебречь.

**Решение:** Задачу решаем аналитическим методом. Рассматриваем равновесие точки схода А. К ней приложены заданные активные силы- сила тяжести троса АД, равная весу груза F, и сила упругости пружины F1. Так как и трос, и пружина растянуты, то эти силы направлены от точки А. Рассматриваем точку как свободную. Отбрасываем связи (стержни АВ и АС), заменяя их действие реакциями  $R_{ав}$  и  $R_{ас}$ . Реакции стержней направляем от точки А, так как предварительно полагаем стержни растянутыми (действительные направления реакции стержней в начале решения неизвестны). Если наше предположение окажется неверным, то

искомая реакция стержня получится в ответе со знаком «-»; это говорит о том, что стержень сжат и истинное направление реакции - к точке А.

Принимаем обычное вертикально-горизонтальное направление координатных осей. Для полученной плоской системы сходящихся сил составляем два уравнения равновесия:

$$1) \Sigma F_x = 0; F + R_{AC} \cdot \cos 45^\circ - R_{AB} \cdot \cos 60^\circ = 0;$$

$$6 + R_{AC} \cdot 0,707 - R_{AB} \cdot 0,5 = 0;$$

$$2) \Sigma F_y = 0; R_{AC} \cdot \cos 45^\circ + R_{AB} \cdot \cos 30^\circ - F_1 = 0;$$

$$R_{AC} \cdot 0,707 + R_{AB} \cdot 0,866 - 2 = 0.$$

Решая полученную систему уравнений, находим

$$- R_{AB} = 5,86 \text{ кН и } R_{AC} = -4,34 \text{ кН.}$$

Искомые силы, нагружающие стержни, по модулю равны. В соответствии с изложенным правилом стержень АВ оказался растянутым, а стержень АС - сжатым. Каждое из полученных уравнений равновесия содержало оба неизвестных, чего можно было избежать, направив координатные оси по-другому, совместив одну из осей с неизвестной силой. При этом в уравнении равновесия для другой оси окажется лишь одно неизвестное:

$$1) \Sigma F_x = 0; R_{AC} + F \cdot \cos 45^\circ + R_{AB} \cdot \cos 75^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$R_{AC} + 6 \cdot 0,707 + R_{AB} \cdot 0,259 - 2 \cdot 0,707 = 0$$

$$2) \Sigma F_y = 0; R_{AB} \cdot \cos 15^\circ - F \cdot \cos 45^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = 0;$$

$$R_{AB} = 0,966 - 6 \cdot 0,707 - 2 \cdot 0,707 = 0; \rightarrow R_{AB} = 5,86 \text{ кН; } R_{AC} = -4,34 \text{ кН}$$

Для проверки правильности решения составляем проверочное уравнение равновесия - уравнение проекций сил на любую ось, кроме уже использованных в решении. Продолжая, к примеру первый вариант решения, возьмем в качестве такой оси направление  $R_{AC}$  (можно было и  $R_{AB}$ ) и обозначим эту ось  $X_1$ . Тогда получим:

$$3) \Sigma F_{x_1} = R_{AC} + F \cdot \cos 45^\circ + R_{AB} \cdot \cos 75^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = - (4,34) + 6 \cdot 0,707 + 5,86 \cdot 0,259 - 2 \cdot 0,707 = 5,76 - 5,75 \approx 0.$$

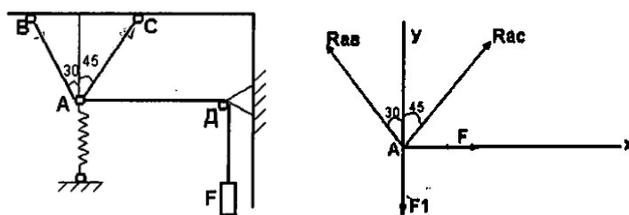


Рисунок 2.1 - а - схема нагружения;

б - схема нагружения с координатными осями

### Расчетно-графическая работа:

#### Ход работы(задание):

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- определить силы (реакции), нагружающие стержни кронштейна, удерживающего в равновесии груз  $F_1$  и растянутую пружину, сила упругости которой  $F_2$ . Весом частей конструкции, а также трением на блоке пренебречь. Данные взять из таблиц 2.1

Таблица 2.1 -Исходные данные по вариантам

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F <sub>1</sub> , кВт	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
F <sub>2</sub> , кВт	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Рисунок	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>ж</i>	<i>з</i>	<i>и</i>	<i>к</i>

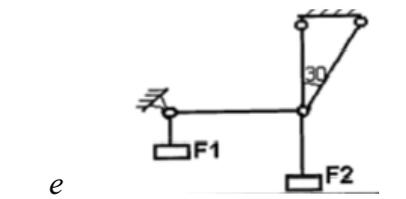
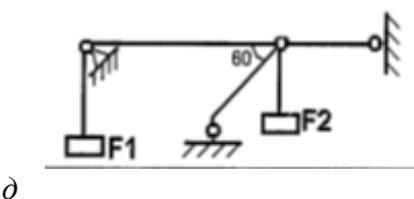
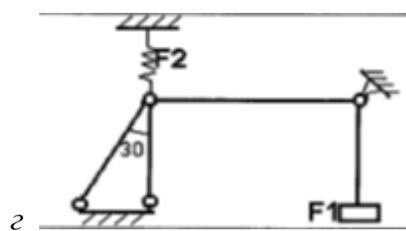
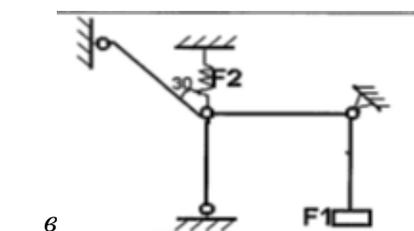
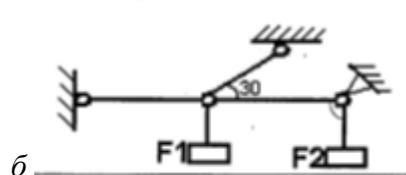
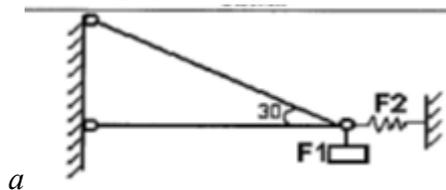
- отбросить связи, заменяя их действием реакциями связей;
- рассмотреть равновесие точки схода активных сил и сил реакций связи;
- выбрать направление координатных осей;
- для полученной системы составить два уравнения равновесия;
- составить проверочное уравнение равновесия (уравнение проекций всех сил на любую из координатных осей, кроме уже использованных ранее);
- при выполнении работы пользоваться чертежными инструментами;
- оформить выполненное задание виде отчета;
- сделать выводы;
- подготовиться к защите практической работы.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита - (устная):**

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил.
2. Каково геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил (ПССС)?
3. Что такое уравнение равновесия?
4. Что такое силовой многоугольник?
5. Как формулируется правило знаков для проекции силы на ось?
6. Как формулируются аналитические условия равновесия ПССС?



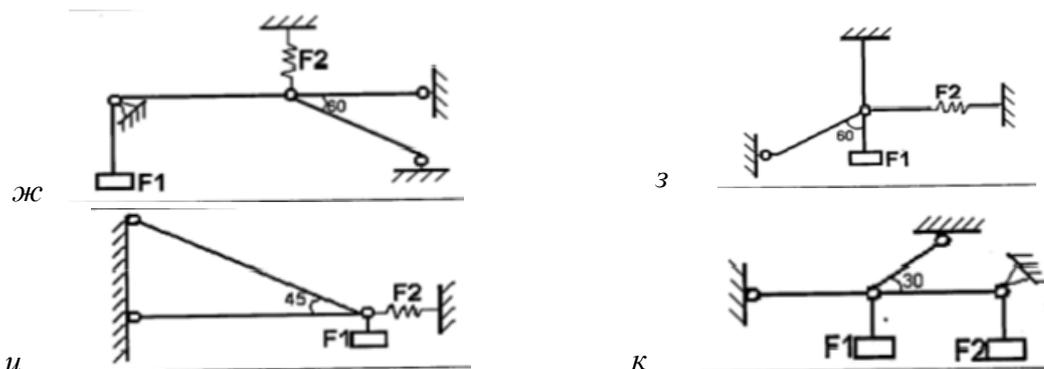


Рисунок 2.2 - Исходные схемы

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ДВУХОПОРНОЙ БАЛКИ

#### Цель занятия:

- изучить виды опор балочных систем и возникающие в них реакции;
- изучить формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил;

#### формировать умения:

- использовать формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил для определения реакций для балки с шарнирными опорами;
- выполнять проверку правильности решения.

к освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин) и овладению:

**профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### Методическое руководство:

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- определить величины реакций в шарнирах двух опорной балки.
- проверить правильность решения.
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

#### Оснащение:

**Оборудование, материалы:** измерительный инструмент, калькулятор.

#### рекомендуемые информационные источники:

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

- методические указания по выполнению работы.

### Краткие теоретические сведения:

Рассматривается балка на двух шарнирных опорах. Шарнир допускает поворот вокруг точки закрепления  
Стержень, закрепленный на подвижном шарнире, может поворачиваться вокруг точки закрепления и перемещаться вдоль направляющей (рис. 3.1).

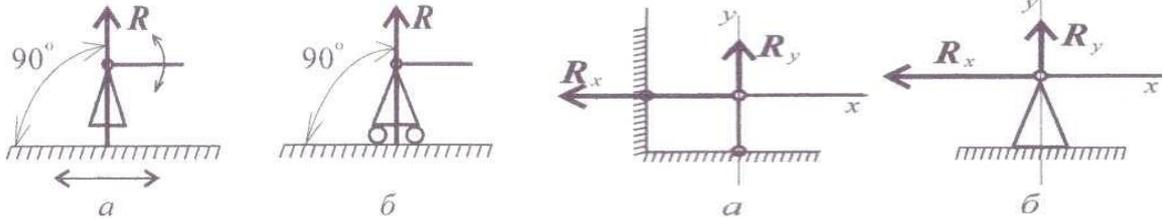


Рисунок 3.1 - Подвижные шарниры Рисунок 3.2 - Неподвижные шарниры

Реакция подвижного шарнира направлена перпендикулярно опорной поверхности.

На другой опоре используется неподвижный шарнир. Здесь точка крепления перемещаться не может (рис. 3.2). Реакция такого шарнира проходит через центр крепления, но неизвестна по направлению. Представляем реакцию в виде двух проекций силы на оси X и Y.

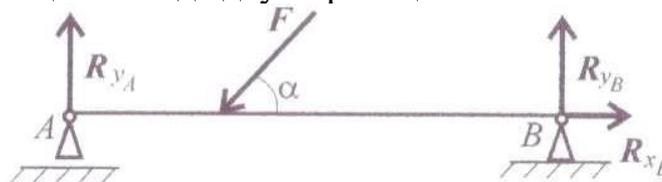


Рисунок 3.3 - Реакции двух опорной балки в виде двух проекций силы на оси X и Y

Основные формулы и предпосылки расчета:

Для определения трех неизвестных реакций в опорах необходимо использовать три уравнения равновесия.

Четвертое уравнение используют для проверки правильности решения.

Главный момент:

$$M_{\text{гЛО}} = \sum m_{\text{кО}} \quad (3.1)$$

Условие равновесия:

$$\sum F_{\text{kx}} = 0 \quad \sum F_{\text{ky}} = 0 \quad \sum m_{\text{kA}} = 0 \quad (3.2)$$

Проверка:  $\sum m_{\text{kB}} = 0$  ;  $\sum F_{\text{kx}} = 0$  ;  $\sum m_{\text{kA}} = 0$  ;  $\sum m_{\text{kB}} = 0$

Проверка:  $\sum F_{\text{ky}} = 0$

Используем уравнения равновесия пункта 2.

**Пример:** Двух опорная балка с шарнирными опорами нагружена сосредоточенной силой  $F$ , распределенной нагрузкой с интенсивностью  $q$  и парой сил с моментом  $m$ .

Определить реакции в опорах и А и В.

**Решение:** Левая опора (точка А) – подвижной шарнир, здесь реакция

направлена перпендикулярно опорной поверхности.

Правая опора (точка В) – неподвижный шарнир, здесь наносим две составляющие реакции вдоль осей координат. Ось Ох совмещаем с продольной осью балки.

Поскольку на схеме возникнут две неизвестные вертикальные реакции, использовать первую форму уравнений равновесия нецелесообразно.

Заменяем распределенную нагрузку сосредоточенной:

$$G = q \cdot l$$

$$G = 2 \cdot 6 = 12 \text{ кН}$$

Помещаем суммарную силу в середине пролета

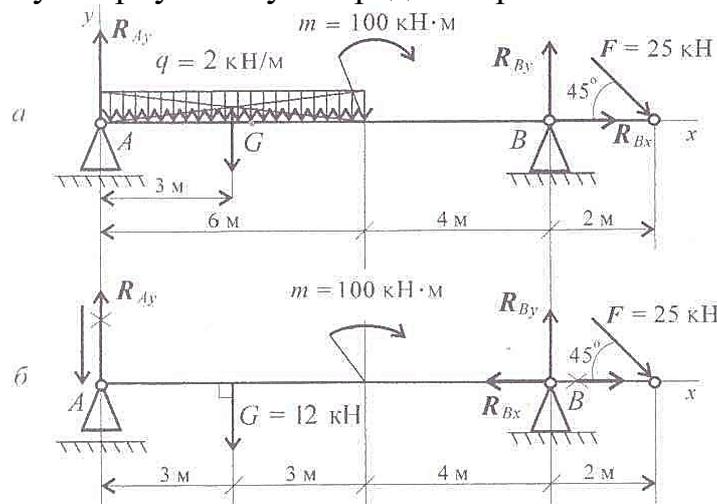


Рисунок 3.4 - Двух опорная балка с шарнирными опорами

Наносим возможные реакции в опорах (направление произвольное). Для решения выбираем уравнение равновесия в виде.

$$\sum m_{kA} = 0$$

$$\sum m_{kB} = 0$$

$$\sum F_{kx} = 0$$

Проверка  $\sum F_{ky} = 0$

Составляем уравнения моментов относительно точек крепления:

$$\sum m_{kA} = G \cdot 3 + m - R_{By} \cdot 10 + F \cdot 12 \cdot \sin 45^\circ = 0 \quad R_{By} \cdot 10 = G \cdot 3 + m + F \cdot 12 \cdot \sin 45^\circ$$

$$R_{By} \cdot 10 = 12 \cdot 3 + 100 + 25 \cdot 12 \cdot 0,7 \quad R_{By} = 346/10 \quad 34,6 \text{ кН}$$

Реакция направлена, верно.

$$\sum m_{kB} = R_{Ay} \cdot 10 - G \cdot 7 + m + F \cdot 2 \cdot \sin 45^\circ = 0 \quad R_{Ay} \cdot 10 = G \cdot 7 - m - F \cdot 2 \cdot \sin 45^\circ$$

$$R_{Ay} \cdot 10 = 12 \cdot 7 - 100 - 50 \cdot 2 \cdot 0,7 \quad R_{Ay} = -51/10 = -5,1 \text{ кН}$$

Реакция отрицательная, следовательно,  $R_{Ay}$  нужно направить в противоположную сторону.

Используя уравнение проекций, получим:

$$\sum F_{kx} = R_{Bx} + F \cdot \cos 45^\circ = 0 \quad R_{Bx} = -F \cdot \cos 45^\circ$$

$$R_{Bx} = -17,5 \text{ кН}$$

где  $R_{Bx}$  - горизонтальная реакция в опоре В.

Реакция отрицательная, следовательно, на схеме ее направление будет противоположно выбранному.

**Проверка правильности решения.** Для этого используем четвертое уравнение равновесия  $\sum F_{ky} = 0$

$$-R_{Ay} - G + R_{By} - F \cdot \cos 45^\circ = 0$$

Подставим полученное значение реакций. Если условие выполнено, решение верно:

$$-5,1 - 12 + 34,6 - 25 \cdot 0,7 = 0$$

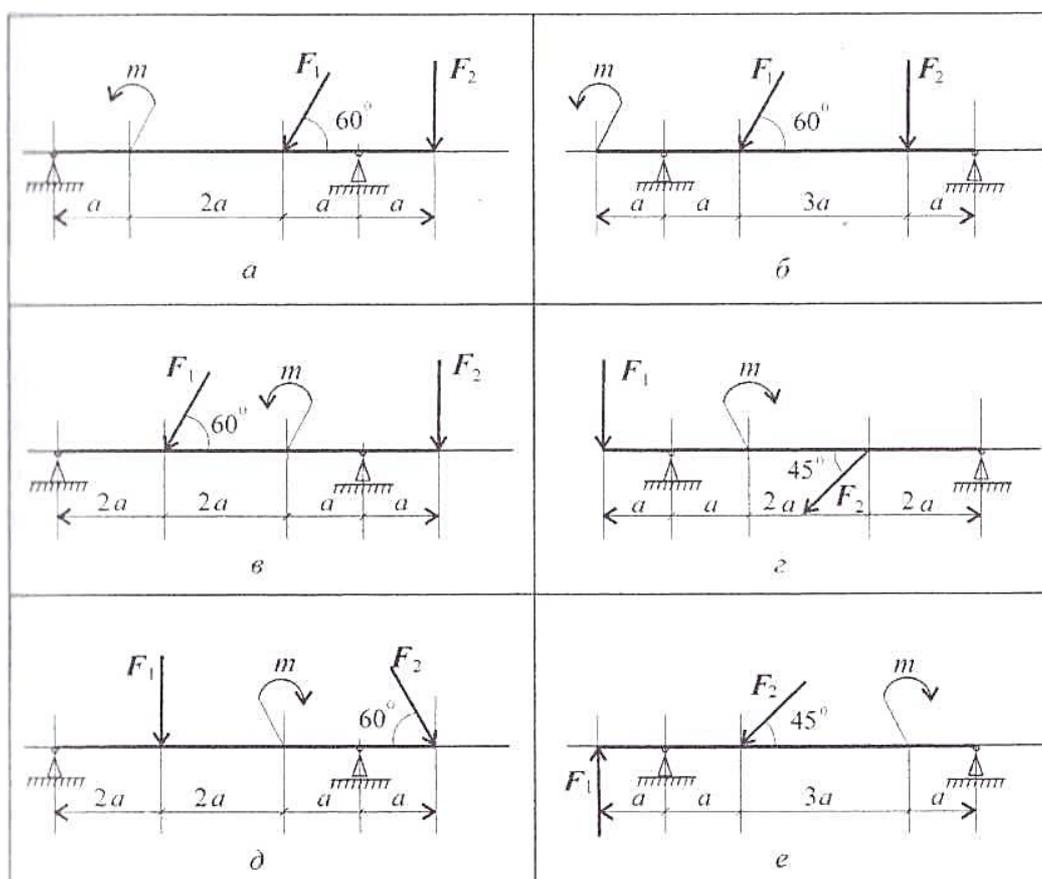


Рисунок 3.5 - Двух опорная балка с шарнирными опорами по вариантам

**Расчетно-графическая работа: Ход работы (задание):**

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- ознакомиться с исходными данными, таблица 3.1, рис. 3.5;
- определить величины реакций для балки с шарнирными опорами;
- провести проверку правильности решения;
- записать систему уравнений, использованную при расчете;
- оформить выполненное задание в виде отчета;

- сделать выводы;
- подготовиться к защите практической работы.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита** - (устная)

**Контрольные вопросы:**

1. Какие опоры балок вы знаете?
2. Какие виды нагрузок вы знаете?
3. Что называется нагрузками?
4. Какие реакции возникают в шарнирно-подвижной опоре?
5. Какие реакции возникают в шарнирно-неподвижной опоре?
6. Какие реакции возникают в жесткой заделке?

Таблица 3.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1$ , кН	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$F_2$ , кН	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5
$m$ , кН·м	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
$a$ , м	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
рисунок	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>	<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В БАЛКЕ С ЖЕСТКИМ ЗАЩЕМЛЕНИЕМ

**Цель занятия:**

- законы механического движения и равновесия;
- параметры напряженно-деформированного состояния элементов конструкций при различных видах нагружения;

формировать умения:

- определять силовые факторы, действующие на элементы конструкций к освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин

**и овладению:**

**профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

**Методическое руководство:**

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- определить величины реакций в заделке одноопорной балки по варианту, рис 4.1.;
- проверить правильность решения.
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;

– подготовиться к защите практической работы.

**Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** измерительный инструмент, калькулятор.  
**рекомендуемые информационные источники:**

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

– методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения.**

Крепление балки – защемление или «заделка» (рис. 4.1).

Любые перемещения точки крепления невозможны. Под действием внешних сил в опоре возникает реактивная сила и реактивный момент. Реактивную силу принято представлять в виде проекций на оси X и Y.

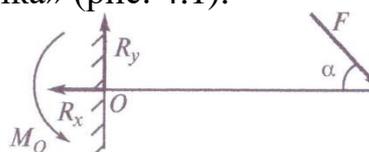


Рисунок 4.1 - Крепление балки – защемление или «заделка»

Для определения неизвестных сил и момента принято использовать систему уравнений равновесия. Для контроля правильности решения используют дополнительное уравнение равновесия.

Основные формулы и предпосылки расчета. Условия равновесия системы сил:

$$F_{гл} = \sqrt{(F_{глx}^2 + F_{глы}^2)} = 0 \rightarrow \text{системы сил } \sum F_{kx} = 0 \text{ и } \sum F_{ky} = 0 \quad (4.1)$$

где  $F_{гл}$  - главный (суммарный) вектор системы сил;

$M_{гло}$  - суммарный момент системы сил относительно точки O.

$$M_{гло} = \sum m_O (F_k) = 0 \rightarrow \text{системы } \sum m_A (F_k) = 0 \text{ и } \sum m_B (F_k) = 0 \quad (4.2)$$

где A и B - разные точки приведения/

**Пример:**

Одноопорная (защемленная) балка нагружена сосредоточенными силами и моментом пары сил. Определить реакции заделки

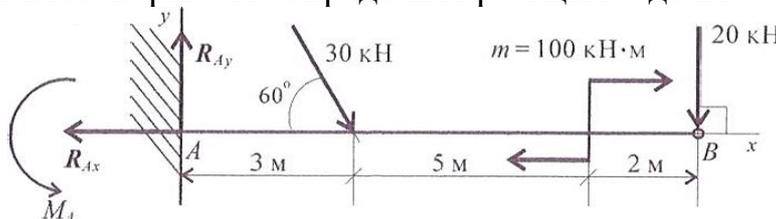


Рисунок 4.2 - Одноопорная (защемленная) балка нагружена сосредоточенными силами и моментом пары сил

**Решение:** В заделке может возникнуть реакция, представляемая двумя составляющими ( $R_{Ay}; R_{Ax}$ ), и реактивный момент  $M_A$ . Наносим на схему балки возможные направления реакций. В силу малой высоты считают, что

все точки балки находятся на одной прямой; все три неизвестные реакции приложены в одной точке. Для решения удобно использовать систему уравнений равновесия в первой форме. Каждое уравнение будет содержать одну неизвестную. Используем систему уравнений:

$$\sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0; \sum m_{kA} = 0$$

$$\sum F_{kx} = -R_{Ax} + 30 \cdot \cos 60^\circ + 20 \cdot \cos 90^\circ = 0$$

$$R_{Ax} = 30 \cdot \cos 60^\circ + 20 \cdot \cos 90^\circ = 15 \text{ кН}$$

$$\sum F_{ky} = R_{Ay} - 30 \cdot \cos 30^\circ - 20 \cdot \cos 0^\circ = 0$$

$$R_{Ay} = 30 \cdot \cos 30^\circ - 20 \cdot \cos 0^\circ = 30 \cdot 0,866 + 20 \cdot 1 = 45,98 \text{ кН}$$

$$\sum m_{kA} = -M_A + 30 \cdot 3 \cdot \sin 30^\circ + 100 + 20 \cdot 10 = 0$$

$$M_A = 377,94 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Знаки полученных реакций (+), следовательно, направления реакций верно.

Для проверки правильности решения составляем уравнение моментов относительно точки В.

$$\sum m_{kB} = -M_A + R_{Ay} \cdot 10 - 30 \cdot 7 \cdot \sin 60^\circ + 100 = 0$$

Подставляем значения полученных реакций:

$$-377,94 + 45,98 \cdot 10 - 210 \cdot 0,866 + 100 = 0$$

$$-559,8 + 559,8 = 0$$

- Решение выполнено верно.

**Примечание:** Если направления выбраны неверно, при расчетах получим отрицательные значения реакций. В этом случае реакции на схеме следует направить в противоположную сторону, не повторяя расчета.

### Расчетно-графическая работа:

**Ход работы** (задание):

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- ознакомиться с исходными данными, таблица 4.1, рис. 4.3;
- определить реакции в опорах балочных систем под действием сосредоточенных сил и пар сил;
- определить величины реакций в опоре заземленной балки;
- провести проверку правильности решения;
- оформить выполненное задание в виде отчета, сделать выводы;
- подготовиться к защите практической работы. **Результат**

**деятельности:** Выводы. Отчет. **Защита** - (устная):

Таблица 4.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F <sub>1</sub> , кН	10	12	13	16	18	20	22	24	26	28
F <sub>2</sub> , кН	4,4	4,8	7,8	8,4	12	12,8	17	18	22,8	24
m, кН·м	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
a, м	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6
Рисунок	a	б	в	г	д	е	е	д	г	в

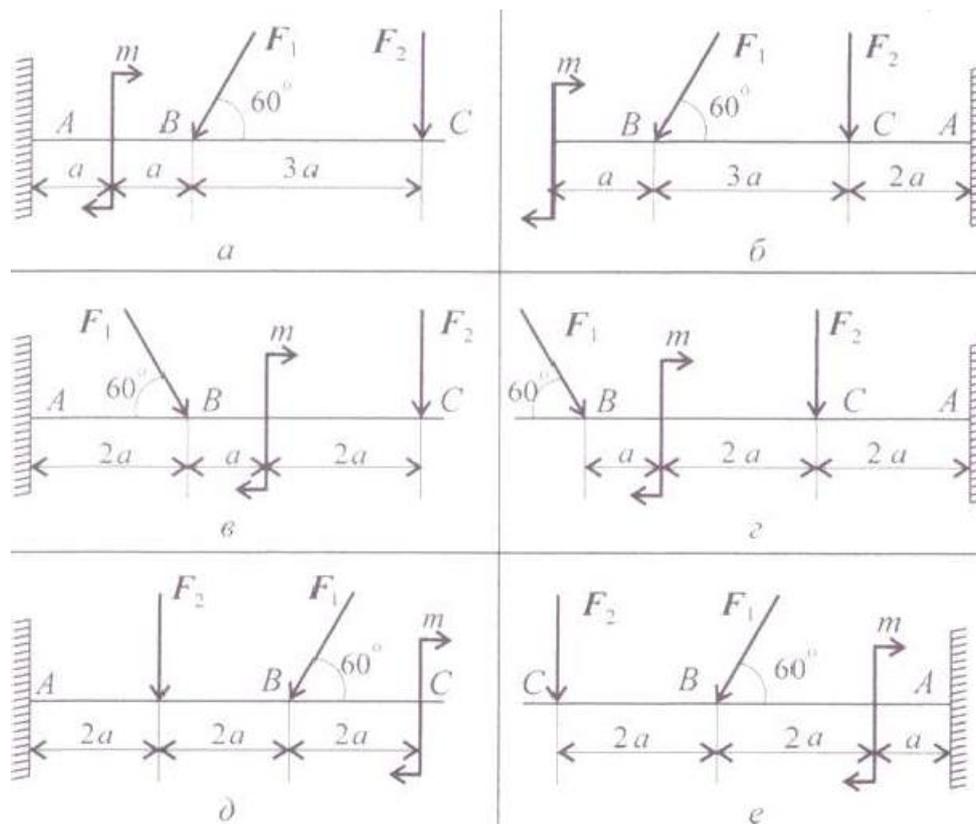


Рисунок 4.3 - Исходные схемы

### Контрольные вопросы:

1. Чему равен момент пары сил?
2. Как определяется плечо пары сил?
3. На сколько реакций можно разложить жесткую заделку?
4. Как определяется знак момента пары сил?
5. Сформулируйте понятие «жесткая заделка».

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ПЛОСКОЙ РАМЫ

#### Цель занятия:

- определение неизвестных опорных реакций твердого тела;
- составление уравнений равновесия системы заданных сил и реакций связей;

#### формировать умения:

- определять силовые факторы, действующие на элементы конструкций к освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

**Методическое руководство:**

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- изобразить схему конструкции с заданными внешними силами и опорами;
- построить силовую схему, для чего заменить равномерно распределенную нагрузку равнодействующей силой при необходимости разложить наклонные силы на горизонтальные и вертикальные составляющие, сохраняя неизменной точку их приложения;
- согласно принципу освобождаемой от связей вместо отброшенных опор изобразить замещающие их реакции (силы).
- проверить правильность решения.
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

**Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** измерительный инструмент, калькулятор.

**рекомендуемые информационные источники:**

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

- методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения:**

Для плоской системы сил составляют три уравнения равновесия:

$$\sum X_i = 0; \sum Y_i = 0; \sum M_{A_i} = 0 \quad (5.1)$$

В рассматриваемых конструкциях количество неизвестных реакций связей равно числу уравнений равновесия (статически определимая задача). Поэтому, решая совместно три уравнения равновесия (5.1) (с тремя неизвестными), находят все три искомые реакции связей.

Для контроля правильности составления трех уравнений равновесия и выполнения вычислений дополнительно записывается уравнение моментов всех сил относительно нового центра моментов

$$\sum M_{B_i} = 0 \quad (5.2)$$

**Пример:** Для заданной схемы конструкции (рис.5.1) определить реакции опоры А.

$P = 5$  кН;  $M = 8$  кНм;  $q = 3$  кН/м  $\beta = 30^\circ$ ; размеры – в метрах.

**Решение:** Рассмотрим систему уравновешивающихся сил, приложенных к конструкции. Отбросим связи – жесткую заделку. Действие связи на раму заменим ее реакциями:  $X_A$ ,  $Y_A$ ,  $M_A$ .

Равномерно распределенную нагрузку интенсивностью  $q$  заменим сосредоточенной силой  $Q$ , приложенной в центре тяжести эпюры этой нагрузки ( $Q = q \cdot 2 = 3 \cdot 2 = 6 \text{ кН}$ ).

Разложим  $P$  на две составляющие силы:

$$P' = P \cos \beta = 5 \cdot \cos 30^\circ = 4,33 \text{ кН};$$

$$P'' = P \sin \beta = 5 \cdot \sin 30^\circ = 2,5 \text{ кН};$$

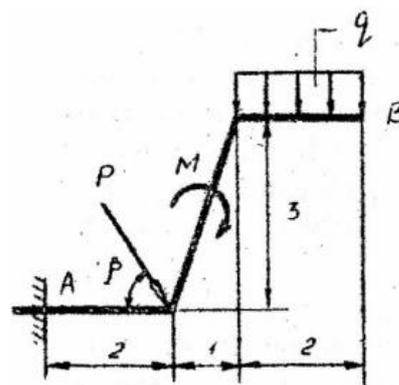


Рисунок 5.1 - Схема конструкции

Составим силовую схему (рис. 5.2). Для плоской системы сил, приложенных к раме, составляем три уравнения равновесия:

$$\sum X_i = 0 \quad X_A + P' = 0;$$

$$\sum Y_i = 0 \quad Y_A - P'' - Q = 0;$$

$$\sum M_{A_i} = 0 \quad M_A - P'' \cdot 2 - M - Q \cdot 4 = 0.$$

Определяем реакцию

$$X_A - P' = -4,33 \text{ кН}.$$

Знак минус в значении  $X_A$  указывает на то, что принятое направление для этой реакции не совпадает с её действительным направлением.

Определяем реакцию

$$Y_A = P'' + Q = 2,5 + 5 = 7,5 \text{ кН}.$$

Определяем реактивный момент

заделки:

$$M_A = P'' \cdot 2 + M + Q \cdot 4 = 2,5 \cdot 2 + 8 + 5 \cdot 4 = 33 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

*Проверка.* Для проверки правильности решения системы уравнения составляем уравнение моментов относительно точки В

$$\sum M_{B_i} = M_A - Y_A \cdot 5 + X_A \cdot 3 + P' \cdot 3 + P'' \cdot 3 - M + Q \cdot 1 =$$

$$= 33 - 7,5 \cdot 5 + (-4,33) \cdot 3 + 4,33 \cdot 3 + 2,5 \cdot 3 - 8 + 5 \cdot 1 = 0.$$

$$0 \equiv 0.$$

Выполнение тождества подтверждает правильность решения.

**Ход работы (задание):**

1. Выписать исходные данные и вычертить конструктивную схему с задаваемыми (активными) силами;

2. Начертить силовую схему с активными реакциями и отброшенными связями;

3. Составить три уравнения равновесия, решить.

4. Провести проверку решения, составив уравнение моментов сил.

5. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита - (устная):**

**Контрольные вопросы:**

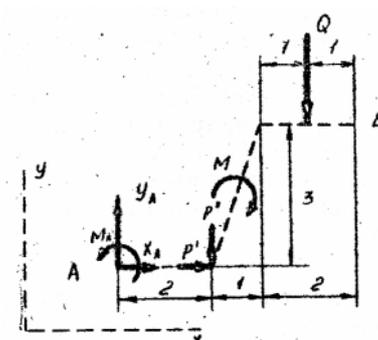


Рисунок 5.2 - Силовая схема

1. Как определяется момент силы относительно точки?
2. Что называется балкой?
3. Статически определимая задача и статически неопределимая задача  
дать определения.
4. Какие уравнения необходимо составить для нахождения реакций  
связей.

Таблица 5.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_1, Н$	12	14	10	10	20	15	10	16	10	6
$P_2, Н$	10	7	20	8	12	7	8	15	22	24
$M, Н\cdot м$	20	6	12	11	10	9	8	7	6	5
$q, Н/м$	-	-	4	5	6	-	-	-	-	-
$q_{max}, Н/м$	3	5	-	-	-	6	4	6	8	-
Рисунок	1	2	3	4	5	6	1	2	2	6

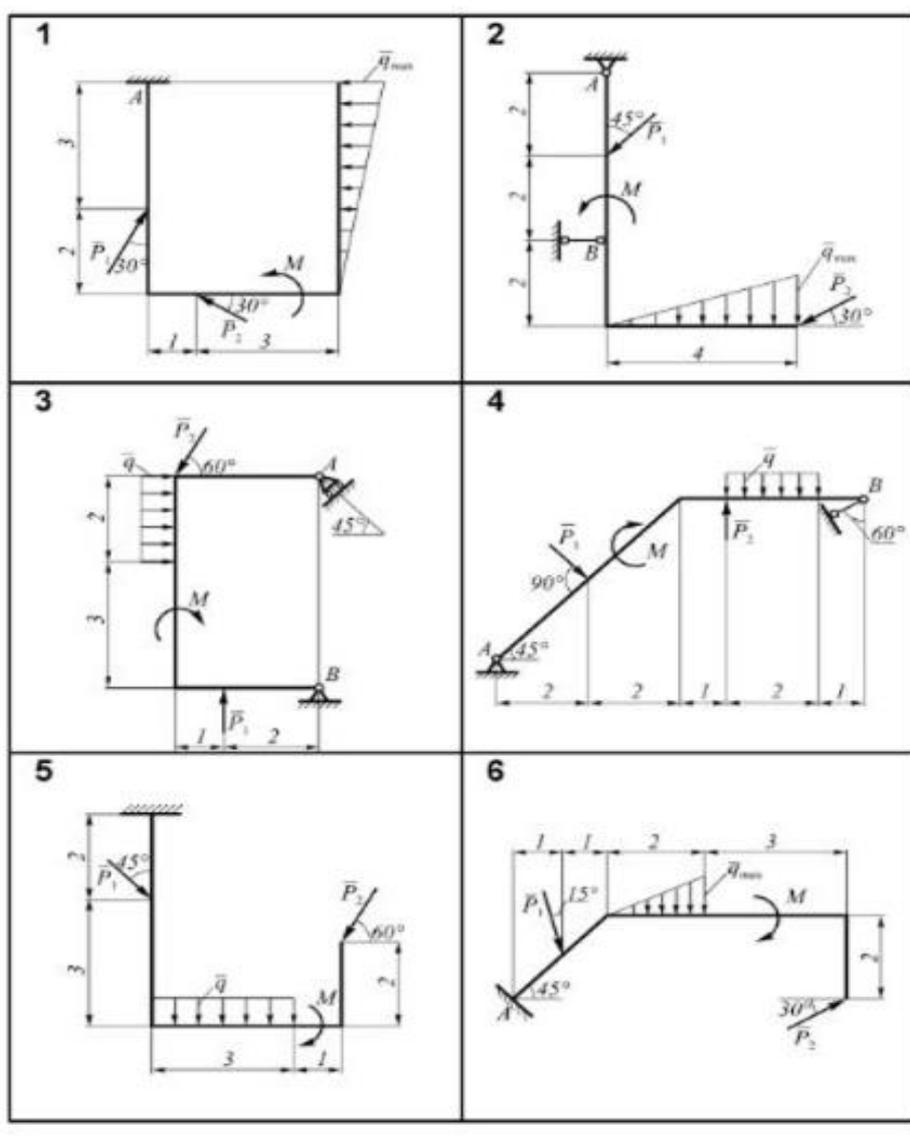


Рисунок 5.3 - Исходные схемы

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ СЛОЖНЫХ ПЛОСКИХ ФИГУР

#### Цель занятия:

- изучить понятие центра тяжести;
- научиться определять положения центра тяжести;
- изучить методы определения центра тяжести;
- изучить основные формулы для определения центра тяжести;

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### Оснащение:

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор.

#### Рекомендуемые информационные источники:

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

- методические указания по выполнению работы.

#### Краткие теоретические сведения:

Сила, с которой тело притягивается к Земле, называется *силой тяжести*.

Элементарной частицей тела называется такая малая частица, положение которой в пространстве определяется координатами одной точки. Силы тяжести каждой частицы, направленные к центру Земли, образуют систему сходящихся сил, но для тел, размеры которых малы по сравнению с размерами Земли, с достаточной степенью точности можно считать эти силы *системой параллельных сил*.

*Центром тяжести* тела называется центр параллельных сил тяжести всех элементарных частиц тела.

Центр тяжести есть геометрическая точка, которая может лежать вне тела (например, кольцо, цилиндр с отверстием). Центр тяжести будем обозначать точкой *C*.

Координаты центра тяжести тела находят по тем же формулам, что и координаты центра параллельных сил:

$$x_c = \frac{\sum G_i x_i}{\sum G_i}; y_c = \frac{\sum G_i y_i}{\sum G_i}; z_c = \frac{\sum G_i z_i}{\sum G_i}; \quad (6.1)$$

где  $G_i$  - сила тяжести каждой элементарной частицы тела;  
 $x_i, y_i, z_i$  - координаты частицы;  
 $\sum G_i$  - сила тяжести всего тела.

### Ход работы (задание):

1. Повторить теоретический материал по определению центра тяжести.
2. Вычертить схему своего варианта, обозначив размеры в см.
3. «Привязать» фигуру к координатам х-х, у-у.
4. «Разбить» фигуру на простые геометрические фигуры.
5. Обозначить центры тяжести.
6. Вычислить площади этих фигур.
7. Вычислить координаты центров тяжести простых геометрических фигур.
8. По формулам определить координаты центра тяжести всей фигуры:

$$X_c = \frac{\sum A_i X_i}{\sum A_i}; \quad Y_c = \frac{\sum A_i Y_i}{\sum A_i}.$$

9. По значениям  $X_c$ ,  $Y_c$  на схеме показать положение центра тяжести всей фигуры.

10. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита** - (устная).

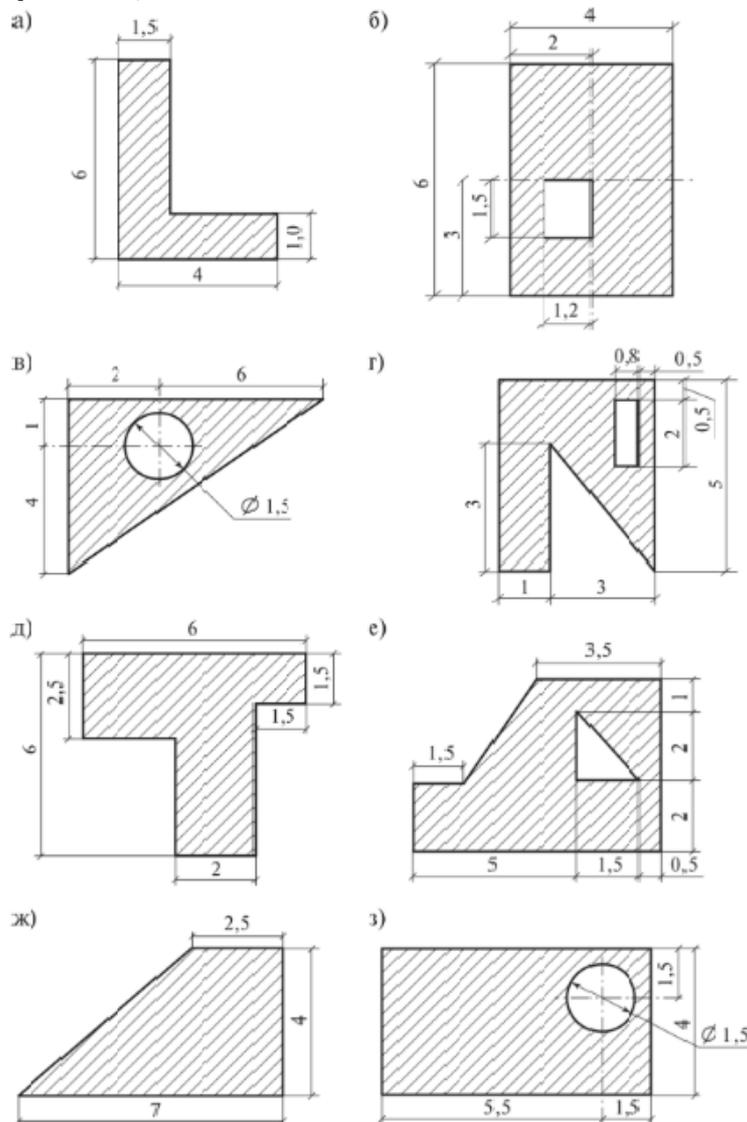


Рисунок 6.1 - Плоские фигуры

### **Контрольные вопросы:**

1. Способы определения центра тяжести.
2. Какие другие параметры можно применить в расчетных формулах по определению центра тяжести кроме площади (A)?
3. Значение центра тяжести.
4. Какие сечения, кроме геометрических фигур, имеют известное положение центра тяжести фигур?
5. Привести примеры положения центра тяжести геометрических тел (цилиндр, шар, призма, конус и т.д.).
6. Какие сечения имеют табличные значения центра тяжести?

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ФИГУР, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ ПРОКАТНОГО ПРОФИЛЯ**

#### **Цель работы:**

- закрепление теоретических знаний по теме;
- формирование практических навыков расчета координат центра тяжести плоских фигур;

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### **Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор.

#### **Рекомендуемые информационные источники:**

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

- методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения:** Центр тяжести применяется при исследовании устойчивости положений равновесия тел и сплошных сред, находящихся под действием сил тяжести и в некоторых других случаях, а именно: в сопротивлении материалов и в строительной механике –при использовании правила Верещагина. При определении координат центра тяжести используются следующие методы:

1) метод симметрии: если сечение имеет центр симметрии или ось симметрии, то центр тяжести находится в центре симметрии или на оси симметрии;

2) метод разделения: сложные сечения разделяем на несколько простых частей, положение центров тяжести которых, легко определить;

3) метод отрицательных площадей: этот способ является частным случаем способа разделения. Он используется, когда сечение имеет вырезы, срезы, полости (отверстия), которые рассматриваются как часть сечения с отрицательной площадью.

При решении задач на определение центра тяжести сложных сечений следует придерживаться следующего порядка:

1. Выбрать метод, который наиболее применим к данной задаче.
2. Разбить сложное сечение на простые части, для которых центры тяжести известны.
3. Выбрать оси координат. При этом необходимо помнить, что: если тело имеет плоскость симметрии, то его центр тяжести лежит в этой плоскости; если тело имеет ось симметрии, то его центр тяжести лежит на этой оси; если тело имеет центр симметрии, то его центр тяжести совпадает с центром симметрии.
4. Определить координаты центров тяжести отдельных частей относительно выбранных осей.
5. Используя формулы определить искомые координаты центра тяжести заданного сечения.

#### **Расчетно-графическая работа:**

##### **Ход работы (задание):**

- определить координаты центра тяжести составного сечения. Сечения состоят из листов с поперечными размерами  $a \times b$  и прокатных профилей.
- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- ознакомиться с исходными данными, таблица 7.1, рис. 7.1;
- разбить фигуру на простые геометрические фигуры, положение центров тяжести которых известны.
- выбрать систему координат.
- определить площади геометрических фигур
- определить центр тяжести каждой фигуры относительно координат  $x, y$ .
- определить общую площадь фигуры по формуле  $A = \sum A$
- определить координаты центра тяжести всей фигуры
- оформить выполненное задание в виде отчета, сделать выводы;
- подготовиться к защите практической работы

##### **Результат деятельности: Выводы. Отчет. Защита - (устная):**

##### **Контрольные вопросы:**

1. Запишите формулы для определения положения центра тяжести простых геометрических фигур: прямоугольника, треугольника и половины круга.
2. Сформулируйте способы определения координат центра тяжести составного сечения.
3. Приведите алгоритм определения координат центра тяжести составного сечения.
4. Назовите особенность определения координат центра тяжести для сечений, составленных из стандартных профилей.

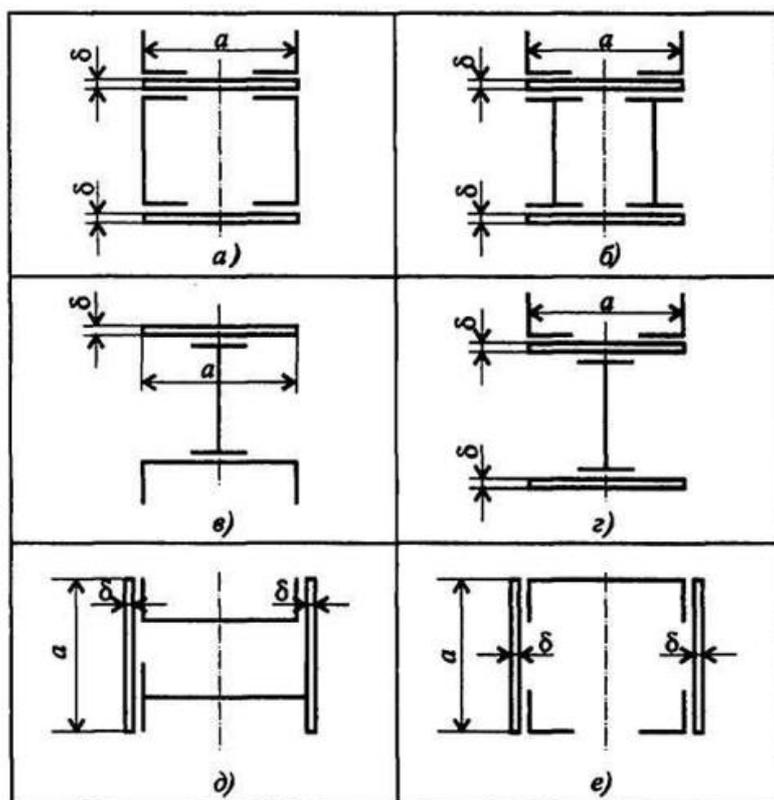


Рисунок 7.1 - Профили сечений

Таблица 7.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ швеллера	18	18а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
№ двугавра	18	18а	20	20а	22	22а	24	24а	27	30
№ уголка	8	8	9	9	10	10	11	11	12,5	14
а, мм	180	200	200	220	220	240	240	260	270	300
δ, мм	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6
Рисунок	а	б	в	г	д	е	а	б	в	г

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ТОЧКИ ПО ЗАДАНЫМ УРАВНЕНИЯМ ДВИЖЕНИЯ

#### Цель занятия:

- иметь представление о пространстве, времени, траектории, пути, скорости и ускорении;
- знать способы задания движения точки;
- уметь составлять уравнения движения точки и уравнение траектории;
- знать обозначения, единицы измерения, взаимосвязь кинематических параметров движения, формулы для определения скоростей и ускорений, радиуса кривизны траектории.

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02. Бурение нефтяных и газовых скважин **и овладению:**

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

**Методическое руководство:**

- ознакомиться с краткими теоретическими сведениями;
- найти решение предложенных задач;
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

**Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор.

**Рекомендуемые информационные источники:**

- Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования, М.: Академия, 2023. – 528 с.
- методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения.**

*Скорость* есть кинематическая мера движения точки, характеризующая быстроту изменения ее положения.

При равномерном движении скорость измеряется длиной пути, пройденного за единицу времени:

$$V = \frac{s}{t} = \text{const}$$

*Скорость* - векторная величина. При прямолинейном движении скорость постоянная и по модулю, и по направлению, а вектор ее совпадает с траекторией. При криволинейном движении скорость точки по направлению меняется. Скорость в каждый момент времени направлено по касательной к траектории в сторону движения.

*Ускорение* - величина скалярная. При прямолинейном движении точки вектор скорости всегда совпадает с траекторией и поэтому вектор изменения скорости также совпадает с траекторией.

$$a_{\text{ср}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

учитывая, что  $v = \frac{ds}{dt}$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

*Истинное ускорение в прямолинейном движении равно первой производной скорости или второй производной координаты (расстояния от начала отсчета перемещения) по времени.*

**Расчетно-графическая работа:**

**Ход работы** (задание):

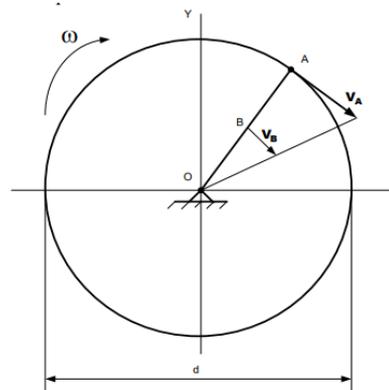
- Выписать значения своего варианта;

- Решить письменно в виде обоснования решения, при необходимости с применением расчетов и графиков.

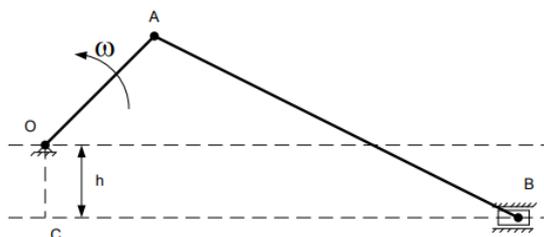
**Дополнительное задание:** Нарисовать схему и объяснить порядок определения полного ускорения при криволинейном движении.

- При выполнении работы пользоваться чертежными инструментами;
- Оформить выполненное задание в виде отчета;
- Сделать выводы;
- Подготовиться к защите практической работы.

1. Движение точки задано уравнениями:  $x = 3t$ ,  $y = \frac{3}{t}$ . Определить в моменты времени  $t_1$  и  $t_2$  скорость точки, ускорение точки, касательное и нормальное ускорение. Определить и построить траекторию точки.



2. Точка А шкива, лежащая на его ободе, движется со скоростью  $v_A$ , а некоторая точка В, взятая на одном радиусе с точкой А, движется со скоростью  $v_B$ ; расстояние АВ. Определить угловую скорость  $\omega$  и диаметр шкива.



3. Найти скорость ползуна В нецентрального кривошипного механизма при двух горизонтальных и двух вертикальных положениях кривошипа, вращающегося вокруг вала О с угловой скоростью  $\omega$ , рад/с.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита - (устная):**

**Контрольные вопросы:**

1. Дайте определение понятия «Кинематика».
2. Естественный способ задания движения точки.
3. Что называется касательным ускорением?
4. Уравнение вращательного движения точки.
5. Как определить угловую скорость?
6. Формула равномерного вращательного движения.
7. Что называется поступательным движением?
8. Формула равнопеременного вращательного движения.

Таблица 8.1 - Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_1, c$	1	2	1	2	1	3	3	2	1	1
$t_2, c$	2	1	1	2	3	1	2	3	1	2
$v_A, cm/c$	50	40	30	20	60	15	25	35	45	55
$v_B, cm/c$	10	15	20	15	5	10	25	10	10	15
АВ, см	20	15	10	25	5	10	15	20	15	5
ω, рад/с	1,5	2	1,6	1,7	1,4	1,8	2	1,9	1,3	1,2

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

### РАСЧЕТ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО БРУСА НА РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ

#### **Цель занятия:**

- изучить метод сечений для определения внутреннего силового фактора;
- научиться определять напряжения в поперечном сечении;
- научиться применять формулу Гука при нахождении напряжения и деформации под действием нагрузки;
- научиться строить эпюры внутренних силовых факторов и нормальных напряжений

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### **Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор.

#### **Рекомендуемые информационные источники:**

- Ахметзянов, М. Х. Техническая механика (сопротивление материалов): учебник для СПО / М. Х. Ахметзянов, И. Б. Лазарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 297 с. — (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа [https:// urait.ru](https://urait.ru)]

- методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения:** Растяжением, (сжатием) называют такой вид деформации, при которой возникает только один внутренний силовой фактор - продольная сила  $N$ , которая численно равна алгебраической сумме всех внешних сил, действующих на отсеченную часть. При растяжении или сжатии напряжения распределяются по поперечному сечению равномерно. Форма сечения значения не имеет. В поперечных сечениях возникают только нормальные напряжения.

**Пример.** Проверить прочность колонны, выполненной из двутавровых профилей заданного размера, для материала колонны (сталь Ст3) принять допускаемые напряжения при растяжении  $160 \text{ Н/мм}^2$  и при сжатии  $120 \text{ Н/мм}^2$ . В случае перегрузки или значительной недогрузки подобрать новые размеры двутавров, обеспечивающие оптимальную прочность колонны.

**Решение:** В заданном бруске два участка: 1 и 2. Границами участков являются сечения, в которых приложены внешние силы. Так как силы, нагружающие брус, расположены по его центральной - продольной оси, то в поперечных возникает лишь один внутренний силовой фактор- продольная сила  $N$ , т.е. имеет место растяжение (сжатие) бруса. Для

определения продольной силы применяем метод сечения. Проводя мысленно сечения в пределах каждого из участков, будем отбрасывать нижнюю закрепленную часть бруса и оставлять для рассмотрения верхнюю часть. На участке 1 продольная сила постоянна и равна

$$N_1 = -F_1 = -230 \text{ кН.}$$

На участке 2 продольная сила также равна  $N_2 = -F_1 - F_2 = -230 - 180 = -410 \text{ кН}$

Знак минус указывает на то, что на обоих участках брус сжат. Строим эпюру продольных сил  $N$ . Проводя параллельно оси бруса базовую (нулевую) линию эпюры, откладываем перпендикулярно ей в произвольном масштабе полученные значения  $N$ . Эпюра оказалась очерченной прямыми линиями, параллельными базовой.

Выполняем проверку прочности бруса, т.е. определяем расчетное напряжение (для каждого участка в отдельности) и сравниваем его с допускаемым. Для этого используем условие прочности при сжатии:

$$\sigma = N/A \leq [\sigma],$$

где  $N$  - внутренний силовой фактор;

$A$  - площадь сечения, является геометрической характеристикой прочности поперечного сечения.

Из таблицы прокатной стали ГОСТ 8239-72 берем:

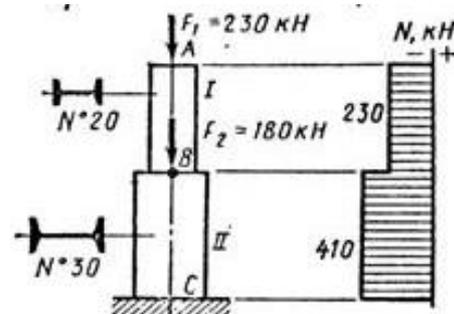
для двутавра №20  $A_1 = 26,8 \text{ см}^2$

для двутавра №30  $A_2 = 46,5 \text{ см}^2$

Проверка прочности:  $\sigma_1 = N_1/A_1 \leq [\sigma_c]$ ,

$$\sigma_1 = 230 \cdot 10^3 / 26,8 \cdot 10^5 = 85,8 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_2 = 410 \cdot 10^3 / 46,5 \cdot 10^5 = 88,2 \text{ Н/мм}^2$$



Прочность бруса обеспечена, однако со значительной (более 25%) недогрузкой, что недопустимо из-за перерасхода материала.

Из условия прочности определим новые, рациональные размеры сечения для каждого из участков бруса:

$$\sigma_1 = N_1/A_1 \leq [\sigma_c], \sigma_1 = 230 \cdot 10^3 / A_1 \leq 120$$

$$\text{Отсюда требуемая площадь } A_1 = 1916 \text{ мм}^2 = 19,2 \text{ см}^2.$$

По таблице ГОСТ выбираем двутавр №16, для которого  $A_1 = 20,2 \text{ см}^2$ .

$$\sigma_2 = N_2/A_2 \leq [\sigma_c], \sigma_2 = 410 \cdot 10^3 / A_2 \leq 120$$

$$\text{Отсюда требуемая площадь } A_2 = 3416 \text{ мм}^2 = 34,2 \text{ см}^2.$$

По таблице ГОСТа выбираем двутавр №24, для которого  $A_2 = 34,8 \text{ см}^2$ .

При выбранных размерах двутавров также имеется недогрузка, однако незначительная (менее 5%).

### Расчетно-графическая работа:

#### Ход работы (задание):

1. Вычертить схему согласно своего варианта с данными. Материал бруса - ст. 3, допускаемое напряжение при растяжении 160 МПа,

допускаемое напряжение при сжатии 120 МПа.  $E=2 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2$

2. Для заданного бруса методом сечений определить продольные силы и построить эпюру продольных сил.

3. Из условия прочности вычислить площадь поперечного сечения на каждом участке:

$$\sigma = N/A \leq [\sigma].$$

4. Ответить на вопрос: во сколько раз большую нагрузку на брус можно допустить при увеличении размеров сечения в 2 раза, во сколько раз при этом возрастут затраты на материал.

5. Вычислить продольные перемещения поперечного сечения бруса на каждом участке и общее перемещение.

6. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита - (устная):**

**Дополнительное задание:** Написать порядок построения эпюры продольных сил.

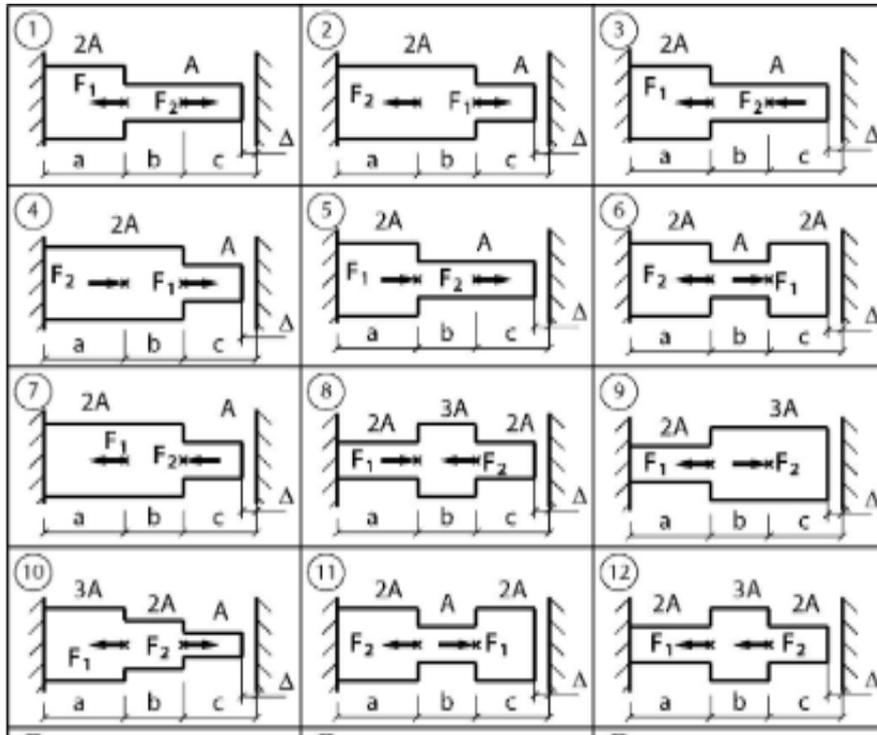


Рисунок 9.1 - Исходные схемы

Таблица 9.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Вариант											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$F_1, \text{ Н}$	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320
$F_2, \text{ Н}$	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	250	240
$a, \text{ м}$	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3	0,05	0,05	0,05
$b, \text{ м}$	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,1	0,1	0,05	0,3	0,2	0,2	0,2
$c, \text{ м}$	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3
Рисунок	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

### **Контрольные вопросы:**

1. Какова последовательность построения эпюр продольных сил?
2. Каково условие прочности при сжатии?
3. Во сколько раз можно уменьшить или увеличить нагрузку на брус, если диаметр бруса увеличить в 2 раза.
4. Что такое растяжение?
5. Чем отличается растяжение от сжатия?
6. Какое напряжение возникает в сечении бруса при растяжении?

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №10**

### **РАСЧЕТ ВАЛА НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ КРУЧЕНИИ**

#### **Цель занятия:**

- научиться производить расчет напряжения в конструкционных материалах при деформации кручения;
- рассчитать элементы конструкций на прочность при кручении;
- научиться применять расчетные формулы для вычисления диаметров валов по допустимой нагрузке;
- закрепить знания по теме: Кручение. Построение эпюр при кручении.

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

#### **Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор

#### **Рекомендуемые информационные источники:**

- Ахметзянов, М. Х. Техническая механика (сопротивление материалов): учебник для СПО / М. Х. Ахметзянов, И. Б. Лазарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 297 с. — (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа [https:// urait.ru](https://urait.ru)]

- методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения:** Кручение такой вид деформации, при котором в его поперечных сечениях возникает только один внутренний силовой фактор  $M_{кр}$ . Крутящий момент в любом поперечном сечении равен алгебраической сумме внешних моментов, действующих на отсеченную часть.

Правила знаков для внешних  $M$  и внутренних крутящих моментов при кручении вала: Внутренний крутящий (скручивающий) момент при

кручении принимается положительным, если он стремится повернуть рассматриваемое сечение вала против хода часовой стрелки, при рассмотрении его со стороны отброшенной части вала.

Эпюры крутящих моментов дают возможность определить опасное сечение. В частности, если брус имеет постоянное поперечное сечение по всей длине, то опасными будут сечения на участке, где возникает наибольший крутящий момент.

Условие прочности при кручении: прочность вала считается обеспеченной, если наибольшие касательные напряжения, возникающие в его опасном поперечном сечении, не превышают допустимых напряжений на кручение:

$$\tau_{\max} = \frac{Mz}{W_p} \leq [\tau_k], \quad (10.1)$$

- где  $\tau$  - расчетное касательное напряжение в сечении бруса;  
 $Mz$  - крутящий момент на данном участке;  
 $W_p$  - полярный момент сопротивления;  
 $[\tau_k]$  - допускаемое касательное напряжение.

Формула служит для проверочного расчета вала на прочность.

Допускается незначительное (до 5 %) превышение расчетного напряжения над допускаемым напряжением.

При проектировочном расчете требуемый полярный момент сопротивления определяется по формуле условия прочности при кручении:

$$W_p \geq \tau_{\max} \frac{Mz}{[\tau_k]}$$

Для вала постоянного диаметра опасным сечением при кручении является сечение, в котором возникает наибольший крутящий момент. Если сечение вала не постоянно по длине, может оказаться, что наибольшие касательные напряжения возникают не там, где крутящий момент максимален. Следовательно, в этом случае вопрос об опасном сечении должен быть исследован дополнительно.

**Пример:** Для заданного бруса построить эпюру крутящих моментов и подобрать размеры сечения в двух вариантах: а) круг; б) кольцо с заданным отношением  $d/D = 0.6$  внутреннего и наружного диаметров.

Указанные расчеты выполнить для участка с опасным сечением. Ответить на вопрос: во сколько раз большую нагрузку можно допустить при увеличении размеров в два раза? Во сколько раз при этом возрастут затраты материала.

Для материала бруса Ст 3, принять  $[\tau] = 30 \text{ Н/мм}^2$

**Исходные данные:**  $M_1 = 0,3 \text{ кНм}$ ,  $M_2 = 0,95 \text{ кНм}$ ,  $M_3 = 1,4 \text{ кНм}$

**Решение:**

1. Разбиваем заданный брус на участки по точкам приложения внешних вращающих моментов. Разбиение на участки идет от свободного конца.

2. Методом сечений вычисляем на каждом участке крутящий момент:

$$M_{1z} = 0,3 \text{ кНм},$$

$$M_2 z = 0,3 - 0,95 = -0,65 \text{ кНм},$$

$$M_{3z} = 0,3 - 0,95 + 1,4 = 0,75 \text{ кНм}$$

3. В выбранном масштабе строим эпюру крутящих моментов.

$$M = 0.1 \text{ Нм/см}$$

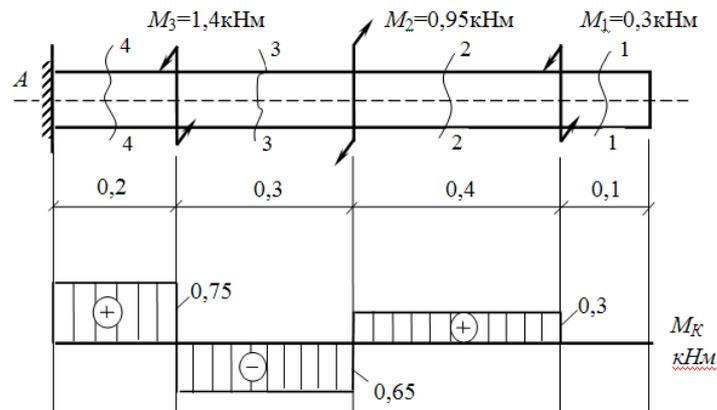


Рисунок 10.1 - Схема задачи. Эпюра внутренних силовых факторов

4. Из условия прочности вычисляем полярный момент сопротивления для каждого участка:

$$W_{p1} = 300/30 = 10 \text{ см}^3$$

$$W_{p2} = 650/30 = 22 \text{ см}^3$$

$$W_{p3} = 750/30 = 25 \text{ см}^3$$

5. Вычисляем диаметр бруса в двух вариантах:

а) круг

$$W_{\text{кр}} = \frac{\pi d^3}{16} \quad (10.2)$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{16W_p}{\pi}} = 3,7 \text{ см}$$

$$d_2 = 4,8 \text{ см}, \quad d_3 = 5 \text{ см}$$

б) кольцо:

$$W_{\text{кольца}} = \frac{\pi D^3}{16}(1-a^4), \quad (10.3)$$

где **D** - внешний диаметр кольца;  
**d** - внутренний диаметр кольца.

$$D_1 = \sqrt[3]{\frac{16W_p}{\pi(1-a^4)}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10}{\pi(1-0.6^4)}} = 3.8 \text{ см},$$

$$d_1 = 0.6 \cdot 3.8 = 2,28 \text{ см}$$

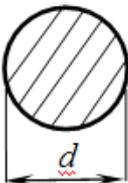
$$D_2 = 5,0 \text{ см}, \quad d_2 = 3 \text{ см}$$

$$D_3 = 5,3 \text{ см}, \quad d_3 = 3,18 \text{ см}$$

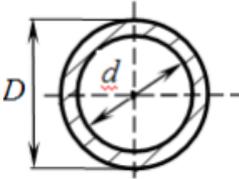
6. Ответ на вопрос: при увеличении размеров бруса в два раза,

соответственно полярный момент сопротивления увеличится в восемь раз, а значит и нагрузку на брус, исходя из условия прочности, можно увеличить в восемь раз.

Отношение масс брусьев одинаковой длины равно отношению площадей их сечений. Вычислим площадь круга и кольца для первого участка:



$$d_1 = 3,7 \text{ см}$$

$$A_{\text{круг}} = \frac{\pi d^2}{4} = 3,14 \cdot 3,7^2 / 4 = 10,75 \text{ см}^2$$


$$D_1 = 3,8 \text{ см} \quad d_1 = 2,28 \text{ см}$$

$$A_{\text{кольца}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \frac{3,14}{4}(3,8^2 - 2,28^2) = 7,25 \text{ см}^2$$

Следовательно, брус круглого сечения тяжелее кольцевого примерно в два раза.

**Вывод:** при кручении экономически эффективнее применять брус кольцевого сечения.

### Расчетно-графическая работа:

#### Ход работы (задание):

1. Выписываем задание и исходные данные из таблицы. Допустимое значение касательного напряжения 35 МПа.
2. Разбиваем брус на участки по точкам приложения внешних скручивающих моментов.
3. Методом сечений вычисляем значения крутящих моментов и строим эпюру крутящих моментов в выбранном масштабе.
4. Из условия прочности определяем значение полярного момента сопротивления для каждого участка в отдельности.
5. Вычисляем диаметр для каждого участка в двух вариантах: круг, кольцо.
6. Сравниваем затраты материала по обоим расчетным вариантам.
7. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

**Результат деятельности:** Выводы. Отчет.

**Защита** - (устная):

Таблица 10.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M <sub>1</sub> , кНм	3	5,5	7,5	11	3	5,5	2,4	4	2,2	6
M <sub>2</sub> , кНм	2	2,4	1,5	3,2	4	1,7	2,2	9	7,8	7,5
M <sub>3</sub> , кНм	11	12	15	17	10	24	16	20	28	14
M <sub>4</sub> , кНм	10	3	4	6	9	9,5	7	8	11,5	12
Номер схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

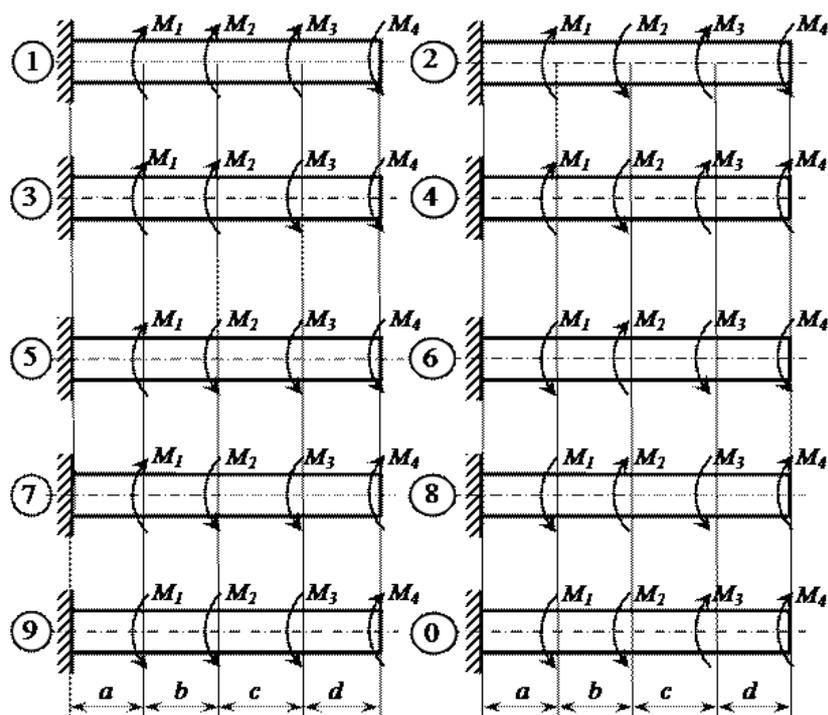


Рисунок 10.2 - Исходные схемы

### Контрольные вопросы:

1. Написать и пояснить условие прочности при кручении.
2. Начертить эпюры касательных напряжений для кольцевого и круглого сечения.
3. Какие виды деформаций возникают при кручении
4. Во сколько раз можно увеличить нагрузку на брус при кручении, если диаметр бруса увеличить в 2 раза.
5. Почему брус кольцевого сечения экономически эффективнее применять при кручении?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №11

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

#### Цель занятия:

- научиться производить расчет основных геометрических характеристик плоских сечений;
- рассчитать элементы конструкций с учетом геометрии сечения;
- научиться применять расчетные формулы для определения осевых моментов инерции;

К освоению учебной дисциплины ОП.07 Техническая механика по специальности 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин и овладению:

**Профессиональными компетенциями (ПК):** ПК1.1, ПК1.2, ПК2.1, ПК2.3, ПК3.1, ПК3.2.

**Общими компетенциями (ОК):** ОК01, ОК02, ОК04, ОК05, ОК06, ОК09.

**Оснащение:**

**Оборудование, материалы:** чертежный инструмент, калькулятор.

**Рекомендуемые информационные источники:**

- Ахметзянов, М. Х. Техническая механика (сопротивление материалов): учебник для СПО / М. Х. Ахметзянов, И. Б. Лазарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 297 с. — (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа <https://urait.ru>]

- методические указания по выполнению работы.

**Краткие теоретические сведения:**

К геометрическим характеристикам плоских сечений относятся: площадь сечения  $F$ , статические моменты площади  $S_x$ ,  $S_y$ , осевые моменты инерции  $J_x$ ,  $J_y$ , центробежный момент инерции  $J_{xy}$ , полярный момент инерции  $J_p$ , момент сопротивления кручению  $W_p$ , момент сопротивления изгибу  $W_x$ .

Произведение элементарной площади  $dF$  на расстояние  $z$  от оси  $Oy$

$$dS_y = zdF$$

- называется элементарным статическим моментом площадки относительно оси  $Oy$ .

$dS_z = ydF$  – элементарный статический момент площадки относительно оси  $Oz$ .

Проведя суммирование величин  $dS_y$  и  $dS_z$  по площади сечения  $F$ , получим

$$S_y = \int z dF,$$

$$S_z = \int y dF,$$

где  $S_y, S_z$  - статические моменты сечения  $F$  относительно осей  $y$  и  $z$  соответственно.

Статические моменты могут быть положительными, отрицательными или равными нулю и измеряются в единицах длины в кубе (например,  $m^3$ ).

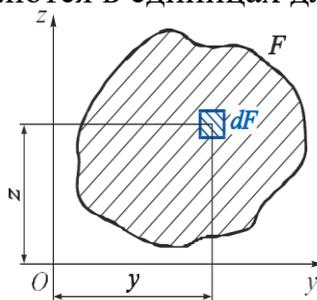


Рисунок 11.1 - Поперечное сечение бруса  $F$ , связанное с системой координат  $yOz$ .

Оси, относительно которых статический момент сечения равен нулю, называются центральными осями этого сечения. Точка пересечения центральных осей сечения называется его центром тяжести (ЦТ). Правило симметрии. Если сечение имеет ось симметрии, то статический момент сечения относительно этой оси тождественно равен нулю. Следовательно:

а) ось симметрии всегда является центральной осью сечения;

б) центр тяжести сечения всегда лежит на его оси симметрии, если таковая имеется;

в) если в сечении имеется две оси симметрии, то центр тяжести (геометрический центр) этого сечения будет находиться в точке пересечения обеих осей симметрии.

**Пример:** Определить моменты инерции  $I_y$ ,  $I_z$ ,  $I_{yz}$ ,  $I_p$  прямоугольного сечения относительно осей  $y$  и  $z$ , которые являются осями симметрии сечения (рис.11.2).  $h$ ,  $b$ ,  $O$  – центр тяжести сечения.

**Решение:** Определяем момент инерции относительно оси  $y$ . Выделим в прямоугольнике на расстоянии  $z$  от оси  $y$  элементарную площадку шириной  $b$  и высотой  $dz$ . Площадь этой площадки  $dF = b dz$ .

Подставляем значение  $dF$  в формулу для вычисления осевого момента инерции

$$I_y = \frac{b}{3} \left( \frac{h^3}{8} + \frac{h^3}{8} \right) = \frac{bh^3}{12}$$

Определим момент инерции относительно оси

$$I_z = \frac{bh^3}{12}$$

Поскольку оси  $y$  и  $z$  – оси симметрии сечения, то они являются главными центральными осями сечения. Следовательно, центробежный момент инерции сечения относительно системы осей  $yOz$  равен нулю:

$$I_{yz} = 0.$$

Определяем полярный момент инерции

$$I_p = \frac{F}{12} (h^2 + b^2)$$

### Расчетно-графическая работа:

#### Ход работы (задание):

1. Выписать задание и исходные данные из таблицы.
2. Разбить фигуры на составляющие. Вычислить центры тяжести простейших фигур, а затем всей фигуры.
3. Вычислить центральные осевые моменты плоских сечений  $I_x$ ,  $I_y$ , .
4. Подготовиться к защите работы по контрольным вопросам.

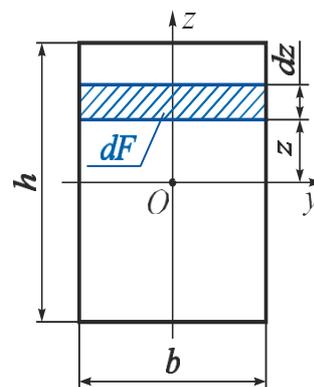


Рисунок 11.2 -  
Прямоугольное сечение

Результат деятельности: Выводы. Отчет.

Защита - (устная):

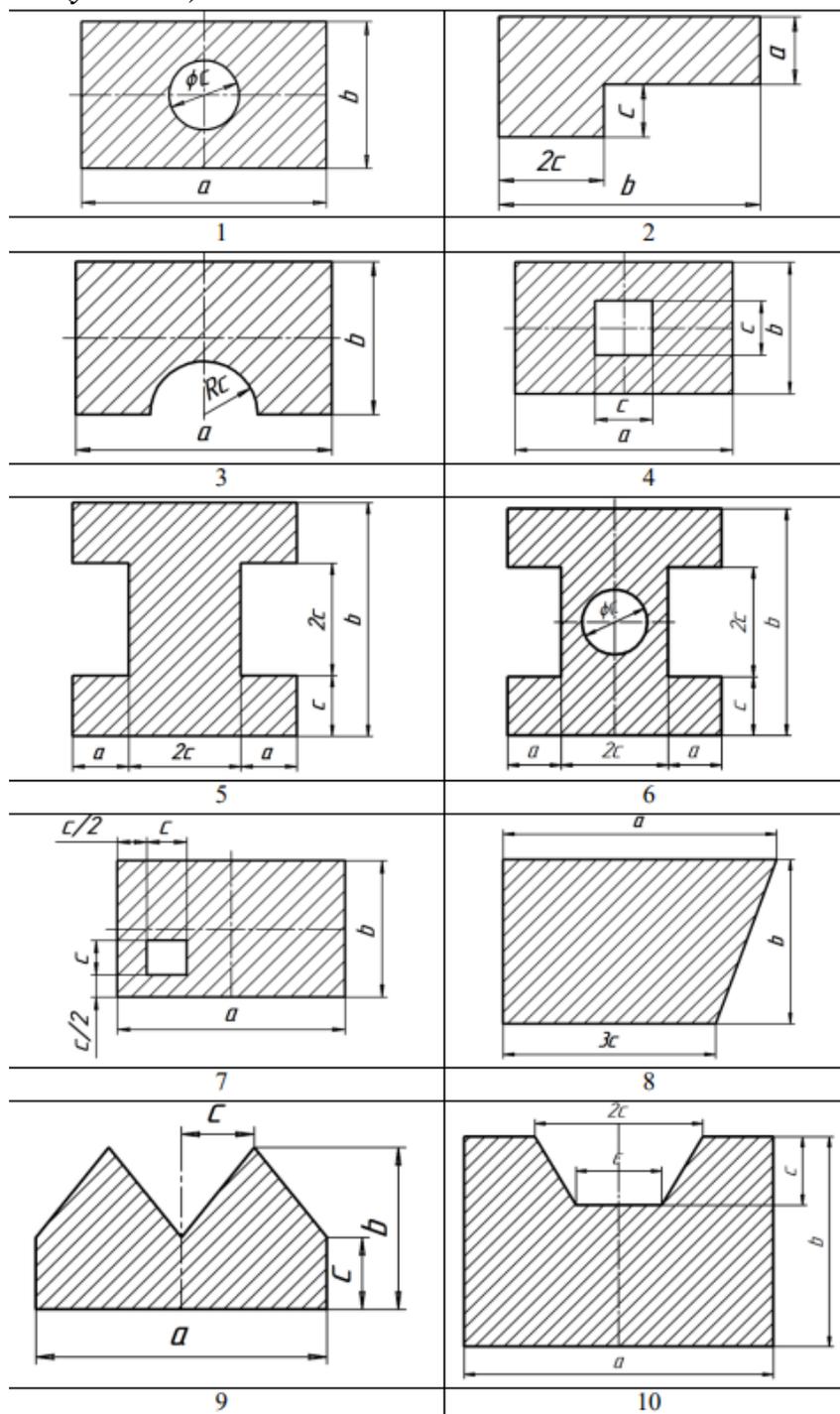


Рисунок 11.3 - Исходные схемы сечений

Таблица 11.1 - Исходные данные по вариантам

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
а, см	5	2	6	8	7	9	4	4	7	6
б, см	4	7	5	3	4	7	3	9	7	5
с, см	2	3	1,5	1	2	2	3	2	2	3
Номер схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

### **Контрольные вопросы:**

1. Что такое статические моменты инерции плоских сечений?
2. Охарактеризуйте осевые и центробежные моменты инерции поперечного сечения.
3. Раскройте понятие «полярный момент инерции поперечного сечения».
4. Как связаны между собой полярный и осевые моменты инерции?
5. Какие оси называются центральными? 8. Какие оси называются главными?
6. Какими свойствами обладают оси симметрии поперечного сечения?

## **ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

### Основной:

1. Ахметзянов, М. Х. Техническая механика (сопротивление материалов): учебник для СПО / М. Х. Ахметзянов, И. Б. Лазарев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 297 с. — (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа [https:// urait.ru](https://urait.ru)]
2. Гребенкин, В. З. Техническая механика : учебник и практикум для СПО / В. З. Гребенкин, Р. П. Заднепровский, В. А. Летягин ; под ред. В. З. Гребенкина, Р. П. Заднепровского. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 390 с. — (Серия: Профессиональное образование). [Электронный ресурс; Режим доступа <https:// urait.ru>]
3. Журавлев, Е. А. Техническая механика: теоретическая механика: учебное пособие для СПО / Е. А. Журавлев. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 140 с. — (Серия: Профессиональное образование). [Электронный ресурс; Режим доступа <https:// urait.ru>]
4. Зиомковский, В. М. Техническая механика: учебное пособие для СПО / В. М. Зиомковский, И. В. Троицкий; под науч. ред. В. И. Вешкурцева. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 288 с. — (Серия: Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа <https:// urait.ru>]
5. Кривошапка, С. Н. Сопротивление материалов. Практикум: учебное пособие для СПО / С. Н. Кривошапка, В. А. Копнов. — 4-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 353 с. — (Профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа <https:// urait.ru>]
6. Техническая механика. Сборник тестовых заданий : учебное пособие / В.П. Олофинская. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2023. — 132 с. — (Среднее профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа <http://znanium.com>]
7. Техническая механика: учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. - М.: ИНФРА-М, 2022. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование) [Электронный ресурс; Режим доступа

<http://znanium.com>]

8. Техническая механика: учебник для СПО / В. В. Джамай, Е. А. Самойлов, А. И. Станкевич, Т. Ю. Чуркина. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 360 с. — (Серия: Профессиональное образование). [Электронный ресурс; Режим доступа <https://urait.ru>]

9. Эрдеди А. А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф образования, М.: Академия, 2023. – 528 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>]

Электронные учебные издания **дополнительной литературы:**

1. Журнал «Популярная механика»
2. Теоретический и научно-методический журнал «Среднее профессиональное образование» + Приложение

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ</b> .....	4
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ДЛЯ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ.</b> .....	5
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ.</b> .....	7
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ДВУХОПОРНОЙ БАЛКИ</b> .....	11
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В БАЛКЕ С ЖЕСТКИМ ЗАЦЕМЛЕНИЕМ.</b> .....	15
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ СВЯЗЕЙ ПЛОСКОЙ РАМЫ.</b> .....	18
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ СЛОЖНЫХ ПЛОСКИХ ФИГУР.</b> .....	22
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ФИГУР, СОСТАВЛЕННЫХ ИЗ ПРОКАТНОГО ПРОФИЛЯ.</b> ..	24
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ТОЧКИ ПО ЗАДАНЫМ УРАВНЕНИЯМ ДВИЖЕНИЯ.</b> .....	26
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9. РАСЧЕТ МНОГОСТУПЕНЧАТОГО БРУСА НА РАСТЯЖЕНИЕ-СЖАТИЕ.</b> .....	29
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10. РАСЧЕТ ВАЛА НА ПОЧНОСТЬ ПРИ КРУЧЕНИИ.</b> .....	32
<b>ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ.</b> .....	36
<b>ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	40

# **ОП.07 ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

**21.00.00 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ, ГОРНОЕ ДЕЛО,  
НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО И ГЕОДЕЗИЯ**  
специальность 21.02.02 Бурение нефтяных и газовых скважин

**Методические указания к выполнению практических занятий  
для обучающихся 2 курса очной формы обучения  
образовательных учреждений  
среднего профессионального образования**

## **Часть 1**

Методические указания  
разработал преподаватель: Кульмасова Гульнара Зифовна

**Подписано к печати 27.03.2024 г.**  
Формат 60x84/16  
Тираж

Объем **2,6** п.л.  
Заказ  
**1 экз.**

---

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)  
**НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ**  
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
628615 Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ,  
г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.