

ПРАВИТЕЛЬСТВО САНКТ-ПЕТЕРБУРГА  
КОМИТЕТ ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное  
образовательное учреждение «Автомеханический колледж»

**РАССМОТРЕНО И ПРИНЯТО**  
на заседании Педагогического Совета  
СПб ГБПОУ «Автомеханический колледж»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Председатель Педагогического Совета  
Директор СПб ГБПОУ  
«Автомеханический колледж»

Протокол №\_14\_

«\_09\_»\_06\_2023\_г

\_\_\_\_\_/Р.Н. Лучковский/

«\_10\_»\_06\_2023\_г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**  
обще-professionalной учебной дисциплины

<i>Профессия</i>	<i>13.01.14 Электромеханик по лифтам</i>
<i>Дисциплина</i>	<i>ОП.03 ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ</i>

*ДЛЯ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ КВАЛИФИЦИРОВАННЫХ РАБОЧИХ, СЛУЖАЩИХ*

*СРОК ОБУЧЕНИЯ – 2 ГОДА 10 МЕСЯЦЕВ*

2023г.

Сборник методических указаний к практическим занятиям по дисциплине «Основы технической механики» разработан на основе Федерального государственного образовательного стандарта (далее ФГОС) среднего профессионального образования (далее СПО), рабочей программы «Основы технической механики» и предназначен для обучающихся по профессии **13.01.14 Электромеханик по лифтам**, входящей в состав укрупнённой группы профессий: **13.00.00 Электро- и теплоэнергетика**

**Организация-разработчик:** Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Автомеханический колледж»

**Составитель:**  
Дженко Сергей Николаевич, преподаватель СПб ГБПОУ «Автомеханический колледж»

РАССМОТРЕНА И РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ на заседании Методической комиссии профессионального цикла «Машиностроение и технологии материалов» СПб ГБПОУ «Автомеханический колледж»

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	6
3. ПОДГОТОВКА И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	7
4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБУЧЕНИЯ.....	8
5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ .....	9

# 1. Пояснительная записка

Настоящие методические рекомендации предназначены для обучающихся, в качестве практического пособия при выполнении практических занятий по программе дисциплины «ОП.03 Основы технической механики», по профессии СПО **13.01.14 Электромеханик по лифтам**, входящей в состав укрупнённой группы профессий: **13.00.00 Электро- и теплоэнергетика**

В соответствии с учебным планом, на изучение общепрофессиональной дисциплины «ОП.3 Основы технической механики» отводится 51 часа, из них на проведение практических занятий 10 часов, что составляет 7 практических работ.

Цель данных методических указаний:

- оказание помощи студентам в выполнении практических работ по общепрофессиональной дисциплине «ОП.3 Основы технической механики».
- способствовать освоению профессиональных и общих компетенций по профессии:

Общепрофессиональная дисциплина «ОП.3 Основы технической механики» направлена на формирование следующих общих компетенций:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, исходя из цели и способов ее достижения, определенных руководителем

ОК 3. Анализировать рабочую ситуацию, осуществлять текущий и итоговый контроль, оценку и коррекцию собственной деятельности, нести ответственность за результаты своей работы.

ОК 4. Осуществлять поиск информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, клиентами.

Учебная дисциплина направлена на формирование следующих профессиональных компетенций:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 1.3. Проводить проверку параметров и регулировку электрического оборудования.

ПК 1.4. Проводить эвакуацию пассажиров из кабины лифта.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов.

ПК 2.3. Осуществлять ремонт электрического оборудования и электропроводки лифтов.

ПК 2.4. Оценивать исправность работы электронных блоков лифта.

Практические занятия проводятся с целью систематизации и углубления знаний, полученных при изучении общепрофессиональной дисциплины. Выполнение практических занятий обучающихся в процессе изучения курса является важнейшим этапом обучения, который способствует систематизации и закреплению полученных теоретических знаний и практических умений; формированию навыков работы с различными видами информации, развитию познавательных способностей и активности обучающихся.

В результате выполнения практических занятий по дисциплине «ОП.3 Основы технической механики» обучающиеся должны:

**уметь:**

- читать кинематические схемы;
- производить простые расчеты из области теоретической и прикладной механики.

**знать:**

- основные положения теоретической механики;
- классификацию машин и механизмов;
- детали машин: виды, критерии работоспособности;
- назначение, устройство различных деталей машин;
- механические передачи: виды и устройство передач;
- виды соединений деталей: разъемные и неразъемные соединения;
- трение, его виды, роль трения в технике;
- сопротивление материалов;
- основные виды деформаций и распределение напряжения в них;
- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации;

**владеть практическими навыками :**

- проведения исследования свойств и оценки прочности материалов.
- проведения расчетов механических передач и простейших сборочных единиц общего назначения

**При оценке знаний обучающихся используется шкала оценки образовательных достижений:**

Процент результативности (правильных ответов)		Оценка уровня подготовки	
		балл (отметка)	вербальный аналог
Работа выполнена обучающимся самостоятельно, имеются ответы на контрольные вопросы	90 ÷ 100	5	отлично
Работа выполнена обучающимся с помощью преподавателя, имеются ответы на контрольные вопросы	80 ÷ 89	4	хорошо
Работа выполнена обучающимся с помощью преподавателя, нет ответов на контрольные вопросы	60 ÷ 79	3	удовлетворительно
Работа обучающимся не выполнена	менее 60	2	неудовлетворительно

## 2. Перечень практических занятий

Наименование разделов , тем	№	Темы практических занятий	Кол-во часов
Тема 1.4. Плоская и пространственная система произвольно расположенных сил	Практическое занятие № 1.	Определение опорных реакций балки.	1
Тема 1.5. Центр тяжести	Практическое занятие № 2.	Определение центра тяжести сложной фигуры.	2
Раздел 3. Динамика Тема 3.3. Трение. Работа и мощность	Практическое занятие № 3	Расчёт коэффициента трения.	1
Раздел 4 .Соппротивление материалов Тема 4.2. Растяжение и сжатие	Практическое занятие № 4	Расчёт на прочность при растяжении и сжатии.	1
	Практическое занятие № 5	Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений для бруса переменного сечения.	1
Тема 4.3.Смятие, сдвиг, срез, кручение	Практическое занятие №6	Расчёты на прочность при срезе и смятии.	2
Раздел 5. Детали машин Тема 5.1. Общие сведения о передачах	Практическое занятие № 7	Расчёт основных параметров привода	2
Итого:			10

### **3. Подготовка и порядок проведения практических занятий**

Практические занятия по предмету «ОП.03 Основы технической механики» способствуют закреплению теоретических знаний, полученных студентами на уроках; помогают приобрести практические навыки по исследованию свойств материалов. Каждый студент должен уметь самостоятельно проводить исследования, обрабатывать данные исследований и подготовить отчет по проделанной работе. Текст должен быть написан понятным почерком. Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы.

Для получения допуска к следующей работе необходимо получить зачет по предыдущей работе. Если лабораторная работа была пропущена, то ее можно отработать с любой другой группой или после уроков во время консультаций, назначенных преподавателем.

Для успешного выполнения практического занятия необходимо предварительно ознакомиться с содержанием работы и повторить теоретический материал по конспекту или учебнику. Работы выполняются бригадами по 2-3 человека.

Студенты должны ознакомиться с описанием работы, устройством оборудования, правилами его применения. Запрещается разбирать оборудование.

Измерения необходимо проводить по правилам и аккуратно. Во время работы ведется карандашом черновая запись. Результаты измерений записываются в таблицу.

После окончания измерений составляется отчет, и делаются соответствующие выводы по результатам измерений. Студент должен ответить на контрольные вопросы. Отчет подписывает преподаватель.

Оформленный отчет должен быть сдан на проверку до следующей лабораторной работы.

#### **3.2 Техника безопасности**

При работе с измерительными инструментами во избежание несчастных случаев необходимо строго соблюдать требования техники безопасности. Источниками травматизма могут послужить вращающиеся части механизмов, а также острые металлические части оборудования.

При получении травмы необходимо немедленно поставить в известность преподавателя, воспользоваться аптечкой и обратиться в медпункт для обследования. При возникновении пожара немедленно поставить в известность преподавателя и организованно покинуть помещение.

В случае чрезвычайной ситуации после сигнала тревоги организованно с преподавателем покинуть помещение лаборатории.

Перед началом работ необходимо ознакомиться с требованиями техники безопасности при работе в данной лаборатории.

#### **3.3. При работе в лаборатории запрещается:**

- Самовольно покидать рабочее место и лабораторию.
- Разбирать и раскручивать оборудование.
- Запрещается пользоваться открытым огнем.
- Запрещается перемещать стационарно установленное оборудование.
- В случае возникновения ситуаций, угрожающих жизни и здоровью, выполнять указания преподавателя по соблюдению порядка и выполнению адекватных действий.

#### **3.4. Правила поведения студентов в лаборатории**

- Выполнять только ту работу, которая задана преподавателем.
- Строго соблюдать инструкции.

- Не опаздывать к началу занятий, опоздавшие в лабораторию не допускаются.
- Не входить в лабораторию в верхней одежде.
- Не оставлять включенными мобильные телефоны.
- Не ставить сумки, дипломаты и т.п. на рабочие столы; не загромождать проходы.
- Не нарушать регулировку средств измерений путем неосознанных действий.
- Бережно относиться к средствам технического оснащения. По окончании занятий привести в порядок рабочее место и средства измерений; отчет, методические материалы, полный комплект предметов и средств измерений оставить на рабочем месте.

### **3.5. Требования к содержанию отчета студента**

Отчет должен включать:

- титульный лист
- цели выполнения лабораторной работы;
- используемые материалы, технические средства;
- основную часть: описание методик, используемых при проведении измерений; результаты измерений, расчетов, наблюдений;
- ответы на контрольные вопросы;
- выводы.

Отчет сопровождается принципиальными, структурными схемами, таблицами с результатами вычислений и измерений, графиками, рисунками (по необходимости). Оценка за лабораторную работу выставляется на основании результатов работы и отчета, в соответствии с критериями оценивания.

## **4. Информационное обеспечение обучения**

### **Перечень рекомендуемых учебных изданий, интернет-ресурсов, дополнительной литературы**

#### **Основные источники:**

1. И.С. Опарин Основы технической механики. Москва: Академия, 2017г.

#### **Дополнительные источники:**

1. М.С. Мовнин и др. Основы технической механики: Политехника, 2017
2. В.П. Олофинская. Техническая механика: Форум, 2017
3. В.М.Чуркин. Решение задач по теоретической механике: Лань, 2017
4. Справочники и государственные стандарты

#### **Электронные ресурсы:**

1. Интернет-ресурс «Техническая механика». Форма доступа: [http://edu.vgasu.vrn.ru/SiteDirectory/UOP/DocLib13/Техническая механика.pdf](http://edu.vgasu.vrn.ru/SiteDirectory/UOP/DocLib13/Техническая%20механика.pdf); [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org)



## 5. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

### Практическое занятие № 1.

#### Определение опорных реакций балки.

**Цель работы:** систематизировать и закрепить знания по темам «Плоская система сходящихся сил» и «Плоская система произвольно расположенных сил». Освоить методы решения задач на равновесие тел под действием сходящихся, параллельных и произвольно расположенных сил, развить навыки и умения решения задач; определить реакции опор двухопорных и консольных балок; развить умения проверять решение задач.

**Задание:** определить усилия в шарнирно-стержневой системе; определить реакции опор.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4,3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №1** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

#### Нормативная и учебная литература

1. И.С. Опарин Основы технической механики. Москва: Академия, 2017г.

#### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

#### Теоретическое обоснование

Твердое тело называется свободным, если оно может перемещаться в пространстве в любом направлении. Твердое тело называется несвободным, если его перемещение в пространстве ограничено какими-либо другими телами. Все тела, которые так или иначе ограничивают перемещение данного тела, называют его связями. В природе нет абсолютного покоя, и тела, стремясь перемещаться в пространстве под действием внешних сил, сами действуют на препятствующие этому перемещению связи, вызывая в них равные по модулю, но противоположно направленные реакции связей.

В статике и сопротивлении материалов рассматривают состояние равновесия несвободных тел, опирающихся на неподвижные опоры или закрепленных в определенных точках. Возникающие в этих случаях реакции связей иначе называют опорными реакциями или реакциями опор.

В плоских конструкциях (балках, рамах и т.д.) встречаются три основных типа опор: шарнирно-подвижная (см. рис. 1.1), шарнирно-неподвижная (см. рис. 1.2), жесткая заделка (см. рис. 1.3).

**Шарнирно-подвижная** опора допускает поворот вокруг оси шарнира и линейное перемещение параллельно опорной плоскости. Если пренебречь трением на опоре и в шарнире, то реакция такой связи будет направлена перпендикулярно опорной плоскости и неизвестна только по модулю (одна неизвестная).

**Шарнирно-неподвижная** опора допускает только поворот вокруг оси шарнира и не допускает никаких линейных перемещений. Реакция такой опоры будет направлена перпендикулярно оси шарнира, модуль и направление ее заранее неизвестны (две неизвестные). Обычно при решении задач такую реакцию заменяют двумя взаимно перпендикулярными составляющими.

**Жесткая заделка** (защемление) не допускает ни линейных, ни угловых перемещений. Эту опору заменяют двумя взаимно перпендикулярными составляющими реактивной силы и реактивным моментом (три неизвестные, см. рис. 1.3, б). Реакции можно определять исходя из уравнений статики: 1) для консольных балок:

$$\Sigma M_A (F_i) = 0; \quad \Sigma F_{iz} = 0; \quad \Sigma F_{iy} = 0;$$

2) для балок и рам, имеющих две опоры, рекомендуется использовать уравнения равновесия плоской системы произвольно расположенных сил (см. рис. 1.4).

Последовательность определения реакций опор следующая:

$$\Sigma M_A (F) = 0 \Rightarrow R_{By};$$

$$\Sigma M_B (F) = 0 \Rightarrow R_A;$$

$$\Sigma F_{iz} = 0 \Rightarrow R_{Bz}, \text{ если ось } z \text{ не перпендикулярна } AB.$$

Если при решении задачи реактивная сила или реактивный момент получаются отрицательными, то их действительное направление противоположно принятому.

Уравнение  $\Sigma F_{iy} = 0$  используется для контроля.

В общем случае нагружения тело испытывает действие сил, произвольно расположенных в пространстве. Для равновесия сил, расположенных как угодно в пространстве, необходимо и достаточно, чтобы порознь равнялись нулю суммы проекций всех сил на каждую из трех произвольно выбранных, но не лежащих в одной плоскости координатных осей и суммы моментов всех сил относительно каждой из трех таких осей.

Уравнения равновесия имеют вид:

$$\Sigma M_x (F) = 0; \quad \Sigma M_y (F) = 0; \quad \Sigma M_z (F) = 0;$$

$$\Sigma F_x = 0; \quad \Sigma F_y = 0; \quad \Sigma F_z = 0.$$

В случае определения реакций тела, имеющего ось вращения, достаточно составить пять уравнений статики:

$$\Sigma F_{ix} = 0$$

$$\Sigma F_y =$$

$$\Sigma M_x (F_t) = 0;$$

$$\Sigma M_y (F) = 0;$$

$$\Sigma M_z (F) = 0.$$

Шестое уравнение,  $\Sigma F_{iz} = 0$ , обращается в тождество, так как проекции на ось  $z$  всех сил рассматриваемой системы равны нулю.

Совокупность сил, действующих на элементы конструкций, принято называть **нагрузками**. По отношению к объекту действия нагрузки являются внешними силами. Реакции опор также относятся к внешним силам. По способу приложения различают следующие виды нагрузок (см. рис. 1.4):

- сосредоточенная сила  $F$  (Н, кН);
- распределенная нагрузка, характеризующаяся показателем интенсивности  $q$  (кН/м, Н/м);
- сосредоточенный момент (пара сил)  $M$  (Нм, кНм).

### Методическое обеспечение

1. Карточки-задания.
2. Алгоритм определения реакций связей и реакций опор балок.

#### Алгоритм определения реакции связей

1. Выделить тело или узел, равновесие которого рассматривается в данной задаче.
2. Выделить все действующие на тело нагрузки (активные силы) и изобразить их в виде векторов с указанием точек приложения.
3. Освободить тело от связей, заменяя их реакциями, и изобразить эти реакции в виде векторов.
4. В зависимости от типа получившейся системы применить соответствующие условия равновесия и найти неизвестные. Универсальным является аналитический метод решения.

Алгоритм определения реакций опор балок

1. Составить расчетную схему балки (рамы) с указанием нагрузок и размеров:
  - заменить опоры реакциями опор;
  - заменить распределенную нагрузку интенсивностью  $q$  одной сосредоточенной силой  $F_q = qa$ , кН.
2. Составить уравнения равновесия балки (рамы):
  - двухопорной:  $\Sigma M_A (F_i) = 0$ ;  $\Sigma M_B (F_i) = 0$ ;  $\Sigma F_{iz} = 0$ , где  $A, B$  — точки опор; ось  $z$  не перпендикулярна  $AB$ ;
  - консольной:  $\Sigma M_A (F_i) = 0$ ;  $\Sigma F_{iy} = 0$ ;  $\Sigma F_{iz} = 0$ , где  $A$  — точка в заделке.
3. Проверить правильность определения реакций:
  - для двухопорных балок:  $\Sigma F_{iy} = 0$ ;
  - для консольных балок:  $\Sigma M_B (F) = 0$ .

Примеры расчета

**Пример 1.** К шарниру  $B$  приложены силы  $F_1 = 40$  кН и  $F_2 = 20$  кН. Углы указаны на рис. 1.6, а ( $\alpha = 80^\circ$ ;  $\beta = 20^\circ$ ). Определить усилия в стержнях  $AB$  и  $BC$ , имеющих в точках  $A, B$  и  $C$  шарниры.

#### Решение

Рассмотрим равновесие шарнира  $B$  (рис. 1.6, б). Освободимся от связей. Предположим, что оба стержня испытывают растяжение,

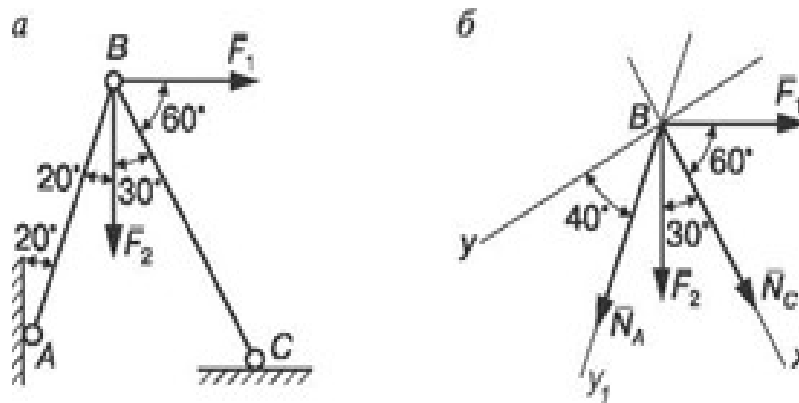


Рис. 1.6. Шарнирно-стержневая система

и заменим их усилиями  $N_A$  и  $N_C$ . Таким образом, на шарнир действует уравновешенная система четырех сходящихся сил  $F_1, F_2, N_A, N_C$ . Ось  $x$  направим по неизвестной силе  $N_C$ , и поэтому в уравнение проекций всех сил на ось  $y$  войдет лишь одна неизвестная. Покажем углы, образуемые силами с одной из осей координат:

$$\Sigma F_{ix} = 0; N_C + F_2 \cos 30^\circ + N_A \cos 50^\circ + F_1 \cos 60^\circ = 0;$$

$$\Sigma F_y = 0; N_A \cos 40^\circ + F_2 \cos 60^\circ - F_1 \cos 30^\circ = 0.$$

Решая эти уравнения, находим  $N_A$  и  $N_C$ :

$$N_A = \frac{F_1 \cos 30^\circ - F_2 \cos 60^\circ}{\cos 40^\circ} = \frac{40 \cdot 0,866 - 20 \cdot 0,5}{0,766} = 32,2 \text{ кН};$$

$$N_C = -(F_2 \cos 30^\circ + N_A \cos 50^\circ + F_1 \cos 60^\circ) = \\ = -(20 \cdot 0,866 + 32,2 \cdot 0,64 + 40 \cdot 0,5) = -57,9 \text{ кН}.$$

Для проверки составим уравнения проекций всех сил на ось  $Y_1$ , направленную по неизвестной  $N_A$ :

$$\Sigma F_{iy1} = 0; N_A + F_2 \cos 20^\circ + N_C \cos 50^\circ - F_1 \cos 70^\circ = 0 \quad (32,2 + 20 \cdot 0,94 + (-57,9) - 40 \cdot 0,342 = 0); \quad 51 - 51 = 0).$$

Усилия в стержнях  $AB$  и  $BC$  определены правильно.

**Пример 2.** На двухопорную одноконсольную балку, имеющую в точке  $A$  шарнирно-неподвижную опору, а в точке  $B$  шарнирно-подвижную опору, действуют сосредоточенные силы  $F_1$  и  $F_2$ , сосредоточенный момент  $m$  и равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $q$ . Определить реакции опор (рис. 1.7).

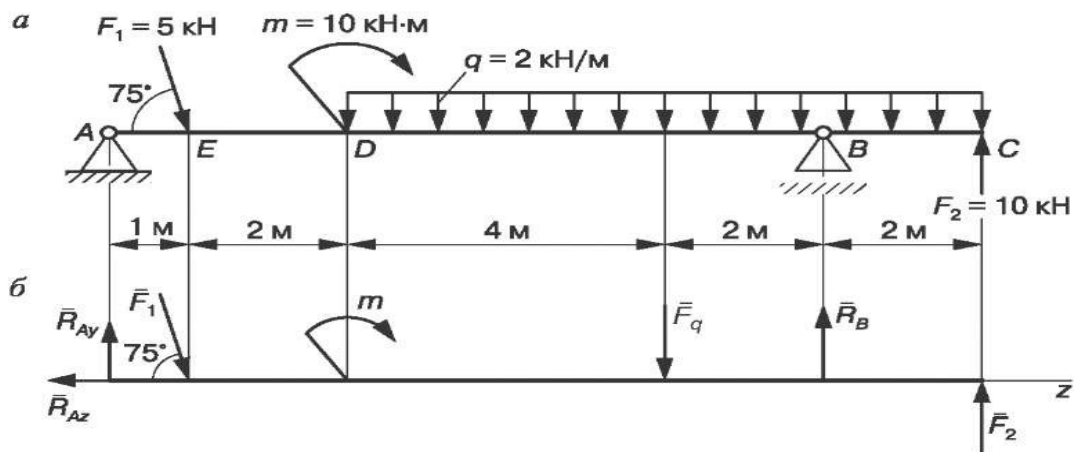
### Решение

Заменим распределенную нагрузку, действующую на участке балки  $DC$  длиной  $l = 8$  м, равнодействующей. Так как нагрузка равномерно распределена по всей длине участка, то

Рис. 1.7. Двухопорная консольная балка

ее равнодействующая  $Fq = ql = 2 \cdot 8 = 16$  кН приложена в середине участка  $DC$  (рис. 1.7, а).

Шарнирно-подвижную опору  $B$  заменяем реакцией  $R_B$ , направленной по нормали к опорной плоскости, а шарнирно-неподвижную опору  $A$  — составляющими реакции опоры  $R_{Ay}$  и  $R_{Az}$  (рис. 1.7, б).



Составляем три уравнения равновесия балки:

$$\sum M_A(F_i) = 0; F_1 \cdot 1 \cdot \sin 75^\circ + F_q \cdot 7 - R_B \cdot 9 - F_2 \cdot 11 + m = 0;$$

$$\sum M_B(F_i) = 0; R_{Ay} \cdot 9 - F_1 \sin 75^\circ \cdot 8 - F_q \cdot 2 - F_2 \cdot 2 + m = 0;$$

$$\sum F_{iz} = 0; F_1 \cos 75^\circ - R_{Az} = 0.$$

Решаем уравнения и определяем величину реакций опор:

$$R_{Ay} = \frac{F_1 \cdot 1 \cdot \sin 75^\circ \cdot 8 + F_q \cdot 2 + F_2 \cdot 2 - m}{9} =$$

$$= \frac{5 \cdot 0,966 \cdot 8 + 16 \cdot 2 + 10 \cdot 2 - 10}{9} = 8,9 \text{ кН};$$

$$R_B = \frac{F_1 \cdot 1 \cdot \sin 75^\circ + F_q \cdot 7 - F_2 \cdot 11 + m}{9} =$$

$$= \frac{5 \cdot 1 \cdot 0,966 + 16 \cdot 7 - 10 \cdot 11 + 10}{9} = 1,87 \text{ кН};$$

$$R_{Az} = F_1 \cos 75^\circ$$

Проверка:  $\sum F_{iy} = 0; R_{Ay} - F_1 \cos 15^\circ - F_q + R_B + F_2 = 0$

$$(8,96 - 5 \cdot 0,966 - 16 + 1,87 + 10 = 0; 20,83 - 20,83 = 0).$$

Реакции опор определены правильно.

**Пример 3.** Жестко заделанная у правого конца балка АВ нагружена равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью  $q_1 = 2 \text{ кН/м}$  и  $q_2 = 4 \text{ кН/м}$ , сосредоточенной силой  $F_1 = 5 \text{ кН}$  и сосредоточенным моментом  $m = 10 \text{ кНм}$ . Определить реакции заделки (рис. 1.8).

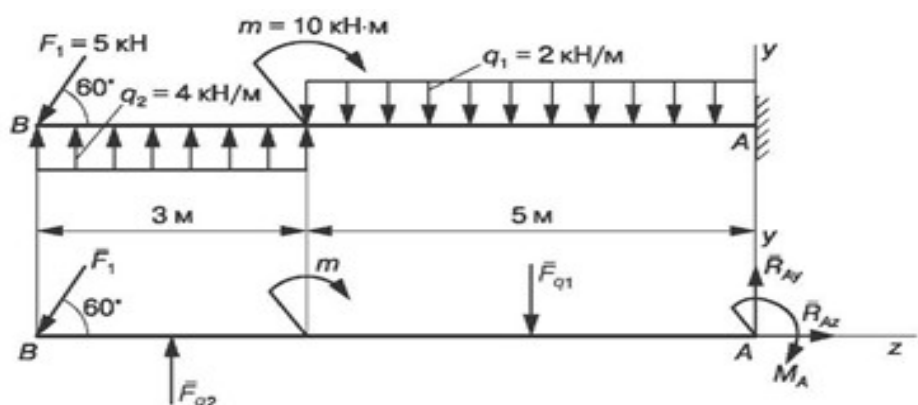


Рис. 1.8. Консольная балка

Решение

Сосредоточенные силы  $F_{q1} = q_1 \cdot 5 = 2 \cdot 5 = 10$  кН;  $F_{q2} = q_2 \cdot 3 = 4 \cdot 3 = 12$  кН. Освободив балку от связи, заменяем ее двумя взаимно перпендикулярными составляющими  $R_{Ay}$  и  $R_{Az}$  реакции  $R_A$ , а также реактивным моментом  $M_A$ .

Составляем уравнения равновесия балки (I вид):

$$\Sigma M_A(F) = 0; M_A - F_{q1} \cdot 2,5 + m + F_{q2} \cdot 6,5 - F_1 \cos 30^\circ \cdot 8 = 0;$$

$$\Sigma F_{iy} = 0; R_{Ay} - F_{q1} + F_{q2} - F_1 \cos 30^\circ = 0;$$

$$\Sigma F_{iz} = 0; -F_1 \cos 60^\circ + R_{Az} = 0.$$

Решая эти уравнения, находим:

$$M_A = 10 \cdot 2,5 - 10 - 12 \cdot 6,5 + 5 \cdot 0,866 \cdot 8 = -28,36 \text{ кН-м};$$

$$R_{Ay} = 10 - 12 + 5 \cdot 0,866 = 2,33 \text{ кН}; R_{Az} = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ кН}.$$

Для проверки правильности определения можно использовать уравнение моментов относительно точки В:

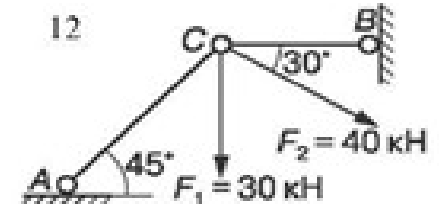
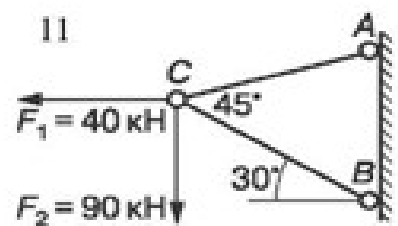
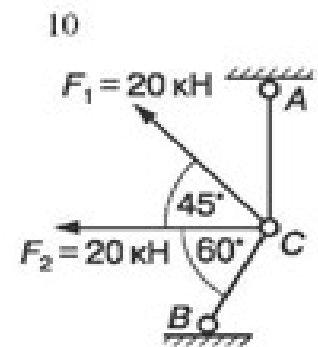
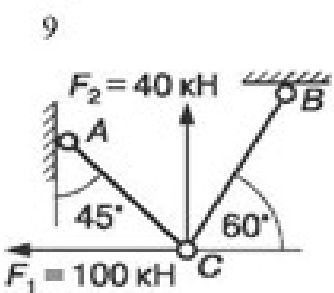
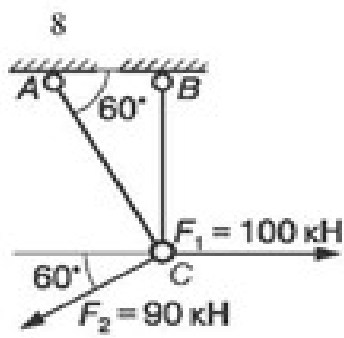
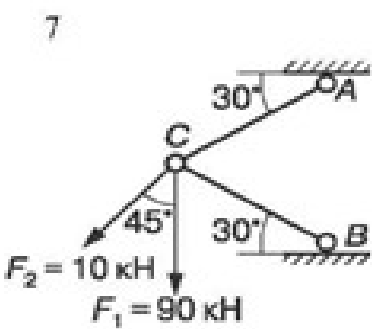
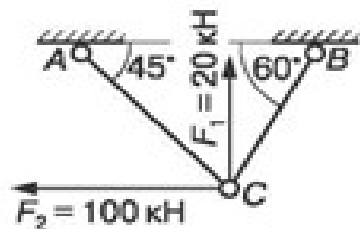
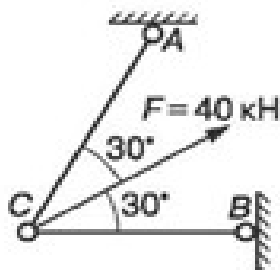
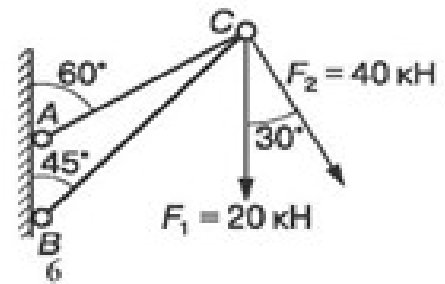
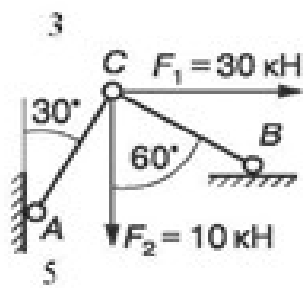
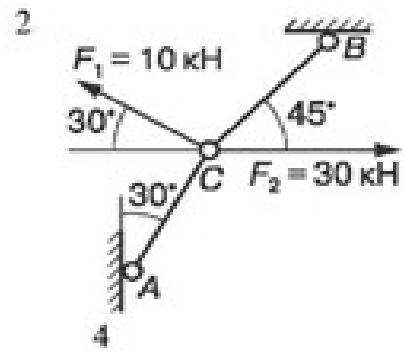
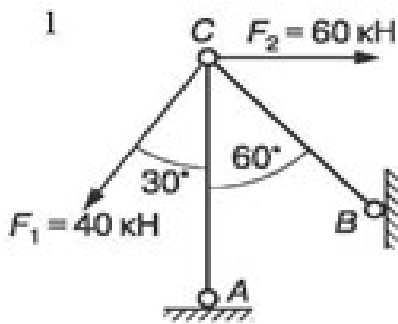
$$\begin{aligned} \Sigma M_B(F_i) = 0; & - F_{q2} \cdot 1,5 + m + F_{q1} \cdot 5,5 + M_A - R_A \cdot 8 = \\ & = -12 \cdot 1,5 + 10 + 10 \cdot 5,5 - 28,36 - 2,33 \cdot 8 = 65 - 65 = 0; 0 = 0. \end{aligned}$$

### Контрольные вопросы

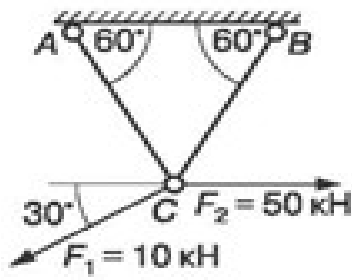
1. Чем отличается несвободное тело от свободного?
  2. Можно ли, не изменяя состояния, всякое несвободное тело рассматривать как свободное?
  3. Какие уравнения равновесия и сколько их можно составить для плоской системы сходящихся сил?
  4. В чем состоят необходимые и достаточные условия равновесия плоской системы произвольно расположенных сил?
  5. Приведите различные формы уравнений равновесия для плоской системы произвольно расположенных сил.
  6. Приведите различные формы уравнений равновесия для плоской системы параллельных сил.
  7. Как рационально выбрать оси координат и центр моментов при решении задач на равновесие тел под действием плоской системы сил?
- Задание на дом: по сборнику заданий [1] повторить гл. 1; выполнить расчетно-графические работы (РГР) 1.1; 1.2, п. 1.

### Карточки-задания

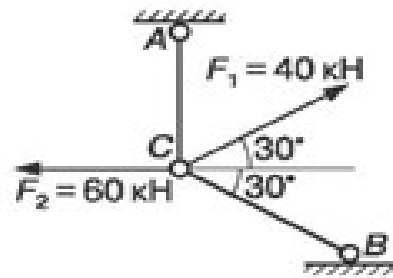
1. Определить усилия в стержнях АС и ВС.



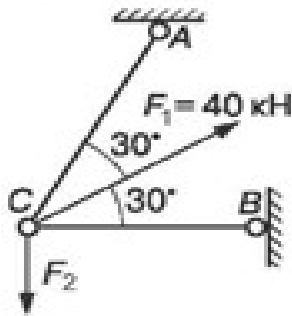
13



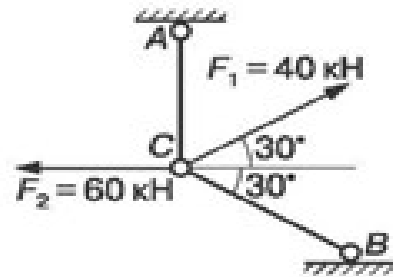
14



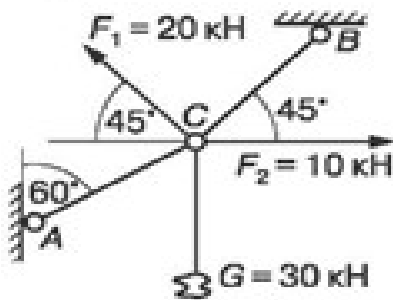
15



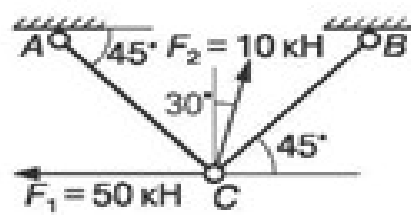
16



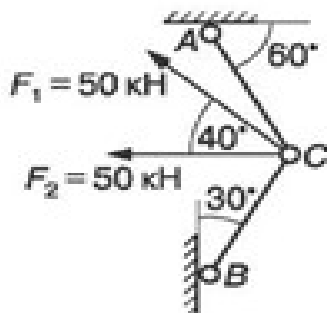
17



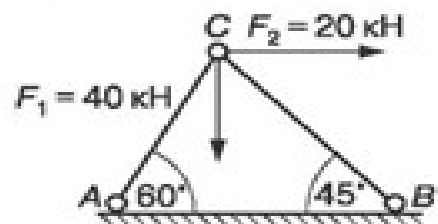
18



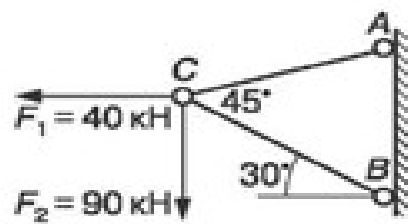
19



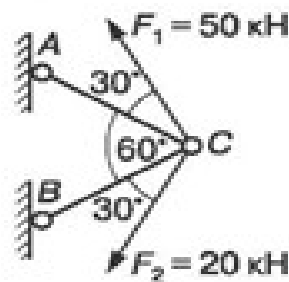
20



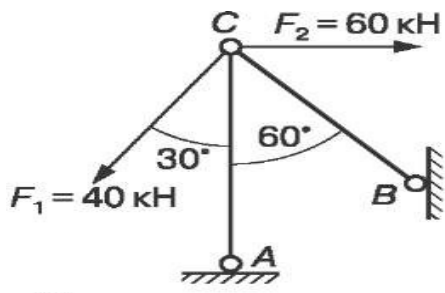
21



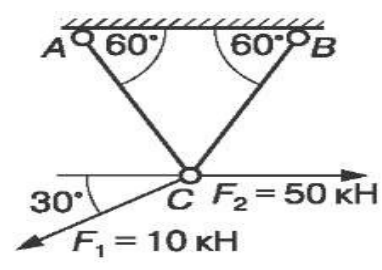
22





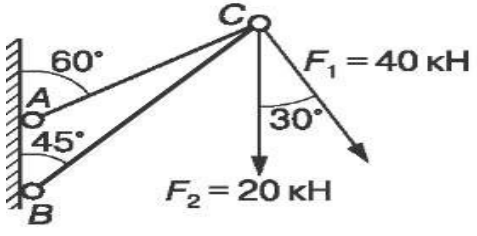


25

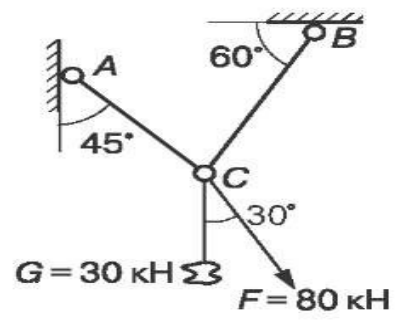


26

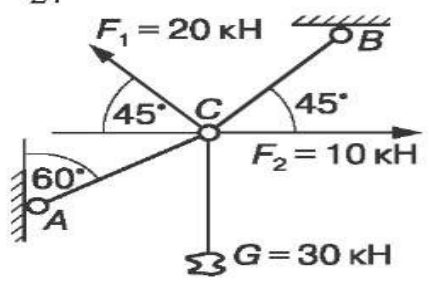
2.



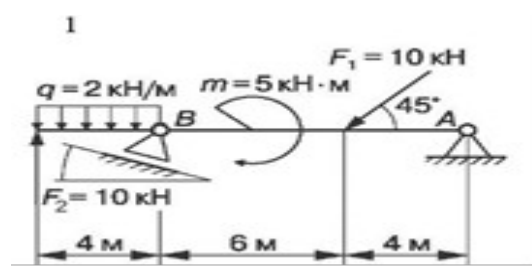
27



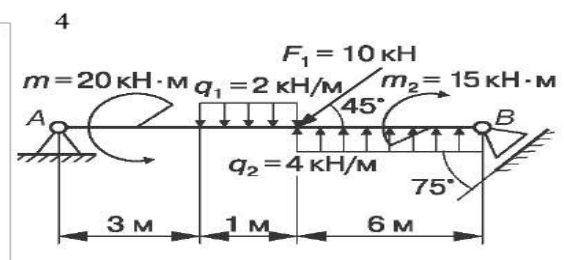
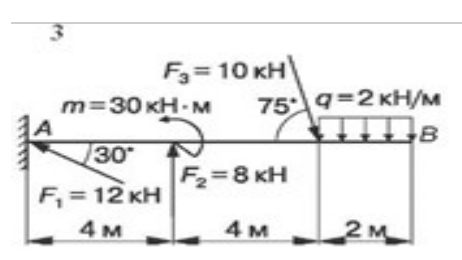
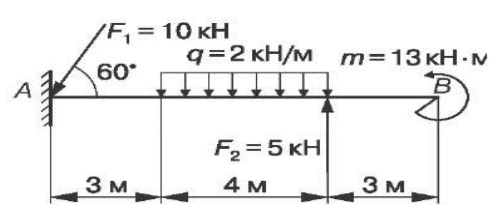
28



Определить опорные реакции балок

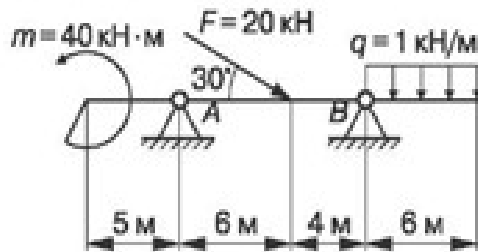


2

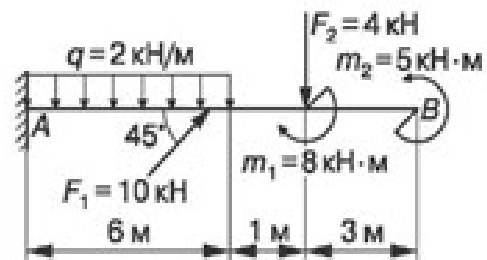




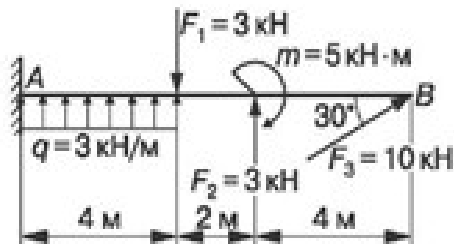
5



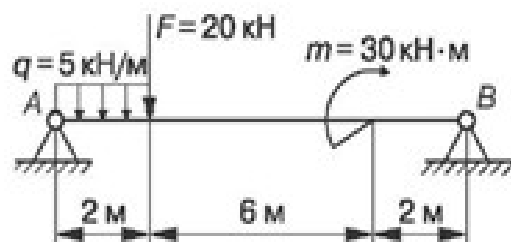
6



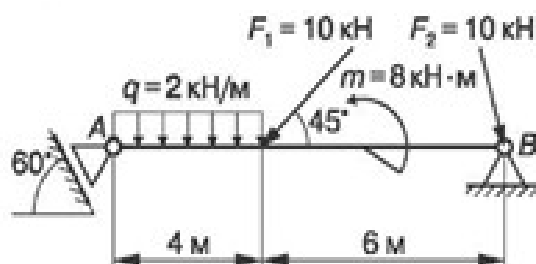
7



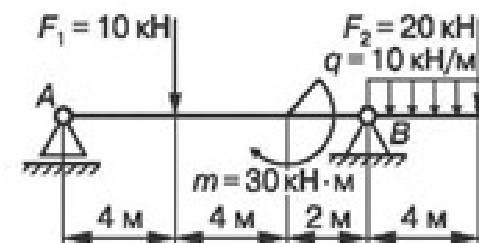
8



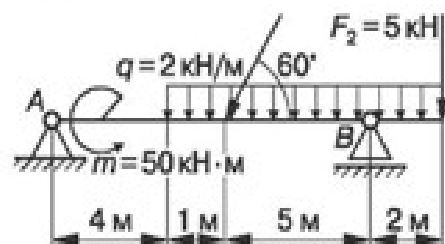
9



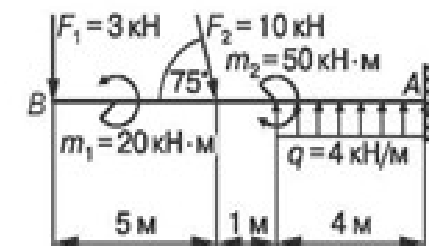
10



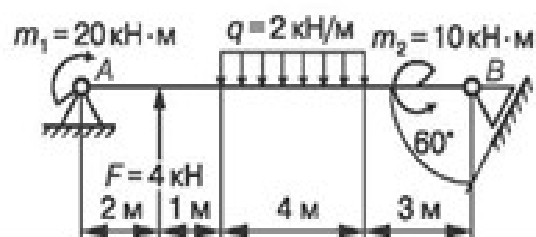
11



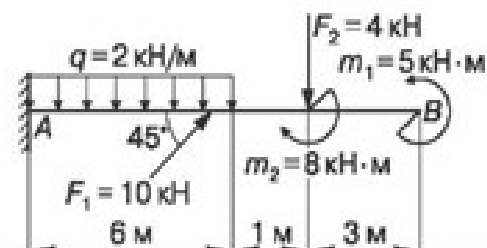
12



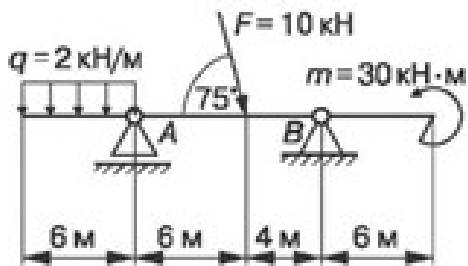
13



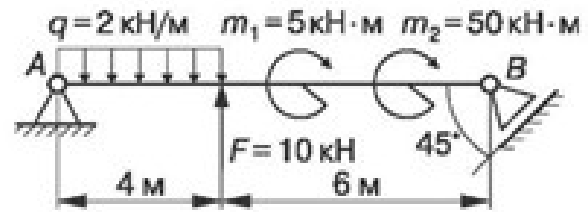
14



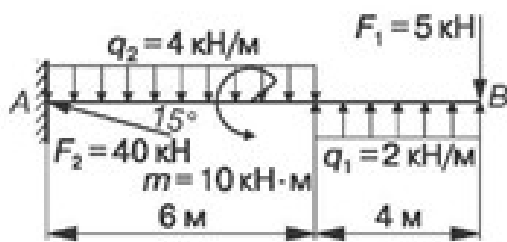
15



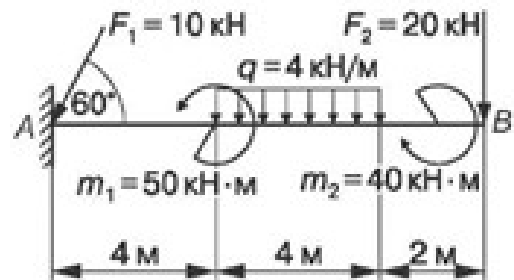
16



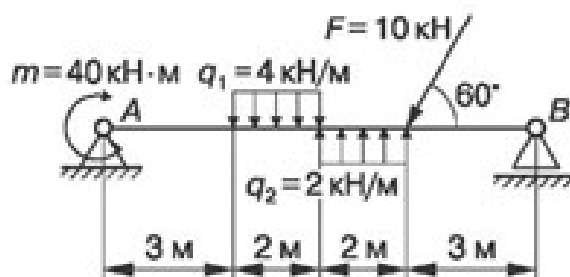
17



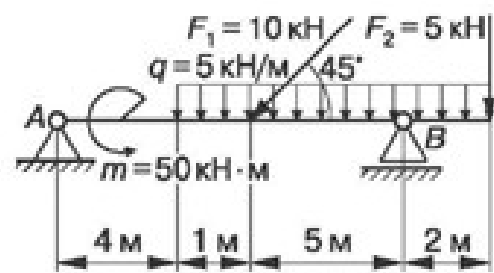
18



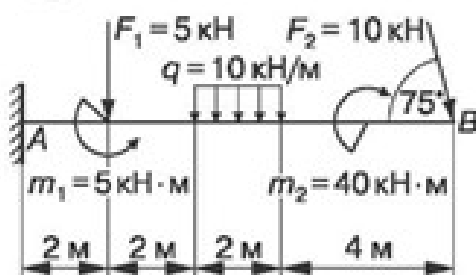
19



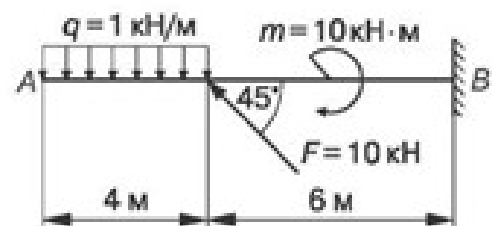
20



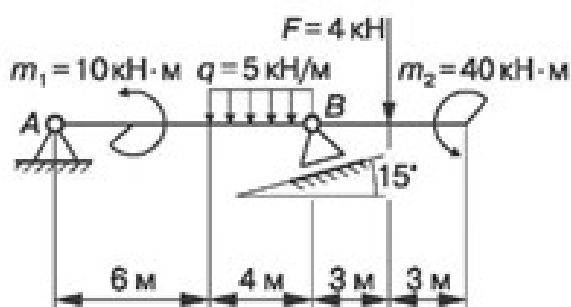
21



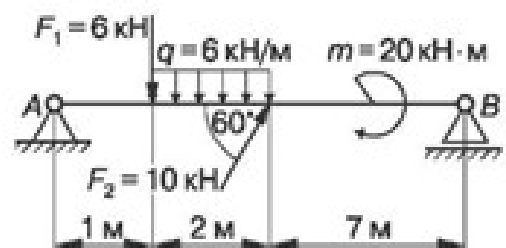
22

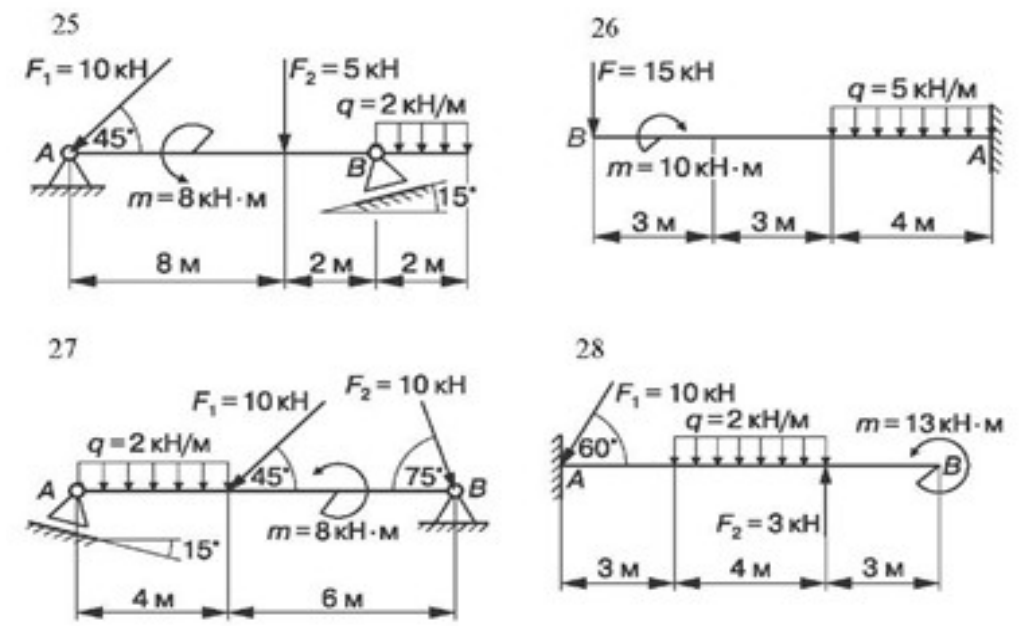


23



24





3. Выполнить задания 1, 2 Приложения.

## Практическое занятие № 2.

### Определение центра тяжести сложной фигуры.

**Цель работы:** развить умения по определению координат центров тяжести сложных и составных сечений.

**Задание:** определить координаты центров тяжести плоских сечений.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4,3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №2** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

### Нормативная и учебная литература

1. Опарин И.С. Основы технической механики. Москва: Академия, 2017 г.
2. Опорный конспект лекций по дисциплине «Техническая механика»,
3. Соколовская В.П. Техническая механика. Лабораторный практикум. М.: Академия, 2017 г.

### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением практического занятия необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

### Методическое обеспечение

1. ГОСТ 8239-89 «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент».
2. ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент».
3. ГОСТ 8509-93 «Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент».
4. ГОСТ 8510-86 «Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. Сортамент».
5. Расчетные схемы сложных и составных сечений

### Теоретическое обоснование

Статический момент в зависимости от положения оси, относительно которой он вычисляется, может быть положительным, отрицательным и равным нулю.

Статический момент сложного сечения равен алгебраической сумме статических моментов его составных частей относительно одной и той же оси.

Координаты центра тяжести  $X_c$ ,  $Y_c$  сложного сечения определяются по формулам:

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

### Порядок выполнения работы

1. Для сложных сечений:

- разбить сечение на простые фигуры, положения центров тяжести которых известны;
- выбрать положение вспомогательных осей  $x_0$ ,  $y_0$ , относительно которых вычисляются статические моменты составных частей  $A_1 X_1$ ,  $A_1 Y_1$ ;
- вычислить координаты центра тяжести и показать на рисунке;
- расчеты оформить в виде табл. 1.2.

№ фигуры	$X_i$ , см	$Y_i$ , см	$A_i$ , см <sup>2</sup>	$A_i X_i$ , см <sup>3</sup>	$A_i Y_i$ , см <sup>3</sup>
I					
II					
III					
			$\sum A_i =$	$\sum A_i X_i =$	$\sum A_i Y_i =$

2. Для составных сечений:

- вычертить сечение в масштабе;
- выписать из сортамента (ГОСТ 8239-89, ГОСТ 8240-97, ГОСТ 8509-93, ГОСТ 8510-86\*) характеристики профилей проката (двутавр, швеллер, уголок равнополочный, уголок неравнополочный);
- определить координаты центров тяжести  $X_i$ ,  $Y_i$  каждого элемента сечения в выбранной системе координат;
- определить и указать на рисунке координаты центра тяжести составного сечения.

### Примеры расчета

Пример 1. Определить положение центра тяжести для указанного сечения (рис. 1.12, а).

Исходные данные				Ось
Н, мм	В, мм	d, мм	R, мм	
60	140	20	40	$Y_c$

является осью симметрии сечения, следовательно,  $X_c = 0$ .

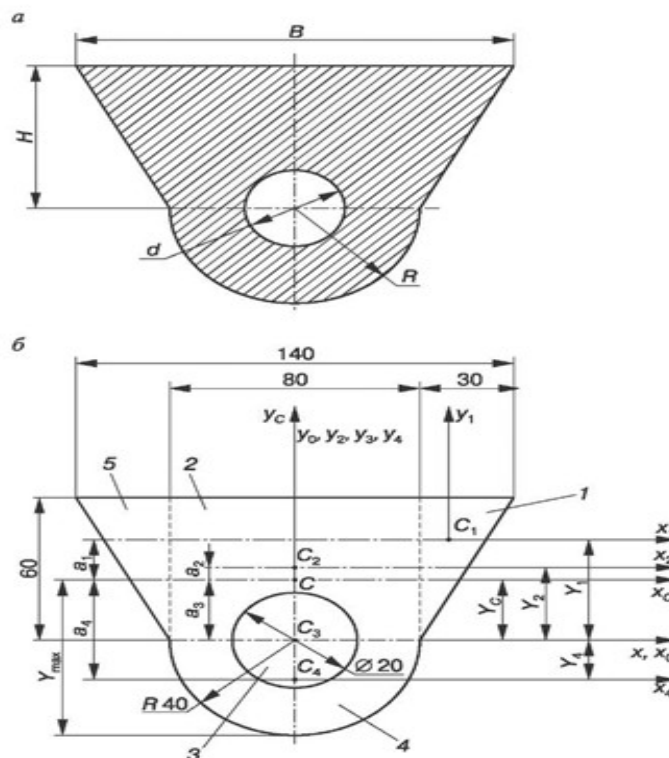
Для нахождения положения точки С, т.е. вычисления  $Y_c$  (рис. 1.12, б):

а) разбиваем сечение на простые элементы 1, 2, 3, 4, 5;

б) показываем центры тяжести каждого элемента сечения, тх.  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ ;

в) определяем  $Y_i, A_i$  и  $A_i Y_i$  для каждого элемента сечения, результаты записываем в табл. 1.3;

	Номер элемента					5 $\Sigma$ i=1
	1	2	3	4	5	
$A, \text{мм}^2$	900	4800	—314	2512	900	8798
$Y, \text{мм}$	40	30	0	—16,96	40	
$A Y, \text{мм}^3$	36 000	144 000	0	—42603,52	36 000	173396,4



$$\bar{Y} = \frac{\Sigma A_i Y_i}{\Sigma A_i} = \frac{A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 + A_4 Y_4 + A_5 Y_5}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} = \frac{173396,4}{8798} = 19,71 \text{ мм.}$$

По этим данным наносим точку С на рис. 1.12, б.

**Пример 2.** Определить координаты центра тяжести составного сечения (рис. 1.13, а).

**Решение**

Вычерчиваем сечение в масштабе (рис. 1.13, б).

Разбиваем сечение на **простые** элементы.

Выписываем данные элементов:

*I* - уголок неравнополочный № 14/9, ГОСТ 8510-86\*:  $B = 140$  мм;  $b = 90$  мм;  $A_1 = 18,00$  см<sup>2</sup>;  $X_0 = 2,03$  см;  $Y_0 = 4,49$  см;

*II* - полоса  $b \times h = 6 \times 290$ ;  $A_2 = 17,4$  см<sup>2</sup>;

*III* - швеллер № 20а, ГОСТ 8240-97:  $h = 200$  мм;  $b = 80$  мм;  $A_3 = 25,2$  см<sup>2</sup>;  $z_0 = 2,28$  см.

Проводим вспомогательные оси  $X_0, Y_0$ , которые совпадают с осями полосы  $x_2, y_2$ .

Определяем координаты центров тяжести каждого элемента в выбранной системе координат:

$$X = -i + 4,49 = -4,79 \text{ см}; \quad Y = -i - 2,03 = -12,47 \text{ см};$$

$$X_2 = 0; \quad Y_2 = 0;$$

$$X_3 = i + 2,28 = 2,58 \text{ см}; \quad Y_3 = i \frac{29}{2} - \frac{20}{2} = 4,5 \text{ см}.$$

<sup>3</sup>Находим суммарную площадь всего сечения:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i = A_1 + A_2 + A_3 = 18,0 + 17,4 + 25,2 = 60,6 \text{ см}^2.$$

Определяем статические моменты сечения относительно осей  $X_0, Y_0$ :

$$S_{x0} = \sum_{i=1}^n A_i Y_i = A_1 Y_1 + A_2 Y_2 + A_3 Y_3 = 18,0 \cdot (-12,47) + 17,4 \cdot 0 + 25,2 \cdot 4,5 = -111,06 \text{ см}^3;$$

$$S_{y0} = \sum_{i=1}^n A_i X_i = A_1 X_1 + A_2 X_2 + A_3 X_3 = 18,0 \cdot (-4,79) + 17,4 \cdot 0 + 25,2 \cdot 2,58 = -21,20 \text{ см}^3.$$

Вычисляем координаты центра тяжести сечения:

$$X_C = \frac{S_{y0}}{A} = \frac{-21,2}{60,06} = -0,35 \text{ см}; \quad Y_C = \frac{S_{x0}}{A} = \frac{-111,06}{60,06} = -1,833 \text{ см}.$$

По этим данным наносим точку  $C$  — центр тяжести всего сечения на рис. 1.13, в.



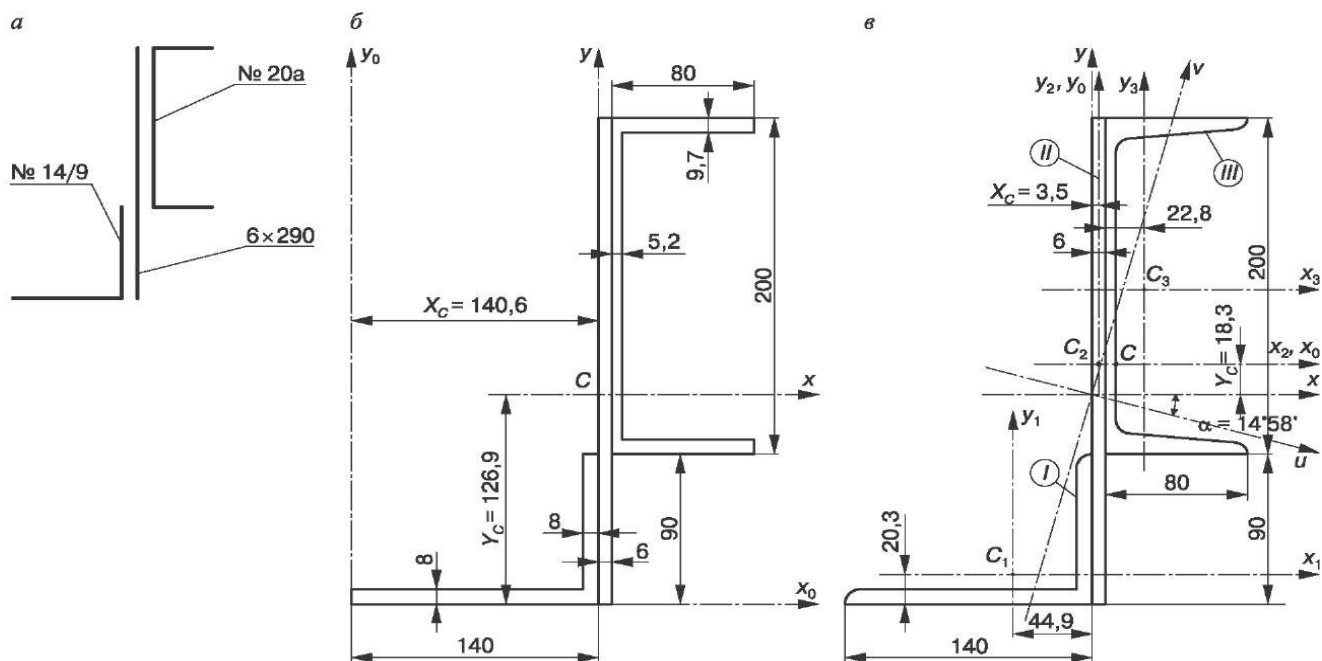


Рис. 1.13. Составное сечение

### Контрольные вопросы

1. Чему равен статический момент площади плоской фигуры относительно оси, проходящей через центр тяжести сечения?
2. Как определяется положение центра тяжести сложного сечения?
3. Как найти центр тяжести сечения, имеющего: а) ось симметрии; б) центр симметрии?
4. В каком случае положительное значение статического момента площади плоской фигуры в соответствии с рис. 1.14 относительно оси  $y$  наибольшее?

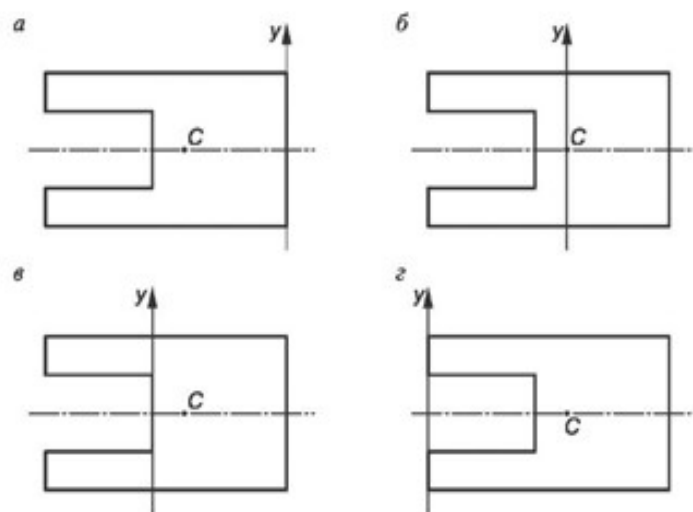


Рис 1.14

5. В каком случае статический момент плоской фигуры в соответствии с рис. 1.14: а) равен нулю; б) отрицателен относительно оси  $y$ ?

## Практическое занятие № 3.

### Расчёт коэффициента трения.

**Цель работы:** определить приближенное значение коэффициента трения скольжения различных материалов с помощью наклонной плоскости.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4,3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №3** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

#### Нормативная и учебная литература

1. Опарин И.С. Основы технической механики. Москва: Академия, 2017 г.
2. Опорный конспект лекций по дисциплине «Техническая механика»,
3. Соколовская В.П. Техническая механика. Лабораторный практикум. М.: Академия, 2014 г.

#### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением практического занятия необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

#### Теоретическое обоснование

**Трением** называется сопротивление, возникающее при перемещении одного тела по поверхности другого. Возникновение трения обусловлено шероховатостью поверхности и силами молекулярного сцепления. В зависимости от характера перемещения одного тела по поверхности другого различают два рода трения: трение скольжения, или трение первого рода; трение качения, или трение второго рода.

Трение является одним из самых распространенных явлений природы и играет большую роль в технике. На трении основана работа фрикционных, канатных, ременных передач, тормозных устройств, прокатных станов, фрикционных муфт и т.п. Трение обеспечивает сцепление с землей и, следовательно, работу автомобилей и других транспортных машин. В некоторых случаях трение препятствует движению и приводит к бесполезной затрате работы. Когда одно тело с силой тяжести  $G$  опирается на другое тело (рис. 1.15), то кроме нормальной реакции  $N$  при действии сдвигающей силы  $F$  возникает касательная реакция — сила трения  $F_f$ . С увеличением сдвигающей силы сила трения также возрастает и достигает предельной величины (рис. 1.16, а), затем с началом движения сила трения несколько уменьшается. Она всегда направлена в сторону, противоположную перемещению тела.

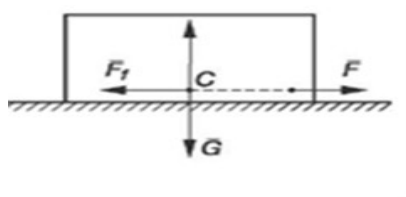


Рис. 1.15. Трение скольжения

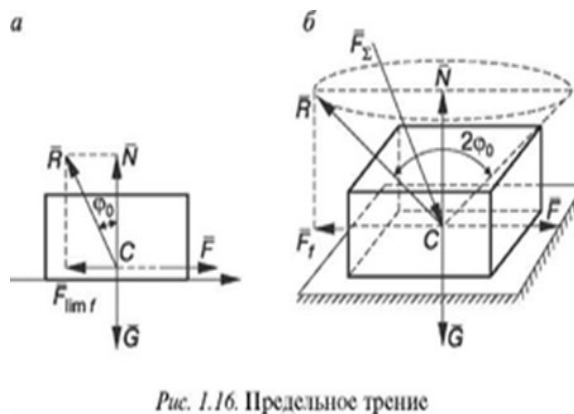


Рис. 1.16. Предельное трение

**Трением скольжения** называется сопротивление скольжению одного тела по поверхности другого. Трение представляет собой сложный комплекс механических (сдвиг, смятие выступов поверхности и контакта), электрических и химических явлений. Сила трения скольжения зависит не только от материала, шероховатости поверхности, давления и относительной скорости скольжения, но и от целого ряда других причин (влажности, температуры). Вследствие крайней сложности этого физико-механического явления и трудности оценки многочисленных факторов, влияющих на него, точных общих законов трения до сих пор установить не удалось. На практике в тех случаях, когда не требуется большой точности, пользуются эмпирическими законами Амонтона — Кулона. Если необходима большая точность, то приходится определять силу трения опытным путем для каждой данной пары трущихся поверхностей и конкретных условий трения.

#### Законы Амонтона — Кулона

1. Сила трения пропорциональна силе нормального давления.
2. Коэффициент трения зависит от рода трущихся тел и физического состояния трущихся поверхностей.
3. Коэффициент трения трущихся тел из одинаковых материалов в большинстве случаев больше, чем тел из разнородных материалов.
4. Коэффициент трения не зависит от площади трущихся поверхностей. При значительных давлениях площадь поверхностей начинает влиять на коэффициент трения.
5. Коэффициент трения покоя для большинства тел больше, чем коэффициент трения скольжения.
6. Коэффициент трения скольжения зависит от скорости взаимного перемещения трущихся тел.

Отношение предельной силы трения к нормальной силе давления называется **статическим коэффициентом трения скольжения**:

$$f_0 = \frac{F_{lim f}}{N},$$

где  $f_0$  — безразмерная величина, так как единицей измерения  $F_{lim f}$  и  $N$  является ньютон (Н).

Сила трения отклоняет полную реакцию  $R$  от нормали на угол  $\phi_0$  — угол трения покоя, образованный направлением суммарной реакции  $R$  с направлением нормальной реакции  $N$ . Тангенс угла трения покоя равен статическому коэффициенту трения:

$$\operatorname{tg} \phi_0 \dot{=} \frac{F_{\text{lim}} f}{N} = \dot{=} j_0$$

Отношение силы трения при движении к силе нормального давления называется **динамическим коэффициентом трения скольжения**. Он несколько меньше статического коэффициента трения скольжения. Коэффициент трения скольжения определяется опытным путем различными способами, но наиболее часто при помощи наклонной плоскости.

Равнодействующая силы трения и силы нормального давления называется **полной реакцией опорной поверхности**. Если вектор  $R$ , изображающий полную реакцию, вращать вокруг оси, перпендикулярной плоскости соприкосновения тел, получится так называемый конус трения (рис. 1.16, б). Угол при вершине конуса равен двойному углу трения. Если равнодействующая

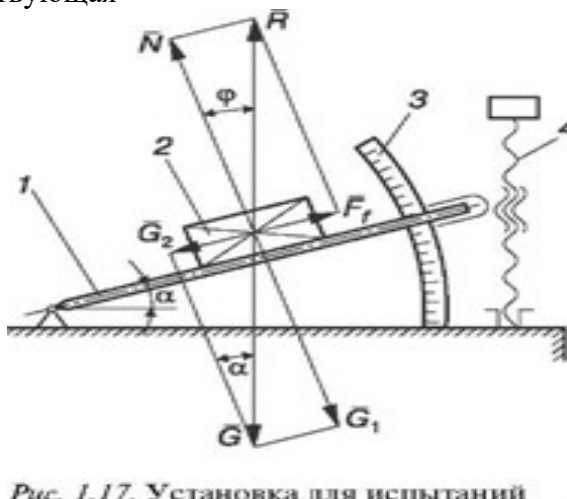


Рис. 1.17. Установка для испытаний

всех сил, приложенных к телу, образует с нормалью угол, меньший, чем угол трения  $\phi_2$ , т.е. линия действия равнодействующей находится внутри конуса трения, то данная сила не сможет вывести тело из состояния равновесия, какой бы большой она ни была. Вывести тело из состояния равновесия можно только в том случае, если линия равнодействующей проходит вне конуса трения, т.е. образует с нормалью угол, больший угла трения  $\phi_0$ . Определение коэффициента трения скольжения на наклонной плоскости

### Испытательное оборудование

Величина угла наклона  $\alpha$  отсчитывается по шкале 3 (рис. 1.17). При увеличении угла наклона плоскости 1 вращением винта 4 составляющая силы тяжести  $G_2$ , направленная параллельно наклонной плоскости, возрастает, и сила трения покоя  $F_f$  соответственно увеличивается. При угле наклона плоскости, равном углу трения ( $\alpha = \phi$ ), сила трения достигает предельной величины; при  $\alpha > \phi$  груз 2 переходит из состояния покоя в состояние движения.

Измерив угол  $\alpha$  в момент начала движения, можно определить угол трения  $\phi$ . Тангенс этого угла дает значение коэффициента трения  $f$ :

$$f = \operatorname{tg} \phi.$$

Надо отметить, что для одной и той же пары материалов коэффициент трения может меняться в 5—10 раз в разных условиях.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством установки для определения коэффициента трения скольжения по наклонной плоскости.
2. Определить силу тяжести груза.
3. Подготовить пластины и груз к испытанию: поверхности контакта протереть тряпочкой, смоченной в бензине, и просушить.
4. Установить груз на плоскости и при помощи рукоятки увеличивать угол подъема до тех пор, пока под действием собственной силы тяжести груз не начнет двигаться.
5. Зафиксировать винтом положение наклонной плоскости и по шкале определить угол ее наклона  $\alpha$ . Для каждой пары материалов опыт повторить не менее трех раз.
6. Вычислить коэффициент трения скольжения для выбранных пар материалов и сравнить с табличным значением. Вычислить ошибку:  $\delta = \frac{f_t - f_{ex}}{f_t} 100\%$ .
7. Оформить отчет.

### Отчет по работе

Представить отчет в следующей форме.

**Цель работы:** определить значение коэффициента трения скольжения различных материалов и силы трения.

1. Схема установки.
2. Таблица результатов испытаний (табл. 1.4).

№ п/п	Материал пластины	Материал груза	Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha$ , град	Коэффициент трения $f = \operatorname{tg}\phi$	Сила трения $F_f = fG \cos \alpha$
1			1- й ЗАМЕР 2- й ЗАМЕР 3- й ЗАМЕР СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ		
2			1- й ЗАМЕР 2- й ЗАМЕР 3- й ЗАМЕР СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ		
3			1- й ЗАМЕР 2- й ЗАМЕР 3- й ЗАМЕР СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ		

### Определение коэффициента трения скольжения на горизонтальной плоскости

**Испытательное оборудование** На тележку 2 (рис. 1.18) устанавливают пластины из различных материалов, а к грузу 5 крепят при помощи двух штырей диски также из различных материалов. Груз 5 тросиком связан с динамометром 6. При выполнении работы включается электродвигатель 1

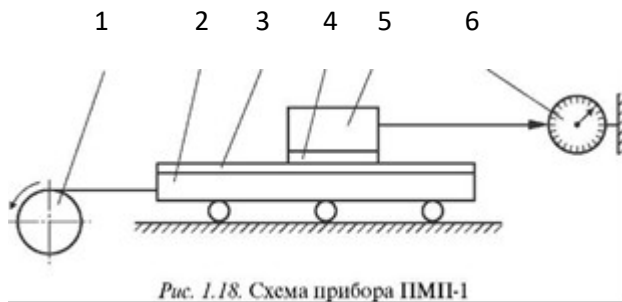


Рис. 1.18. Схема прибора ПМП-1

через понижающий трансформатор в сеть 220 В, а затем переключателем, установленным на стенке прибора, приводится в движение тележка 2. При ее движении между пластиной 3 и диском 4 груза 5 возникает сила трения  $F_j$ , величина которой измеряется динамометром 6.

Коэффициент трения скольжения  $f$  определяется как частное от деления силы трения на вес груза 5 с диском 4.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством установки для определения коэффициента трения скольжения по горизонтальной плоскости.

2. Подготовить пластины и диски к испытаниям: поверхность контакта протереть тряпочкой, смоченной в бензине, и просушить. Образцы из резины, пластмассы и других материалов, реагирующих с бензином, протереть чистой сухой тряпочкой.

3. Установить пластину на тележку.

4. Определить силу тяжести диска, прикрепить диск к грузу и провести испытание. Результаты занести в таблицу. Для каждой пары материалов опыт повторить не менее трех раз.

5. Вычислить коэффициент трения скольжения для выбранных пар материалов  $f_{ex}$ , сравнить с табличным значением  $f_t$ .

Вычислить ошибку:  $\delta = \frac{f_t - f_{ex}}{f_t} \cdot 100\%$ .

6. Оформить отчет.

### Отчет по работе

Представить отчет в следующей форме.

**Цель работы:** определить коэффициент трения скольжения различных материалов.

1. Схема установки и силы, приложенные к образцу.
2. Таблица результатов испытаний (табл. 1.5).

Таблица 1.4

№ п/п	Материал пластины	Материал диска	Вес диска $G_2$ , Н	Сила трения $F$ , Н	Коэффициент трения $f$
1				1- й ЗАМЕР 2- й ЗАМЕР 3- й ЗАМЕР СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ	
2				1- й ЗАМЕР	

				2- й ЗАМЕР	
				3- й ЗАМЕР	
				СРЕДНЕЕ	
				ЗНАЧЕНИЕ	

### 3. Коэффициент трения скольжения

$$f = \frac{F_f}{G}$$

где  $G = G_1 + G_2$ ,  $G_1$  — вес груза, Н,  $G_2$  — вес диска, Н.

#### Контрольные вопросы

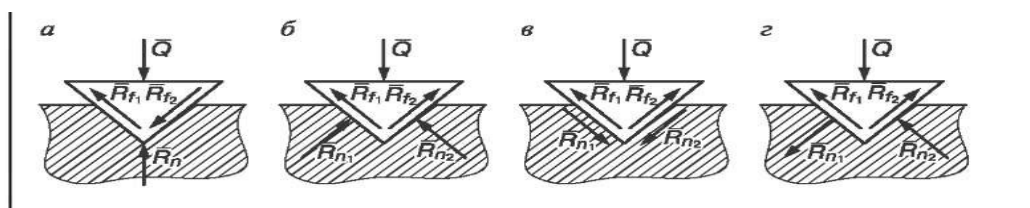
1. Что называется силой трения?
2. Какие виды трения в зависимости от характера перемещения одного тела по поверхности другого вы знаете?
3. Чем обусловлено возникновение силы трения?
4. Что называется силой трения скольжения?
5. Какие законы Амонтона — Кулона вы знаете?
6. Что называется углом трения?
7. Каково условие самоторможения наклонной плоскости?
8. Когда равнодействующая всех сил, приложенных к телу, не может вывести тело из состояния равновесия?

#### Карточки-задания

##### Вариант 1

Вопросы	Ответы
1. В зависимости от чего трение делится на трение скольжения и трение качения?	1. В зависимости от формы тела. 2. В зависимости от характера перемещения тела. 3. В зависимости от скорости движения тел. 4. В зависимости от шероховатости трущихся поверхностей.
2. Зависит ли сила трения от материалов тел и состояния их поверхностей?	1. Зависит только от материалов поверхностей. 2. Не зависит. 3. Зависит только от состояния трущихся поверхностей. 4. Зависит от материалов и состояния трущихся поверхностей.
3. Учитывают ли законы Амонтона — Кулона все факторы, влияющие на величину трения скольжения?	1. Учитывают всегда. 2. Не учитывают, если сила нормального давления и скорость движения велики. 3. Не учитывают при больших скоростях.

	4. Не учитывают при больших силах нормального давления.
4. Чему должен быть равен угол наклона плоскости $\alpha$ , чтобы обеспечить самоторможение?	1. $\alpha > f$ 2. $\alpha < \arctg J$ . 3. $\alpha = f$ 4. $\alpha > \arctg f$ .
5. В станке клиновой резец проникает в раскалываемую древесину с усилием. На какой схеме правильно изображены все силы, действующие на резец?	1. б. 2. а. 3. в. 4. г.

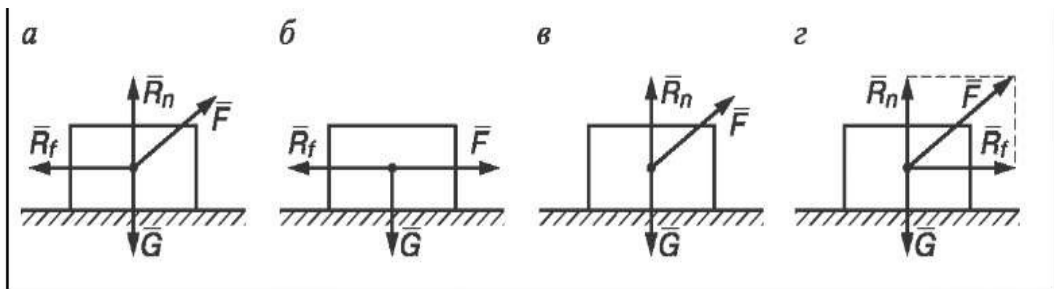


### Вариант 2

Вопросы	Ответы
1. Пределной силой трения называется.	1. СИЛА, ПЕРПЕНДИКУЛЯРНАЯ ПОВЕРХНОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ. 2. СИЛА, ОТКЛОНЯЮЩАЯСЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ ОТ НОРМАЛИ НА УГОЛ $\Phi_0$ . 3. СИЛА, СООТВЕТСТВУЮЩАЯ МОМЕНТУ НАЧАЛА СКОЛЬЖЕНИЯ. 4. СИЛА СЦЕПЛЕНИЯ МЕЖДУ ЧАСТИЦАМИ ТЕЛА И ПЛОСКОСТИ.
2. Зависит ли сила трения от скорости движения тела?	1. НЕ ЗАВИСИТ. 2. ЗАВИСИТ ВСЕГДА. 3. ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ПРИ МАЛЫХ СКОРОСТЯХ. 4. ЗАВИСИТ ТОЛЬКО ПРИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЯХ.
3. Что называется полной реакцией опорной поверхности?	1. АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ СУММА СИЛ ТРЕНИЯ И НОРМАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ. 2. СИЛА, ОТКЛОНЯЮЩАЯСЯ ОТ ГОРИЗОНТАЛИ НА УГОЛ ТРЕНИЯ. 3. РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ НОРМАЛЬНОЙ РЕАКЦИИ ПОВЕРХНОСТИ И СИЛЫ ТРЕНИЯ. 4. РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ ДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ И СИЛЫ ТРЕНИЯ.
4. Вызывает ли движение тела сила $F$ , линия действия которой проходит вне конуса трения?	1. ВЫЗЫВАЕТ ВСЕГДА. 2. ВЫЗЫВАЕТ, ЕСЛИ СИЛА $F$ БУДЕТ БОЛЬШЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ $R_f$ . 3. ВЫЗЫВАЕТ ПРИ ПРАВИЛЬНОМ ПОДБОРЕ СМАЗКИ. 4. НЕ ВЫЗЫВАЕТ НИКОГДА.



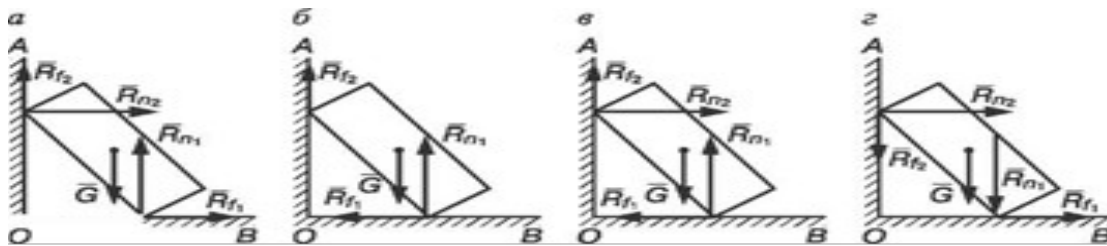
5. Тело поставлено на шероховатую поверхность. На какой схеме указаны все силы, удерживающие тело в равновесии?	1. в. 2. А. 3. Г. 4. Б.
---	----------------------------------



### Вариант 3

Вопросы	Ответы
1. В чем проявляется трение скольжения?	1. В скольжении одного тела по поверхности другого. 2. В появлении угла трения. 3. В сопротивлении скольжению одного тела по поверхности другого. 4. В сопротивлении движению тела перпендикулярно поверхности.
2. Зависит ли сила трения от размеров трущихся поверхностей?	1. Не зависит. 2. Зависит только для тел больших размеров. 3. Зависит всегда. 4. Зависит при отсутствии смазки трущихся поверхностей.
3. Существует ли зависимость между углом трения и коэффициентом трения?	1. Эти величины не зависят друг от друга. 2. Зависят: $\phi = f$ 3. Зависят: $f = 1 / \operatorname{tg}\phi$ . 4. Зависят: $\operatorname{tg}\phi = f$ .

<p>4. К телу, находящемуся в покое, приложили силу <math>F</math>, линия действия которой проходит внутри конуса трения. Вызовет ли она действие тела?</p>	<p>1. Вызовет всегда. 2. Вызовет при правильном подборе смазки. 3. Не вызовет никогда. 4. Вызовет, если <math>F</math> больше <math>R_j</math>.</p>
<p>5. Тело опирается на шероховатую поверхность АОВ. На какой из схем указаны все силы, удерживающие тело в равновесии?</p>	<p>1. в. 2. б. 3. а. 4. 2.</p>



#### Вариант 4

Вопросы	Ответы
<p>1. Возникновение трения объясняется...</p>	<p>1. Только силами молекулярного сцепления поверхностей трения. 2. Только отсутствием смазки между трущимися поверхностями. 3. Шероховатостью поверхностей и силами молекулярного сцепления. 4. Только шероховатостью поверхностей трения.</p>
<p>2. Нужно ли знать величину силы тяжести тела при определении силы трения?</p>	<p>1. Нет. 2. Нужно только при больших скоростях. 3. Нужно только при наклонной поверхности плоскости. 4. Нужно знать всегда.</p>
<p>3. Что называется углом трения?</p>	<p>1. Отношение силы трения к силе нормального давления. 2. Угол между силой трения и сдвигающей силой. 3. Максимальный угол, на который отклоняется от нормали полная реакция опорной поверхности. 4. Максимальный угол между опорной поверхностью и силой трения.</p>
<p>4. Чем объяснить явление заклинивания частей машины?</p>	<p>1. Сила трения достигает максимального значения. 2. Существованием области трения. 3. Коэффициент трения превысил угол трения.</p>

	4. Неверным подбором смазки.
5. Тело поставлено на шероховатую поверхность. На какой схеме указаны все силы, удерживающие тело в равновесии?	1. а. 2. б. 3. в. 4. г.

## Практическое занятие № 4

### Расчёт на прочность при растяжении и сжатии.

**Цель работы:** изучить методику расчетов на прочность элементов конструкций; научиться выполнять проверочные и проектировочные расчеты, оценивать экономичность конструкций; развивать самостоятельное мышление.

**Задание:** рассчитать на прочность шарнирно-стержневую систему.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4,3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №4** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

### Нормативная и учебная литература

1. Опарин И.С. Основы технической механики. Москва: Академия, 2017 г.
2. Опорный конспект лекций по дисциплине «Техническая механика»,
3. Соколовская В.П. Техническая механика. Лабораторный практикум. М.: Академия, 2017 г.
4. Карточки задания
5. ГОСТ 8239-89 «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент».
6. ГОСТ 8240-97 «Швеллеры стальные горячекатаные. Сортамент».
7. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент».
8. ГОСТ 8510-86 «Уголки стальные горячекатаные неравно- полочные. Сортамент».

### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением практического занятия необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

### Теоретическое обоснование

Под растяжением понимается такой вид нагружения, при котором в поперечных сечениях бруса (стержня) возникают только нормальные силы, а все прочие внутренние силовые

факторы (поперечные силы, крутящий момент и изгибающие моменты) равны нулю. Сжатие отличается от растяжения только знаком силы  $\vec{N}$ : при растяжении нормальная сила  $\vec{N}$  направлена от сечения, а при сжатии – к сечению.

Поэтому при анализе внутренних сил сохраняется единство подхода к вопросам растяжения и сжатия. График изменения нормальной силы, напряжений и перемещений стержня вдоль его оси называется *эпюрой* соответственно нормальных сил, напряжений и перемещений. Эпюры дают наглядное представление о законах изменения различных исследуемых величин.

Реакции связей, определенные с использованием уравнений статики в дальнейших расчетах элементов конструкций, являются внешними нагрузками при различных видах деформаций, например при осевом растяжении или сжатии.

**Осевым растяжением (сжатием)** называют такой вид деформации, при котором под действием внешних сил внутренние силы упругости, возникающие в поперечном сечении стержня, приводятся к одному внутреннему силовому фактору— продольной (растягивающей или сжимающей) силе  $N$ .

Продольные силы определяются с использованием метода сечений, по правилу РОЗУ.

1. Продольная сила в произвольном сечении численно равна алгебраической сумме проекций на ось стержня всех внешних сил, расположенных по одну сторону от данного сечения. При использовании метода сечений продольную силу в сечении следует направлять от сечения. Полученная в результате положительная величина характеризует деформацию растяжения, отрицательная — сжатия.

2. Продольная сила  $N$ , приходящаяся на единицу площади в данной точке рассматриваемого сечения, называется нормальным напряжением  $\sigma$ . Знак напряжения зависит от знака продольной силы в рассматриваемом сечении.

Следствием деформации растяжения (сжатия) являются перемещения поперечных сечений (изменение положения сечения) в направлении оси.

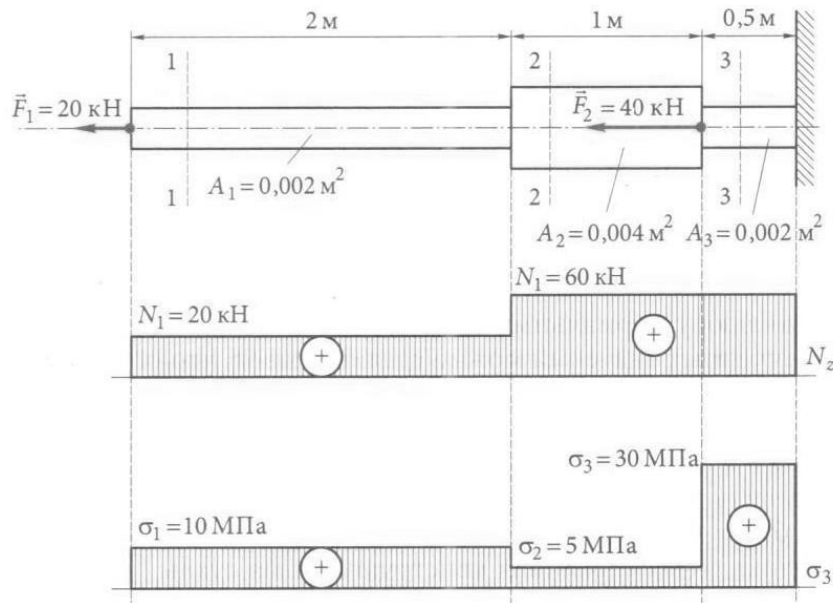
Перемещение произвольного сечения равно изменению длины участка, заключенного между сечением и зацеплением. Взаимное перемещение двух смежных сечений равно изменению длины участка стержня, заключенного между этими сечениями.

### **3. Порядок выполнения работы:**

*Построение эпюр рассмотрим на конкретном примере.*

Например:

**Пример 1.** Для стального бруса построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений в поперечных сечениях бруса (рис.). Данные указаны на рисунке.



**Решение.**

Брус по сечениям будем рассматривать слева направо, так как в этом случае не потребуется определять реакцию заделки. Разделим брус на три характерные части, в которых и будем рассматривать сечения.

В сечении 1 – 1

$$\sum \vec{F}_z = 0; F_1 - N_1 = 0, \text{откуда } N_1 = F_1 = 20 \text{ кН.}$$

В сечении 2 – 2

$$\sum \vec{F}_z = 0; F_1 - N_2 = 0, \text{откуда } N_2 = F_1 = 20 \text{ кН.}$$

В сечении 3 – 3

$$\sum \vec{F}_z = 0; F_1 + F_2 - N_3 = 0, \text{откуда } N_3 = F_1 + F_2 = 60 \text{ кН.}$$

На основе полученных значений построим эпюру продольной силы  $N_z$ .

Находим нормальные напряжения для каждого сечения бруса.

В сечении 1 - 1

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{20000}{0.002} = 10 \text{ МПа}$$

В сечении 2 – 2

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{20000}{0.004} = 5 \text{ МПа}$$

В сечении 3 – 3

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{60000}{0.002} = 30 \text{ МПа}$$

Строим эпюру нормальных напряжений.

Из полученных значений можно сделать вывод, что опасным является сечение 3 – 3.

**Пример 2.** Определить диаметры поперечных сечений бруса (материал – незакалённая сталь 30), нагруженного по схеме, приведённой на рис 2.3, а\*. Сила  $F = 1000 \text{ Н}$ .

**Решение.**

1. Сначала необходимо построить эпюры  $N$  и  $\sigma$ . Методика и последовательность построения эпюр представлены в примере №1.
2. Определяем коэффициент запаса. Поскольку материал пластичный, принимаем коэффициент запаса  $n_T = 1,5$ .
3. Вычисляем допускаемое напряжение. Из табл. 2.1\* для стали 30 выписываем  $\sigma_{т.р} = \sigma_{т.с} = 330 \text{ Н/мм}^2$ . После этого можно определить допускаемое напряжение при растяжении и сжатии:

$$[\sigma]_p = [\sigma]_c = \frac{330}{1,5} = 220 \text{ Н/мм}^2.$$

4. Проанализировав эпюру напряжений (см.рис.2.3, д)\*, делаем вывод, что на двух участках возникает одинаковое напряжение  $\sigma_{\text{наиб}} = F/S$ . Поскольку данный материал работает одинаково на растяжение и сжатие, то можно для любого из этих двух участков записать условие  $\sigma_{\text{наиб}} \leq [\sigma]$ :

$$\frac{1000}{S} = 220 \text{ Н/мм}^2.$$

5. Определяем диаметры круглого бруса из полученного уравнения:  $S = 4,55 \text{ мм}^2$ . Зная, что  $S = \pi r^2$ , определяем  $r_1 = 1,2 \text{ мм}$ ;  $d_1 = 2,4 \text{ мм}$ . На участке, где площадь  $S_2 = 2 S$ , диаметр  $d_2 = 3,4 \text{ мм}$ .

### Задачи

#### Задача 1

1. Определить продольные силы в стержнях 1 и 2 (рис. 2.13).
2. Проверить прочность стержней, если они выполнены из стали СТ 5.

Исходные данные							
a	b	F1	F2	A1	A2		$C^1$ °adm
град	град	кН	кН	мм <sup>2</sup>	мм <sup>2</sup>	МПа	
80	60	100	75	800	1000	200	2

**Решение**

Определяем продольные силы в стержнях 1 и 2. Вырезаем узел с шарниром В в соответствии с рис. 2.14.

Изображаем действующие на шарнир активные силы (натяжения нитей  $F_1$ ,  $F_2$  и продольные силы  $N_1$  и  $N_2$ ), направленные соответственно вдоль стержней 1 и 2, предполагая их растянутыми.

Приняв точку В за начало координат, выбираем положение осей  $x$  и  $y$  таким образом, чтобы по крайней мере одна из них совпала с линией действия неизвестной силы, т.е. совмещаем одну из осей координат с осью одного из стержней. В данном примере ось  $x$  совмещена с осью стержня 2.

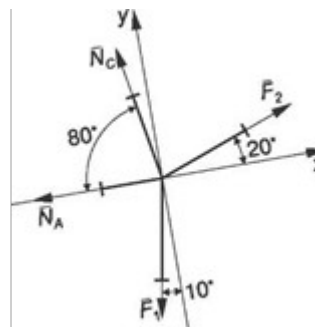
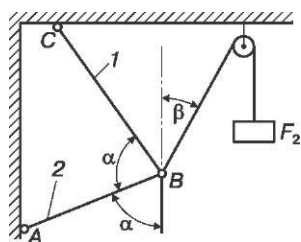


Рис. 2.13. Шарнирно-стержневая система

Рис. 2.14. Расчетная схема шарнирно-стержневой системы

Находим углы наклона сил к осям  $x$  и  $y$ . Составляем уравнения равновесия для плоской системы сходящихся сил:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0; N_A + N_C \cos 80^\circ - F_2 \cos 20^\circ + F_1 \cos 80^\circ &= 0; \\ \sum F_y = 0; N_C \sin 80^\circ + F_2 \sin 20^\circ - F_1 \sin 80^\circ &= 0. \end{aligned}$$

Решаем полученную систему уравнений. Благодаря тому что ось  $x$  совпадает с осью стержня 2, а ось  $y$  перпендикулярна к этому стержню, проекция  $N_A$  (продольная сила в стержне 2) на ось  $y$  равна нулю и второе уравнение содержит только одно неизвестное. Из вышеприведенных уравнений имеем:

$$\sin 20^\circ \cdot 0,342 N_C = F_1 - F_2 = 100 - 75 = 25 \text{ кН.}$$

$$\sin 80^\circ \cdot 0,984$$

Знак «+» перед числовым значением показывает, что стержень 1, как и предполагалось, растянут силой  $N_C = 73,9$  кН.

$$N_A = F_2 \cos 20^\circ - (F_1 + N_C) \cos 80^\circ = 75 \cdot 0,939 - (100 + 73,9) \cdot 0,174 = 40,3 \text{ кН, } N_A = 40,3 \text{ кН.}$$

Числовое значение  $N_A$  положительно, следовательно, стержень 2 растянут. Наличие знака «—» перед числовым значением силы показывает, что стержень не растянут, как предполагалось, а сжат.

#### 4. Содержание отчета:

1. Краткие теоретические сведения по теме.
2. Эскизы расчётных схем к примерам.
3. Практические решения примеров.
4. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы:

1. Какое направление имеют силы при растяжении или сжатии?
2. Запишите закон Гука при растяжении (сжатии).
3. С какой целью выполняют построение эпюр?
4. Какие эпюры необходимо построить, чтобы выполнить расчёт на прочность при растяжении
5. Сформулируйте условие прочности детали.

## Практическое занятие №5

### Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений для бруса переменного сечения.

**Цель работы:** выработать навыки и умения построения эпюр поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$ ; научиться использовать правила построения эпюр  $Q$  и  $M$ ; проверять правильность построения эпюр; производить расчеты на прочность.

**Задание:** решение задач на построение эпюр  $Q$  и  $M$ ; рассчитать балку на прочность.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4,3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №5** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

#### Нормативная и учебная литература

1. Опарин И.С. Основы технической механики. Москва: Академия, 2017 г.
2. Опорный конспект лекций по дисциплине «Техническая механика»,
3. Соколовская В.П. Техническая механика. Лабораторный практикум. М.: Академия, 2017 г.

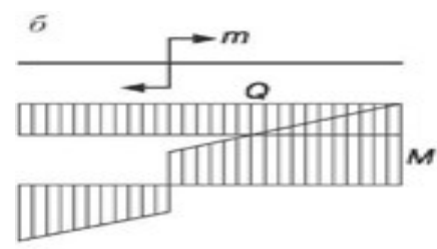
#### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

#### Теоретическое обоснование

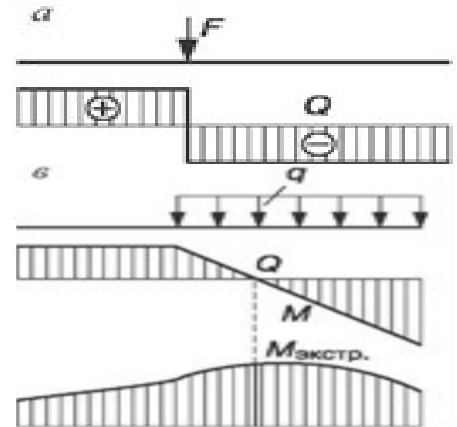
Поперечная внутренняя сила  $Q$  в произвольном сечении балки численно равна алгебраической сумме проекций на ось  $y$ , нормальную к оси балки, всех внешних сил, действующих на балку по одну (левую или правую) сторону от данного сечения. Внутренний изгибающий момент  $M$  в произвольном сечении балки численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, действующих на балку по одну сторону от данного сечения, относительно центра сечения (рис. 1).

В сечении, где приложена сосредоточенная сила  $F$ , на эпюре  $Q$  имеется скачок, равный модулю силы  $F$ , а на эпюре  $M$  — точка перегиба (излом) (рис. 2.41, а).





В сечении, где приложен сосредоточенный момент  $m$  (пара сил), на эюре  $M$  — скачок, равный моменту пары, а эюра  $Q$  остается без изменений (рис. 2.41, б).



На участке балки, где действует равномерно распределенная нагрузка интенсивностью  $q$ , эюра  $M$  — парабола, обращенная выпуклостью в сторону, противоположную направлению нагрузки, а эюра  $Q$  — наклонная прямая. В сечении балки, где  $Q = 0$ , момент  $M$  имеет экстремальное (max или min) значение (рис. 2.41, в)

Правило знаков	$Q$	
	$M$	
Определение $Q_z, M_z$		$Q_z = F$ $M_z = Fz$
		$Q_z = F$ $M_z = F(z - a)$
		$Q_z = 0$ $M_z = m$
		$Q_z = -R = -qz$ $M_z = -R \frac{z}{2} = -\frac{qz^2}{2}$
		$Q_z = -qa$ $M_z = -qa \left( z - \frac{a}{2} \right)$
		$Q_z = -q(z - a)$ $M_z = -q \frac{(z - a)^2}{2}$

Порядок выполнения работы

1. Вычертить расчетную схему балки (рамы) в соответствии с заданием, указать размеры и нагрузки.
2. Используя уравнения равновесия, определить опорные реакции и произвести проверку правильности их определения.
3. Показать участки расчетной схемы, сечения и координаты.
4. Составить выражения внутренних силовых факторов для произвольного сечения рассматриваемого участка и установить закон их изменения по длине участка.
5. Вычислить значение внутренних силовых факторов. Определить их величины.
6. Построить эпюры внутренних силовых факторов.
7. Выполнить пункты 4, 5 и 6 для каждого участка расчетной схемы.
8. Произвести проверку построения эпюр внутренних силовых факторов.
9. Выполнить проектировочный расчет балки, т.е. подобрать двутавровое сечение, если  $\sigma_{adm}=160$  МПа.

Пример расчета

Для заданной балки (рис. 2.42):

- 1) построить эпюры  $Q$  и  $M$ ;
- 2) подобрать двутавровое сечение при  $\sigma_{adm} = 160$  МПа.

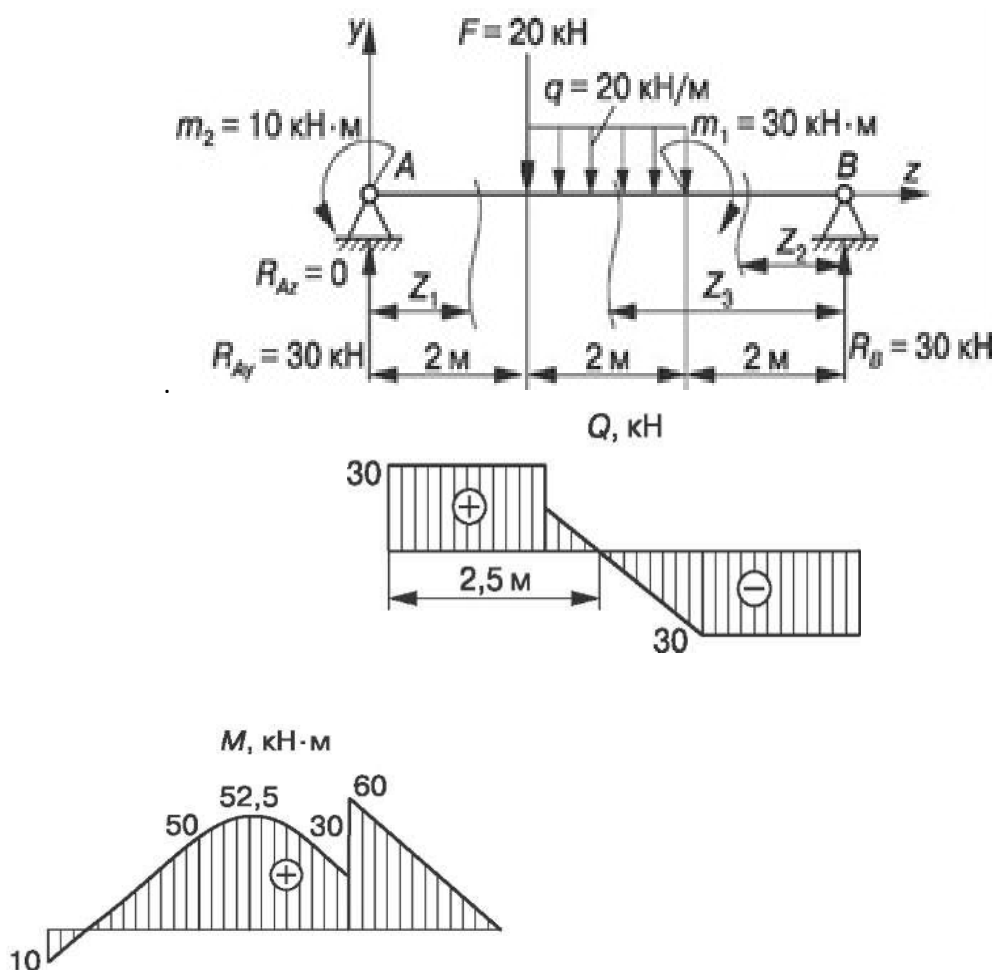


Рис. 2.42. Эпюры  $Q$  и  $M$  для двухопорной балки

### Решение

Определяем опорные реакции:

$$\sum M_A = 0; F \cdot 2 + q \cdot 2 \cdot 3 - m_1 + m_2 - R_B \cdot 6 = 0;$$

$$\sum M_B = 0; -m_2 + R_{Ay} \cdot 6 - F \cdot 4 - q \cdot 2 \cdot 3 + m_1 = 0;$$

$$R_A = (10 + 20 \cdot 4 + 20 \cdot 2 \cdot 3 - 30) / 6 = 30 \text{ кН};$$

$$R_B = (20 \cdot 2 + 20 \cdot 2 \cdot 3 - 30) / 6 = 30 \text{ кН}.$$

$$\text{Проверка: } \sum F_{iy} = 0; 30 - 20 - 20 \cdot 2 + 30 = 0.$$

Строим эпюры  $Q$  и  $M$ :

$$0 \leq z_1 \leq 2 \text{ м}; Q_{z1} = R_{Ay} = 30 \text{ кН};$$

$$M = R_{Ay}z_1 - m_2; M|_{z1=0} = -10 \text{ кН} \cdot \text{м}; M|_{z1=2\text{м}} = 50 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$0 \leq z_1 \leq 2 \text{ м}; Q_{z2} = -R_B = -30 \text{ кН};$$

$$M_{z2} = R_B z_2; M|_{z2=0} = 0; M|_{z2=2\text{м}} = 60 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$2 \text{ м} \leq z_3 \leq 4 \text{ м}; Q_{z2} = -R_B = -30 \text{ кН}; Q_{z3} = -R_B + q(z_3 - 2) = 0;$$

$$Q|_{z3=2\text{м}} = 30 \text{ кН}; Q_{z3=4\text{м}} = 10 \text{ кН};$$

$$z_3 = \frac{R_B + 2q}{q} = \frac{30 + 2 \cdot 20}{20} = 3,5 \text{ м};$$

$$M_{z3} = R_B z_3 + m_1 + q(z_3 - 2)(z_3 - 2) / 2;$$

$$M|_{z3=2\text{м}} = 30 \cdot 2 - 30 - 20 \cdot 0 = 30 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{z3=4\text{м}} = 30 \cdot 4 - 30 - 20 \cdot (4 - 2)^2 / 2 = 50 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M|_{z3=3,5\text{м}} = 30 \cdot 3,5 - 30 - 20(3,5 - 2)^2 / 2 = 52,5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Подбираем для балки двутавровое сечение. Из условия прочности по нормальным напряжениям

$$\sigma = M_{\max} / W_x \leq \sigma_{\text{adm}} \Rightarrow W_x = M_{\max} / \sigma_{\text{adm}} = 60 \cdot 10^6 / 160 = 375 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

При подборе сечения следует производить проверку сечений с большим и меньшим моментами сопротивления, т.е. оценивать степень недогрузки и перегрузки балки.

По сортаменту ГОСТ 8239-89 выбираем по отношению к рассчитанному:

1) двутавр № 27 ( $W_x = 375 \text{ см}^3 = 375 \cdot 10^3 \text{ мм}^3$ ): действительное расчетное напряжение  $\sigma = 60 \cdot 10^6 / 375 \cdot 10^3 = 161,73 \text{ МПа}$ ;  $161,73 \text{ МПа} > \sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ МПа}$  ^ сечение перегружено;  $\Pi = (161,73 - 160) / 160 \cdot 100\% = 1,08 \%$ ;

2) двутавр № 27а ( $W_x = 407 \text{ см}^3$ ): действительное расчетное напряжение  $\sigma = 60 \cdot 10^6 / 4 \cdot 10^3 = 147,4 \text{ МПа}$ ;  $147,4 \text{ МПа} < \sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ МПа}$  - сечение недогружено;  $\text{H} = (160 - 147,4) / 160 \cdot 100\% = 7,8\%$ .

С точки зрения обеспечения прочности можно принять любое сечение: допускается перегрузка  $\Pi < 5\%$ , недогрузка  $\text{H} < 10\%$ .

## Отчет по работе

Представить отчет в следующей форме.

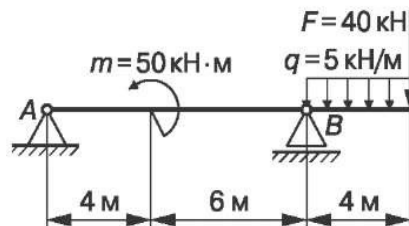
1. Расчетная схема с нагрузками, размерами, реакциями с их значениями. Кроме того, на расчетных схемах следует показать участки, сечения и координаты характерных сечений.
2. Эпюры внутренних силовых факторов, построенные в масштабе для каждой расчетной схемы.
3. Подбор поперечного сечения из условия прочности балки.

## Контрольные вопросы

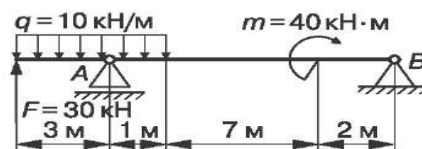
1. Что является границами характерных участков балки, рамы?
2. Как произвести проверку правильности построения эпюр  $Q$  и  $M$
3. Какое сечение является опасным при плоском изгибе?
4. Как определяются нормальные напряжения в произвольной точке сечения балки или рамы?
5. Какие сечения являются наиболее рациональными для балок, изготавливаемых из материала, неодинаково сопротивляющегося растяжению и сжатию, например из чугуна?
6. Чугунная балка имеет тавровое сечение. Какое условие должно быть выполнено для наиболее полного использования материала?

**Задание:** карточки-задания (по вариантам); карточки-задания (п. 3, 4, 5 Приложения);

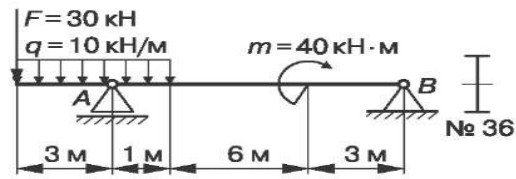
1. Определить размеры  $b$  и  $h$  балки прямоугольного сечения:  
 $h = 2b$ ;  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



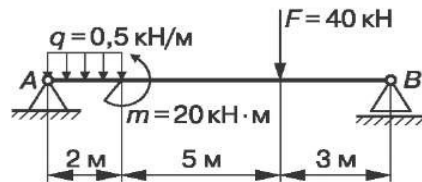
2. Подобрать номер швеллера:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



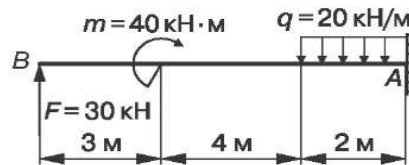
3. Проверить прочность балки:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



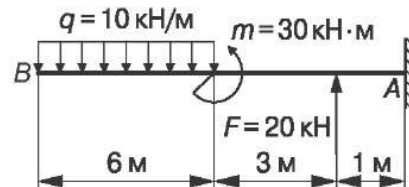
4. Подобрать номер швеллера для данной балки:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



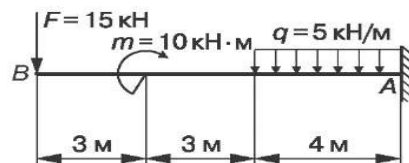
5. Проверить прочность балки:  $b = 100$  мм,  $h = 150$  мм,  $\sigma = 120$  МПа.



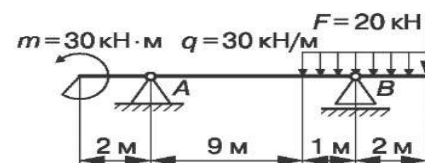
6. Подобрать номер двутавра для данной балки:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



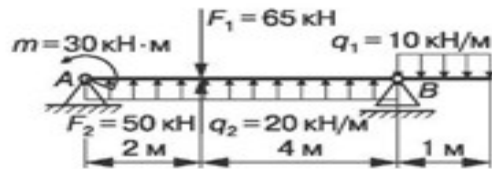
7. Определить номера двутавра:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



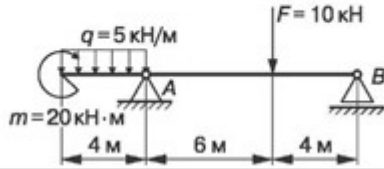
8. Определить диаметр балки круглого сечения:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



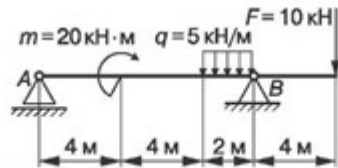
9. Проверить прочность балки:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



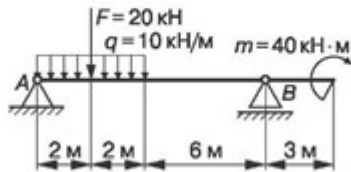
10. Проверить двутавровое сечение балки:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



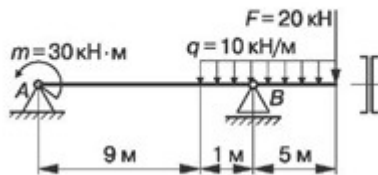
11. Проверить прочность балки прямоугольного сечения:  $b = 200$  мм,  $h = 100$  мм,  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



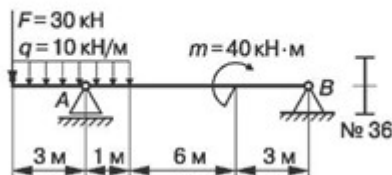
12. Определить диаметр балки круглого сечения:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



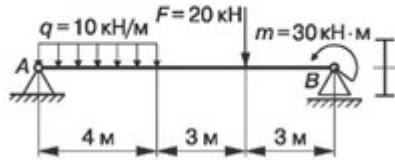
13. Подобрать номер швеллера:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



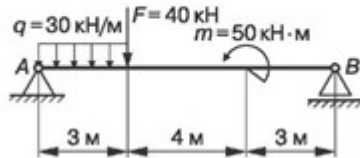
14. Проверить прочность балки:  $\sigma_{adm} = 120$  МПа.



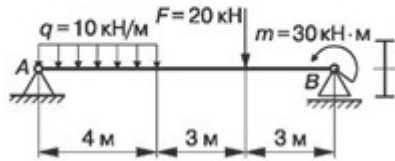
16. Подобрать номер двутавра:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



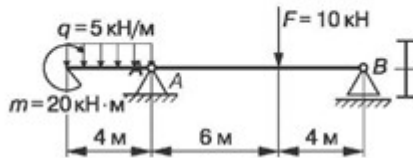
15. Проверить прочность балки двутаврового сечения № 40:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



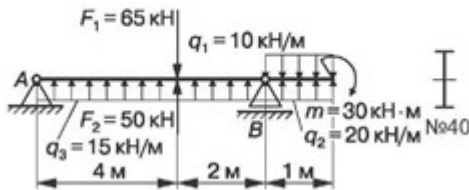
16. Подобрать номер двутавра:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



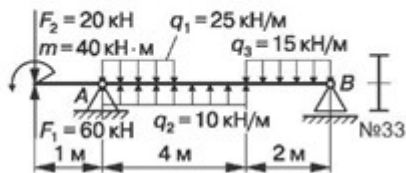
17. Подобрать двутавровое сечение балки:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



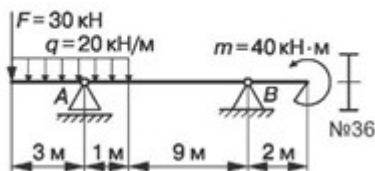
18. Проверить прочность балки:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



19. Проверить прочность балки:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



20. Проверить прочность балки:  $\sigma_{adm} = 120 \text{ МПа}$ .



## Практическое занятие № 6

### «Расчёты на прочность при срезе и смятии»

#### 1. Цель занятия:

Закрепить теоретические знания решением примеров, которые выполняют студенты.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4,3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №6** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

#### Нормативная и учебная литература

1. Опарин И.С. Основы технической механики. Москва: Академия, 2017 г.
2. Опорный конспект лекций по дисциплине «Техническая механика»,
3. Соколовская В.П. Техническая механика. Лабораторный практикум. М.: Академия, 2017 г.

#### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

#### 2. Теоретическое обоснование

Детали, служащие для соединения отдельных элементов машин (шпонки, штифты, заклёпки, болты и т.п.), воспринимают нагрузки, перпендикулярные к их продольной оси. Поперечная нагрузка в данных деталях приводит к прямолинейному перемещению одних слоёв относительно других. В результате в сечении возникают касательные напряжения  $\tau$ . При этом происходит разрушение, называемое **срезом**. Характерным примером сдвига является резание материалов ножницами.

При сжатии двух тел возникает опасность смятия контактирующих поверхностей. Напряжения, возникающие на контактирующих поверхностях, называются **напряжения смятия  $\sigma$** .

#### 3. Порядок выполнения работы:

Сдвиг – это напряжённое состояние. Если возникшие при сдвиге деформации находятся в пределах упругости, то после снятия нагрузки размеры и форма детали восстанавливаются.

Если же предел упругости превышен, то наблюдаются пластические деформации и после снятия нагрузки остаётся наметившееся место среза. По достижении предельных напряжений произойдёт срез.

Например:

**Пример 1.** Проверить прочность заклепок (см. рис.), если  $[\tau]_{\text{ср}} = 100 \text{ Н/мм}^2$ .



**Решение.**

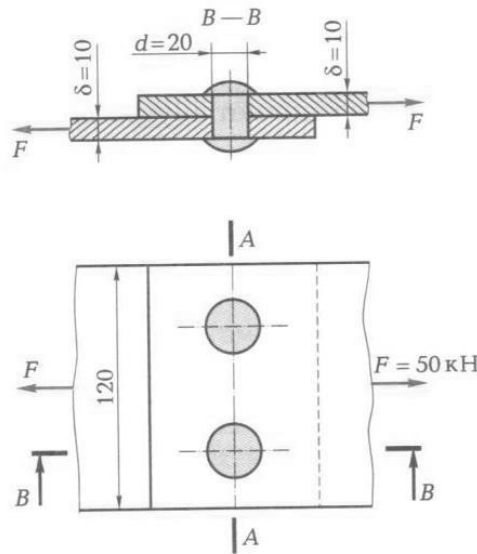
1. Определяем фактическое касательное напряжение, возникающее в поперечных сечениях заклепок под действием заданных сил.

Поскольку число заклепок  $i = 2$  и они срезаются по одной плоскости (число плоскостей среза  $k = 1$ ), то

$$\tau_{\text{факт}} = \frac{F}{S} = \frac{F}{(ik)\pi d^2/4} = \frac{50000}{2 \cdot 1 \cdot \pi \frac{20^2}{4}} = 79,6 \text{ Н/мм}^2.$$

2. Проверяем прочность заклепок: фактическое касательное напряжение в поперечном сечении заклепки должно быть меньше или равно допускаемому касательному напряжению на срез. Действительно,  $79,6 < 100$ .

Следовательно, под действием силы  $F=50$  кН не произойдет среза заклепок.



**Пример 2.** Проверить прочность клепаного соединения (см. рис.), если  $[\tau]_{\text{ср}} = 100 \text{ Н/мм}^2$ ;  $[\sigma]_{\text{см}} = 240 \text{ Н/мм}^2$ ;  $[\sigma]_{\text{р}} = 140 \text{ Н/мм}^2$ .

**Решение.**

4. Проверяем прочность заклепки на срез (методика расчета приведена в примере).
5. Проверяем на смятие стенки отверстий в соединяемых листах:

$$\sigma_{\text{факт.см}} = \frac{F}{i \delta_{\text{лист}} d} = \frac{50000}{2 \cdot 10 \cdot 20} = 125 \text{ Н/мм}^2.$$

Полученное значение фактического напряжения смятия меньше допускаемого, так как по условию  $[\sigma]_{\text{см}} = 240 \text{ Н/мм}^2$ . Следовательно, смятие стенок отверстий не произойдет.

6. Проверяем прочность листов на растяжение по формуле

$$\sigma_{\text{факт.р}} = F/S \leq [\sigma]_{\text{р}}.$$

Для определения опасного сечения в сложных случаях обычно строят эпюры  $N$ , а затем  $\sigma$ . В данном случае задача более простая. Ясно, что опасным сечением является сечение А – А.

Площадь поперечного сечения каждого листа  $S = 10 \cdot (120 - 2 \cdot 20) = 800 \text{ мм}^2$ , а фактическое напряжение

$$\sigma_{\text{факт.р}} = \frac{50000}{800} = 62,5 \text{ Н/мм}^2,$$

что меньше допуссаемого:  $62,5 < 140$ .

Ответ. Можно считать, что прочность клепаного соединения достаточна.

#### 4. Содержание отчета:

1. Краткие теоретические сведения по теме.
2. Эскизы расчётных схем к примерам.
3. Практические решения примеров.
4. Анализ полученных результатов и выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы:

1. Какие детали испытывают деформации сдвига и среза?
2. Запишите закон Гука для сдвига.
3. Какие силовые факторы действуют при сдвиге?
4. Что такое смятие? Как определяется напряжение при смятии?
5. Сформулируйте условие прочности при срезе.

## Практическое занятие № 7

### Расчёт основных параметров привода

#### Цель занятия:

1. Закрепить теоретические знания решением примеров, которые выполняют студенты.
2. Изучить принципы расчета основных параметров привода.

Необходимые профессиональные компетенции для выполнения данной лабораторной работы: (ПК 1.1- 1.2, ПК 2.1-2.4, 3.1-3.4)

**Результат выполнения практического занятия №11** - овладение профессиональными компетенциями:

ПК 1.1. Проводить осмотр, очистку, смазку оборудования лифта и проверку его технического состояния и функционирования.

ПК 1.2. Проводить проверку параметров и регулировку механического оборудования.

ПК 2.1. Определять причины неисправностей оборудования лифтов.

ПК 2.2. Осуществлять ремонт механического оборудования лифтов и общими компетенциями ОК 2-8.

#### Нормативная и учебная литература

1. Опарин И.С. Основы технической механики. Москва: Академия, 2017 г.
2. Опорный конспект лекций по дисциплине «Техническая механика»,
3. Соколовская В.П. Техническая механика. Лабораторный практикум. М.: Академия, 2017 г.

### Меры безопасности на рабочем месте

Перед проведением лабораторной работы необходимо изучить, а в дальнейшем в обязательном порядке соблюдать Инструкцию по охране труда для студентов в лаборатории технической механики, расписаться в журнале по технике безопасности.

### Теоретическое обоснование

Фрикционные передачи можно разделить на две основные группы – передачи с постоянным передаточным отношением и передачи с регулируемым передаточным отношением (вариаторы).

**Передачи с постоянным передаточным отношением** применяются для механизмов, в которых требуются плавность движения, безударное включение на ходу, бесшумность при работе. В металлорежущих станках они применяются крайне редко и только для вспомогательных движений для передачи небольшой мощности (до 10 кВт).

**Вариаторы** позволяют непрерывно (бесступенчато) регулировать передаточное отношение в определённых пределах.

По форме катки фрикционных передач могут быть цилиндрическими, коническими, фасонными.

Достоинство фрикционных передач: простота конструкции; плавность и бесшумность работы; возможность реверсирования на ходу; возможность плавного изменения передаточного отношения; исключение поломок при случайной перегрузки в связи с возможностью проскальзывания катков. Однако фрикционные передачи применяются редко вследствие значительных недостатков: большого износа катков и подшипников из-за большой силы сжатия катков; низкого КПД; непостоянства передаточного отношения ввиду проскальзывания катков.

В этом задании рассмотрим расчёты на прочность цилиндрической (рис.2.2) и конической (рис.2.3) фрикционных передач.

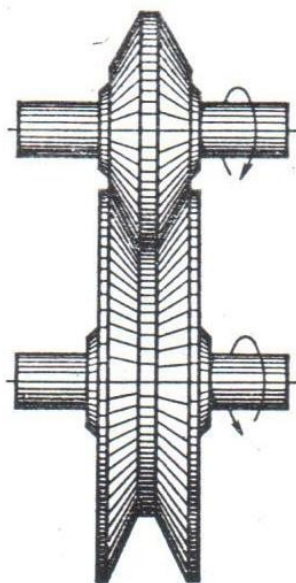


Рис. 2.2

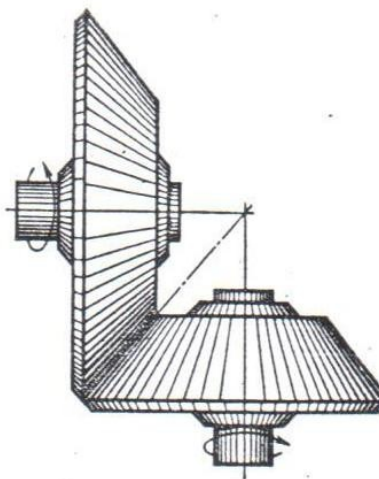


Рис. 2.3

### 3. Порядок выполнения работы:

#### 3.1 Расчёт на прочность цилиндрической фрикционной передачи.

Например:

**Пример 1.** Рассчитать открытую цилиндрическую фрикционную передачу с гладкими катками по следующим данным: передаваемая мощность двигателя  $P = 4,1$  кВт; частота вращения  $n_1 = 1000$  об/мин; передаточное число  $u = 3,27$ .

**Решение:**

1. Выбираем материал катков – сталь по стали всухую. По табл.2.2\* принимаем:  $[\sigma]_H = 600$  МПа;  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа.
2. По табл.2.1\* выбираем коэффициент трения  $f = 0,15$ ;  $\Psi_a = 0,3$ , коэффициент запаса сцепления  $K_c = 1,5$ .
3. Определяем момент на валу ведущего катка:

$$M_1 = 9,55 \frac{P_1}{n_1} = 9,55 \frac{4100}{1000} = 39 \text{ Н} \cdot \text{м} = 39 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

вычисляем межосевое расстояние

$$a = (u + 1) \sqrt[3]{\left(\frac{0,418}{[\sigma]_H}\right)^2 \frac{E n_p M_1 K_c}{u f \Psi_a}} = (3,27 + 1) \sqrt[3]{\left(\frac{0,418}{600}\right)^2 \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 39 \cdot 10^3 \cdot 1,5}{3,27 \cdot 0,15 \cdot 0,3}} = 148 \text{ мм.}$$

4. Определяем геометрические размеры катков: диаметр ведущего катка

$$D_1 = \frac{2a}{1+u} = \frac{2 \cdot 148}{1+3,27} = 69 \text{ мм; принимаем } D_1 = 70 \text{ мм;}$$

диаметр ведомого катка:  $D_2 = D_1 u = 70 \cdot 3,27 = 228$  мм; принимаем  $D_2 = 230$  мм;  
уточняем межосевое расстояние:  $a = 1/2 (D_1 + D_2) = 1/2 (70 + 230) = 150$  мм.

рабочая ширина обода ведомого катка  $b_1 = a \Psi_a = 150 \cdot 0,3 = 45$  мм,  
ведущего  $b_2 = b_1 + 5 = 45 + 5 = 50$  мм.

5. Определяем силу нажатия:

$$F_r = \frac{K_c M_1 (1+u)}{f a} = 1,5 \frac{39 \cdot 10^3 \cdot (1+3,27)}{0,15 \cdot 150} = 11 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

6. Проверяем окружную скорость  $v = \frac{\pi D_1 n_1}{60} = \frac{3,14 \cdot 70 \cdot 1000}{60 \cdot 1000} = 3,6$  м/с,

что меньше  $v_{max} = (7 \div 10)$  м/с.

7. Проверочный расчет по контактным напряжениям проводим по формуле

$$\sigma_H = \frac{0,418}{a} \sqrt{\frac{M_1 K_c (1+u)^3 E_{np}}{b u f}} = \frac{0,418}{150} \times \sqrt{\frac{39 \cdot 10^3 \cdot 1,5 (1+3,27)^3 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{45 \cdot 3,27 \cdot 0,15}} = 574 \text{ МПа} < [\sigma]_H = 600 \text{ МПа.}$$

Недогрузка составляет 4,35%, что допустимо.

### 3.2 Расчёт на прочность конической фрикционной передачи.

Например:

**Пример 2.** Рассчитать фрикционную коническую передачу по следующим данным:

Момент на ведущем валу  $M_1=205 \cdot 10^3$  Н·мм; угловая скорость  $\omega_1=6,2$  рад/с;  $\omega_2=13,4$  рад/с

**Решение.**

1. Выбираем материал катков: текстолит – чугун. По табл.2.2\* для текстолита принимаем  $[\sigma]_H = 90$  МПа;  $E_2 = 1,1 \cdot 10^5$  МПа;  $E_1 = 6 \cdot 10^3$  МПа.
2. Задаём коэффициенты: трения  $f=0,20$ ; запаса сцепления  $K_c = 1,5$ ;  $\Psi_R = 0,3$ .
3. Определяем приведённый модуль упругости

$$E_{np} = \frac{2E_1E_2}{E_1+E_2} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 1,1 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^3 + 1,1 \cdot 10^5} = 1,13 \cdot 10^4 \text{ МПа};$$

передаточное отношение  $u_{2-1} = \omega_2/\omega_1 = 124/62 = 2$ . Далее вычисляем среднее конусное расстояние

$$R = \sqrt{u^2+1} \sqrt[3]{\left(\frac{0,418}{[\sigma]_H}\right)^2 \frac{M_1 K_c E_{np}}{\Psi_R u f}} = \sqrt{2^2+1} \sqrt[3]{\left(\frac{0,418}{90}\right)^2 \frac{205 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 1,13 \cdot 10^4}{0,3 \cdot 2 \cdot 0,2}} = 192 \text{ мм.}$$

4. Определяем диаметр большого катка (ведущего)

$$D_{m1} = \frac{2R}{\sqrt{1+u_{1-2}^2}} = \frac{2 \cdot 192}{\sqrt{1+(1/2)^2}} = 342 \text{ мм}; \text{ принимаем } D_{m1} = 340 \text{ мм.}$$

5. Определяем углы конусности катков  $\delta_2 = \arctg u = \arctg 0,5 = 26^\circ 34'$ ;  
 $\delta_1 = 90^\circ - 26^\circ 34' = 63^\circ 26'$ .

6. Определяем геометрические размеры катков:

средний диаметр ведомого катка  $D_{m2} = D_{m1} u_{1-2}^{-1} = 340 \cdot 1/2 = 170$  мм;

длина контактной линии и ширина обода катка  $b = R \Psi_R = 192 \cdot 0,3 = 58$  мм;

$b_1 =$

$b \cos \delta_1 = 58 \cos 63^\circ 26' = 26$  мм;  $b_2 = b \cos \delta_2 = 58 \cos 26^\circ 34' = 51,5$  мм.

7. Определяем силу нажатия  $F_r = K_c = \frac{2M_1}{f D_{m1}} = 1,5 \frac{2 \cdot 205 \cdot 10^3}{0,20 \cdot 340} = 6000$  Н.

8. Проверяем окружную скорость  $v_m = \frac{\omega_1 D_{m1}}{2 \cdot 1000} = \frac{62 \cdot 340}{2 \cdot 1000} = 1,03$  м/с  $< v_{max}$ .

9. Проверочный расчет передачи

$$\sigma_H = \frac{0,418}{R} \sqrt{\frac{M_1 K_c (\sqrt{1+u_{2-1}^2})^3 E_{np}}{b u_{2-1}^2 f}} = \frac{0,418}{192} \times \sqrt{\frac{205 \cdot 10^3 \cdot 1,5 (\sqrt{1+2^2})^3 \cdot 1,13 \cdot 10^4}{58 \cdot 2 \cdot 0,2}} = 90,4 \text{ МПа,}$$

что удовлетворяет условию прочности.

#### 4.Содержание отчета:

- Краткие теоретические сведения по теме.
- Эскизы расчётных схем к примерам.
- Практические решения примеров.
- Анализ полученных результатов и выводы по работе.

#### 5.Контрольные вопросы:

- За счёт чего передаётся движение в фрикционных передачах?
- Расскажите о классификации и применении фрикционных передач.
- Какие материалы используют для изготовления катков?
- Может ли нормально работать коническая фрикционная передача, если оба катка на неподвижных опорах?
- Чему равно передаточное число цилиндрической фрикционной передачи?