

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

НИЖНЕЛОМОВСКИЙ ФИЛИАЛ

М. В. ПОЛИКАНОВ

***ТЕХНИЧЕСКАЯ
МЕХАНИКА***

Лабораторный практикум

специальности

15.02.08 «Технология машиностроения»

Нижний Ломов, 2020

Введение

Дисциплина «Техническая механика» предусматривает изучение общих законов движения и равновесия материальных тел, основ расчета элементов конструкции на прочность, жесткость, усталость и устойчивость. Дисциплина является общепрофессиональной, устанавливающей базовые знания для освоения специальных дисциплин.

Основные положения технической механики могут быть проверены и подтверждены опытным путем. Лабораторные работы содержат не только теоретические расчеты и графические построения, но и экспериментальные определения некоторых величин, что позволяет сравнить результаты, полученные теоретическим и опытным путями.

При решении многих задач механики приходится использовать целый ряд физических величин, которые могут быть определены опытным путем.

Выполнение лабораторных работ помогает лучше усвоить основные теоретические положения данной учебной дисциплины. Навыки, полученные в ходе выполнения лабораторных работ, полезны специалистам в различных областях техники, так как испытание материалов является неотъемлемой частью многих производственных процессов. Лабораторный практикум рассчитан на 20 учебных часов.

Указания к выполнению лабораторных работ

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы студент должен: тщательно изучить содержание работы и порядок ее выполнения; повторить теоретический материал; подготовить предварительный конспект отчета с необходимыми таблицами с нужным количеством граф для занесения результатов наблюдения и вычислений.

В отчете приводят описание работы, схемы, таблицы наблюдений, графики, диаграммы, расчетные формулы. Отчет должен быть составлен студентом технически грамотно и четко, чтобы можно было понять цель работы, особенности экспериментальной установки, методику проведения опыта и измерения параметров. После каждой работы делается вывод в котором указывается цель и результаты испытаний.

Отчет выполняют на листах бумаги размером 210×297 мм (формат А4) с одной стороны. Для подшивки слева на лицевой стороне оставляют поля шириной 3 см, справа – 1 см, сверху и снизу листа – 1,5 см.

Оформленные студентом отчеты (скрепленные скоросшивателем в месте с титульным листом), представляются преподавателю в качестве допуска к экзамену.

Схемы, диаграммы и графики вычерчивают с помощью линейки, циркуля, лекала и т. д.

После проверки готовности студентов к проведению лабораторных работ и наличия рабочего материала преподаватель допускает студентов к проведению работ.

Проведя испытания, результаты измерения предъявляются преподавателю. По результатам исследования составляется индивидуальный отчет, который также индивидуально защищается. При защите лабораторной работы студент должен обнаружить знания устройства и принципа работы объекта исследования, суть проводимого исследования.

Лабораторная работа, пропущенная студентом, выполняется по разрешению преподавателя на консультациях.

Техника безопасности при выполнении лабораторных работ

1. Перед прохождением лабораторного практикума студенты обязаны пройти вводный инструктаж о правилах безопасной работы и порядке эксплуатации оборудования и, ознакомившись с настоящей инструкцией, расписаться в контрольном листе.

2. Лабораторные стенды, находящиеся в помещении, считаются действующими электроустановками, так как находятся полностью или частично под напряжением или на них в любой момент может быть подано напряжение.

3. Перед выполнением каждой лабораторной работы необходимо изучить описание этой работы, подготовить схемы экспериментов и знать работу оборудования при любых действиях оператора. К выполнению работы студенты приступают только с разрешения преподавателя и выполняют работу только в его присутствии.

4. Выполнение лабораторной работы на одном стенде производится бригадой из двух и более человек одновременно. Во время лабораторной работы запрещается класть на стенд портфели, одежду, другие посторонние предметы.

5. Выполнение лабораторной работы на неисправном стенде не разрешается. Студентам запрещается самостоятельно устранять неисправности оборудования.

6. Студенты должны знать расположение средств пожаротушения и аварийного отключения электропитания лаборатории, а также порядок и пути эвакуации в аварийных ситуациях.

7. В случае нарушения студентами правил техники безопасности они удаляются с занятий и допускаются к ним только после повторной проверки знаний этих правил. Если эти действия повлекли за собой порчу оборудования или несчастный случай, нарушители привлекаются к административной ответственности.

Лабораторная работа № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ

Цель работы: произвести графическое и аналитическое исследования плоской системы сходящихся сил; выявить, уравновешена ли заданная система сил; проверить опытным путем величину и направление уравновешивающей силы.

Теоретическое обоснование

Исследование любой системы сил начинают с определения взаимного расположения этих сил. Если линии действия всех сил расположены в одной плоскости и пересекаются в одной точке, то они образуют плоскую систему сходящихся сил.

Один из главных вопросов, который следует решить, исследуя систему сил, – это вопрос о том, является ли данная система сил уравновешенной или неуравновешенной.

Необходимым и достаточным признаком уравновешенности системы сходящихся сил является равенство нулю их равнодействующей силы. Сложение сил можно производить двумя способами: графически и аналитически. Графическое сложение плоской системы сходящихся сил производят построением силового многоугольника.

Более точные результаты можно получить, применяя аналитический способ, основанный на вычислении проекций сил на оси координат.

Установка для испытания

Для экспериментального подтверждения правила сложения плоской системы сходящихся сил используют различные установки.

На рисунке 1.1 показана установка, позволяющая производить сложение трех сил и их уравновешивание. В этой установке сила тяжести грузов передается центральному стержню 1 при помощи тросов 3 и рычагов 4. На диске 5 имеется шкала, позволяющая установить каретки 6 под

требуемым углом. Для определения положения центрального стержня *1* над ним установлена прозрачная шкала *2*.

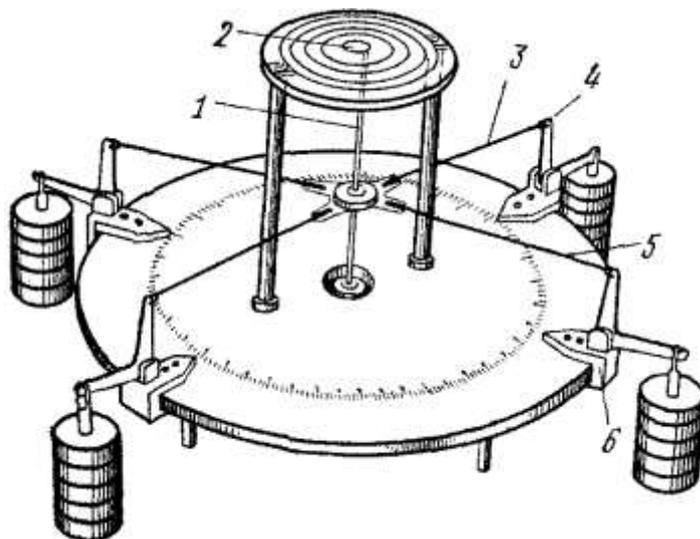


Рисунок 1.1 – Прибор для определения равнодействующей:
1 – стержень; *2* – шкала; *3* – нити; *4* – рычаги; *5* – диск; *6* – каретки

Порядок выполнения работы

Для заданной системы сходящихся сил в соответствии с вариантом задания по таблице 1.1 построить в масштабе силовой многоугольник.

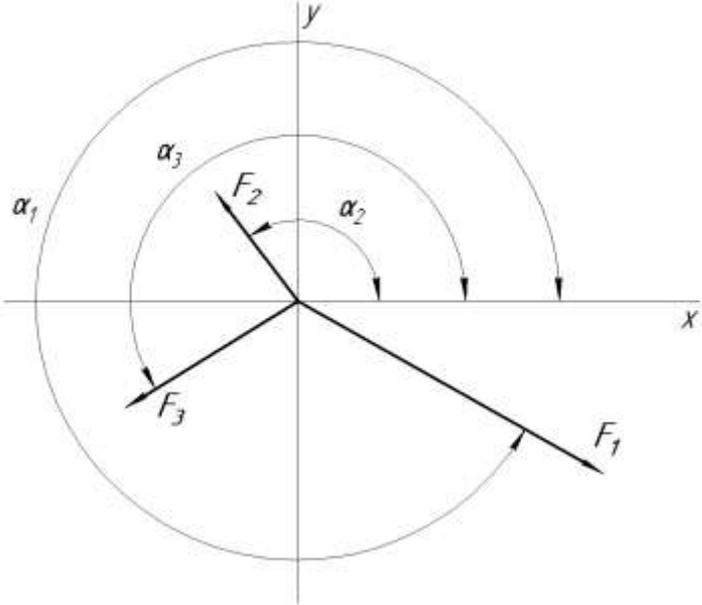
Измерить миллиметровой линейкой длину вектора равнодействующей и транспортиром угол между равнодействующей и одной из примыкающих сил или осью x . Учитывая масштаб построения, вычислить величину равнодействующей силы.

Вычислить величину и направление равнодействующей аналитически. Сравнить результаты, полученные графическим и аналитическим способами. Расхождения между найденными величинами не должны превышать 10%. В противном случае вычисления и построения следует проверить.

Провести экспериментальную проверку полученных результатов. Для этого на специальном приборе (рисунок 1.1) установить каретки таким образом, чтобы нити образовывали углы, соответствующие углам между линиями действия сил, а грузы, подвешенные к кареткам, по силе тяжести были равны заданным силам. Установить каретку с уравновешивающей

силой; направление ее должно быть противоположно направлению равнодействующей, найденной аналитическим способом, а величина груза численно равна ей. Если величина и направление равнодействующей силы найдены правильно, стержень будет занимать вертикальное положение.

Таблица 1.1 – Варианты задания сил



№ варианта	Заданные силы, Н			Углы между силой и осью x, град		
	F_1	F_2	F_3	α_1	α_2	α_3
1	8,4	6,9	4,9	60	135	250
2	6,5	8,9	6,9	35	160	300
3	4	5,9	10,5	150	50	270
4	4,9	4	6,5	60	140	220
5	8,9	6,5	4,9	75	180	225
6	10,5	6,9	4	210	130	30
7	4,9	5	6,5	120	60	20
8	5,9	10,5	6,9	60	300	90
9	6,5	8,4	4,9	45	90	180
10	7,9	4	6,9	110	20	310

Отчет о работе

1. Графическое определение равнодействующей силы:
 - а) изображение заданных сил;
 - б) построение силового многоугольника.
2. Заполнить таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчетов

№ варианта	Графическое определение		Аналитическое определение			
	$F_{\Sigma\text{граф}}, \text{ Н}$	$\alpha_{x\text{граф}}, \text{ град}$	$F_{\Sigma x}, \text{ Н}$	$F_{\Sigma y}, \text{ Н}$	$F_{\Sigma}, \text{ Н}$	$\alpha_x, \text{ град}$

Аналитически угол α_x , определяется по формуле:

$$\cos \alpha_x = \frac{F_{\Sigma x}}{F_{\Sigma}}. \quad (1.1)$$

3. Процент расхождения величины равнодействующей, определенной графическим и аналитическим способами:

$$\Delta F_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma\text{граф}} - F_{\Sigma\text{аналит}}}{F_{\Sigma\text{аналит}}} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

$$\Delta \alpha_x = \frac{\alpha_{x\text{граф}} - \alpha_{x\text{аналит}}}{\alpha_{x\text{аналит}}} \cdot 100\%. \quad (1.3)$$

4. Экспериментальная проверка полученных результатов:

- а) схема прибора с отметкой направления заданных сил и уравнивающей силы.

5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Какая система сил приложена в точке, находящейся в покое?
2. Чему равна равнодействующая уравновешенной системы сходящихся сил?
3. Какую систему сил образуют силы, линии действия которых перекрещиваются?
4. Укажите последовательность построения силового многоугольника для системы сходящихся сил.
5. Можно ли, построив силовой многоугольник, определить, уравновешена или не уравновешена заданная система сходящихся сил?

6. Как целесообразнее располагать оси координат относительно сил, образующих плоскую систему сходящихся сил?
8. Как направлены равнодействующая и уравнивающая силы по отношению друг к другу?
7. Какую силу надо приложить к заданным силам при их уравнивании равнодействующую или уравнивающую?
9. Можно ли уравновесить заданную систему сил, изменив численную величину уравнивающей силы, если при определении угла между направлением уравнивающей силы и осью была допущена ошибка?
10. Как методом проекции вычислить величину равнодействующей системы сходящихся сил и угол, определяющий ее направление?

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ СИЛ ОТНОСИТЕЛЬНО ОСИ И РЕАКЦИЙ ОПОР ПРОСТРАНСТВЕННО НАГРУЖЕННЫХ ТЕЛ

Цель работы: определить величину и направление момента силы относительно оси при любом их взаимном расположении; составить расчетные схемы пространственно нагруженных тел и определить реакции их опор.

Теоретическое обоснование

Для уравновешенной пространственной системы сил в общем случае можно составить шесть уравнений равновесия:

$$\begin{aligned} \sum_0^n F_{kx} = 0; \quad \sum_0^n F_{ky} = 0; \quad \sum_0^n F_{kz} = 0; \\ \sum_0^n m_x(F_k) = 0; \quad \sum_0^n m_y(F_k) = 0; \quad \sum_0^n m_z(F_k) = 0. \end{aligned} \quad (2.1)$$

Где первые три уравнения – сумма проекций сил на три взаимно перпендикулярные оси x , y , z ; последние три уравнения – сумма моментов этих сил относительно этих же осей.

Следует иметь в виду, что момент сил относительно оси равен нулю в двух случаях: когда сила параллельна оси – в этом случае проекция силы на плоскость, перпендикулярную оси, равна нулю; когда линии действия силы пересекает ось – в этом случае плечо силы равно нулю. Моменты внешних сил относительно оси вращения тела принято называть вращающими моментами и их обозначают M_{BP} . Если тело вращается относительно неподвижной оси с постоянной угловой скоростью, то алгебраическая сумма всех вращающих моментов, приложенных к телу, равна нулю:

$$\sum_0^n m_{BP_k} = 0. \quad (2.2)$$

Экспериментальная проверка уравновешенности системы сил, приложенных к телу, может быть произведена на установке, позволяющей нагружать тело заданной системой сил.

Установка для испытания

Основными деталями установки (рисунок 2.1) являются вал 2 с дисками 1, 3, установленными в стойках 4. Вращающие моменты создаются при помощи грузов 5. В дисках 1 и 3 имеются отверстия, расположенные на равном расстоянии друг от друга. В эти отверстия вставляют крючки с прикрепленными к ним грузами. Диски 1 и 3 могут скользить вдоль вала 2, но не могут поворачиваться относительно его. Вал может вращаться в подшипниках стоек 4. Величина и направление вращающего момента зависят от силы тяжести груза и его плеча, т. е. расстояния от оси вала до точки закрепления груза на диске. Если алгебраическая сумма вращающих моментов, приложенных к дискам 1 и 3, будет равна нулю, то вал сохранит состояние равновесия.

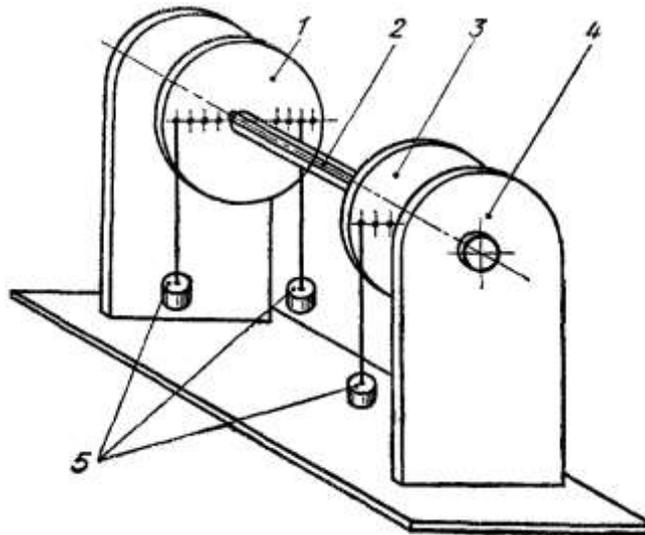


Рисунок 2.1 – Установка для определения уравновешенности моментов сил относительно оси:

1, 3 – диски; 2 – вал; 4 – стойки; 5 – грузы

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с установкой, позволяющей производить нагружение вала заданной системой сил. В отчете изобразить схему вала и силы, приложенные к нему. Данные взять из таблицы 2.1 в соответствии с вариантом задания.

Вычислить величину и направление (знак) вращающих моментов, приложенных к каждому диску. Определить, уравновешены ли вращающие моменты. Если алгебраическая сумма моментов заданных сил не равна нулю, следует определить величину и направление уравновешивающего момента.

Произвести опытную проверку уравновешенности системы вращающих моментов, приложенных к валу.

Вычислить реакции опор вала по данной схеме его нагружения.

Таблица 2.1 – Варианты задания

№ варианта												
	Силы, Н				Линейные размеры, см							
	F_1	F_2	F_3	F_4	a	b	c	d	l_1	l_2	l_3	
1	4,9	6,9	8,4	6,5	8,5	10,5	6,5	10,5	7	16	8	
2	6,9	4,5	6,5	8,9	10,5	6,5	8,5	4,5	10	15	6	
3	8,4	6,5	6,9	4,5	4,5	6,5	10,5	6,5	15	6	10	
4	6,9	13,8	11,0	4,9	6,5	4,5	8,5	10,5	7	13	11	
5	6,5	4,5	6,9	8,4	10,5	8,5	6,5	10,5	12	12	7	
6	8,9	6,9	4,5	6,5	8,5	6,5	6,5	4,5	11	10	10	
7	11,0	6,9	4,9	13,8	10,5	10,5	6,5	6,5	8	9	14	
8	6,5	6,9	4,5	8,9	8,5	6,5	4,5	10,5	5	19	7	
9	6,5	8,4	6,9	4,9	10,5	4,5	10,5	8,5	9	16	6	
10	13,8	4,9	6,9	11,0	6,5	8,5	8,5	10,5	7	14	10	

Отчет о работе

1. Заполнить таблицу 2.2. Изобразить схему вала с заданной системой сил.

2. Привести силы к центрам O_1 и O_2 дисков и вычислить вращающие моменты, приложенных к каждому диску: M_{BP1} ; M_{BP2} .

Таблица 2.2 – Исходные данные

№ варианта	F_1	F_2	F_3	F_4	a	b	c	d	l_1	l_2	l_3
	Н				см						

3. Определить уравновешенность вращающих моментов:

$$M_{BP1} + M_{BP2} = \dots$$

4. Сделать заключение об опытной проверке уравновешенности вращающих моментов.

5. Вычислить реакции опор вала R_A и R_B . Выполнить проверку правильности определения реакций опор.

6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Сколько уравнений равновесия можно составить для пространственной системы сил?
2. Как определяется момент силы относительно оси?
3. В каком случае момент силы относительно оси равен моменту этой же силы относительно точки на оси?
4. При каком взаимном расположении силы и оси, момент силы равен нулю?
5. Зависит ли знак (направление) вращающего момента от положения наблюдателя относительно оси?
6. Чему равна алгебраическая сумма моментов всех сил относительно оси тела при его равномерном вращении?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ПЛОСКИХ ФИГУР

Цель работы: определить центр тяжести сложной фигуры аналитическим и опытным путями.

Теоретическое обоснование

Материальные тела состоят из элементарных частиц, положение которых в пространстве определяется их координатами. Силы притяжения каждой частицы к Земле можно считать системой параллельных сил, равнодействующая этих сил называется силой тяжести тела или весом тела. Центр тяжести тела – это точка приложения силы тяжести.

Центр тяжести – это геометрическая точка, которая может быть расположена и вне тела (например, диск с отверстием, полый шар и т. п.). Большое практическое значение имеет определение центра тяжести тонких плоских однородных пластин. Их толщиной обычно можно пренебречь и считать, что центр тяжести расположен в плоскости. Если координатную плоскость xOy совместить с плоскостью фигуры, то положение центра тяжести определяется двумя координатами:

$$x_C = \frac{\sum_0^n A_k \cdot x_k}{A}; \quad y_C = \frac{\sum_0^n A_k \cdot y_k}{A}, \quad (3.1)$$

где A_k – площади частей сечения;

x_k, y_k – координаты центра тяжести частей сечения;

A – площадь всего сечения.

В таблице 3.1 приведены площади и координаты центров тяжести простых плоских фигур.

Установка для испытания

Установка для опытного определения координат центра тяжести способом подвешивания состоит из вертикальной стойки I (рисунок 3.1), к

которой прикреплена игла 2. Плоская фигура 3 изготовлена из картона, жести или другого материала, в котором легко проколоть отверстие. Отверстия *A* и *B* прокалываются в произвольно расположенных точках (лучше на наиболее удаленном расстоянии друг от друга). Плоская фигура подвешивается на иглу сначала в точке *A*, а потом в точке *B*. При помощи отвеса 4, закрепленного на той же игле, на фигуре прочерчивают карандашом вертикальную линию, соответствующую нити отвеса. Центр тяжести *C* фигуры будет находиться в точке пересечения вертикальных линий, нанесенных при подвешивании фигуры в точках *A* и *B*.

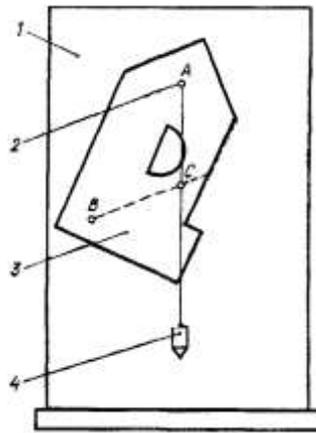


Рисунок 3.1 – Установка для опытного определения координат центра тяжести:

1 – стойка; 2 – игла; 3 – фигура; 4 – отвес

Таблица 3.1 – Площади и координаты тяжести плоских фигур

Сечение фигуры	$A, \text{мм}^2$	$x_C, \text{мм}$	$y_C, \text{мм}$
	$b \cdot h$	$\frac{b}{2}$	$\frac{h}{2}$
	$\frac{b \cdot h}{2}$	$\frac{b}{3}$	$\frac{h}{3}$
	$R^2 \cdot \alpha$	$\frac{2}{3} R \frac{\sin \alpha}{2}$	0
	При $2 \cdot \alpha = 180^\circ$, $\frac{\pi \cdot R^2}{2}$	$\frac{4}{3} \cdot \frac{R}{\pi}$	0

Таблица 3.2 – Варианты задания плоских фигур

№ вар	Схема фигуры	№ вар	Схема фигуры
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		10	

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с устройством установки для определения центра тяжести плоской фигуры.

Начертить фигуру сложной формы, согласно заданному варианту по таблице 3.2.

Провести оси координат так, чтобы они охватывали всю фигуру, разбить сложную фигуру на простые части, определить площадь и координаты центра тяжести каждой простой фигуры относительно выбранной системы координат. Данные записать в таблицу 3.3 отчета.

Вычислить координаты центра тяжести всей фигуры аналитически.

Вырезать данную фигуру. Просверлить два отверстия, края отверстий должны быть гладкими, а диаметр отверстий несколько больше диаметра иглы для подвешивания фигуры.

Подвесить фигуру сначала в одной точке (отверстии), прочертить карандашом линию, совпадающую с нитью отвеса. То же повторить при подвешивании фигуры в другой точке.

Сделать отверстие в точке пересечения проведенных линий – центра тяжести фигуры. Совместить вырезанную фигуру с ее изображением на бумаге (выполненные в одинаковом масштабе). Центр тяжести фигуры, найденный аналитическим способом, и центр тяжести, найденный опытным путем, должны совпадать.

Отчет о работе

1. Выполнить чертеж согласно своему варианту. Указать площадь и координаты центра тяжести каждой простой фигуры в виде таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Параметры простейших фигур

№ фигуры	Вид фигуры	$A_k, \text{мм}^2$	$x_k, \text{мм}$	$y_k, \text{мм}$

2. Вычислить координаты x_C и y_C центра тяжести всей фигуры по выше приведенным формулам. Положение центра тяжести нанести на чертеж фигуры.

3. Записать значения координат центра тяжести фигуры, найденных при подвешивании фигуры в двух точках: $x_{C(опыт)}$; $y_{C(опыт)}$.

4. Сделать заключение о положении центра тяжести при аналитическом и опытном определении, в процентном соотношении.

5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Можно ли рассматривать силу тяжести тела как равнодействующую, систему параллельных сил?
2. Может ли располагаться центр тяжести вне самого тела?
3. В чем сущность опытного определения центра тяжести плоской фигуры?
4. Как определяется центр тяжести сложной фигуры, состоящей из нескольких простых фигур?
5. Как следует рационально производить разбиение фигуры сложной формы на простые фигуры при определении центра тяжести всей фигуры?
6. Какой знак имеет площадь отверстий в формуле для определения центра тяжести?
7. На пересечении каких линий треугольника находится его центр тяжести?
8. Если фигуру трудно разбить на небольшое число простых фигур, какой способ определения центра тяжести может дать наиболее быстрый ответ?

Лабораторная работа № 4

УРАВНОВЕШИВАНИЕ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАСС

Цель работы: выявить необходимость балансировки вращающихся деталей; ознакомиться с методами балансировки деталей.

Теоретическое обоснование

Вращающиеся детали машин (зубчатые колеса, шпиндели станков, валы двигателей и т. п.) должны быть полностью уравновешены, поэтому этим деталям придают такую форму, чтобы их центр тяжести располагался на оси вращения. На практике из-за неточности изготовления (в пределах предусмотренных допусков) и неоднородности распределения массы по всему объему детали центр тяжести может оказаться сдвинутым на расстояние ρ от оси вращения (рисунок 4.1, а). В этом случае возникает центробежная сила инерции

$$F_{ин} = m\omega^2\rho, \quad (4.1)$$

где $F_{ин}$ – сила инерции, Н;

m – масса тела, кг;

ω – угловая скорость вращения, рад/с;

ρ – расстояние центра тяжести до оси вращения, м.

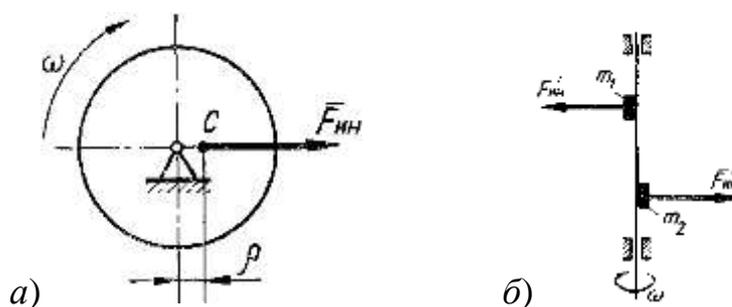


Рисунок 4.1 – Схема статической и динамической неуравновешенности

Центробежные силы инерции вызывают колебания станин и фундамента, износ подшипников и других частей машины. Поэтому необходимо производить уравновешивание вращающихся масс, чтобы уничтожить вредное действие сил инерции.

Когда центр тяжести тела не находится на оси вращения, создается статическая неуравновешенность. Приведение центра тяжести тела к оси вращения производится либо добавлением соответствующей массы, либо удалением (высверливанием) части массы. Такой процесс уравнивания называется статической балансировкой.

Но даже в том случае, когда центр тяжести располагается на оси вращения, масса тела может быть распределена несимметрично вдоль оси вращения (рисунок 4.1, б). Возникает динамическая неуравновешенность, которая выявляется при вращении детали. При динамической неуравновешенности силы инерции образуют пару сил, создающую вредную нагрузку на подшипник, станину и фундамент машины. Процесс устранения динамической неуравновешенности называется динамической балансировкой.

В данной работе рассматривается только статическая балансировка, которая при небольшой длине детали и малой скорости вращения оказывается достаточной.

Установка для испытания

Установка (рисунок 4.2) состоит из двух призм 2, расположенных в горизонтальной плоскости. Эти призмы закреплены на четырех регулируемых по высоте опорах 3, жестко закрепленных на плите 4. Деталь 1 цилиндрической формы устанавливается на ребра призм 2.

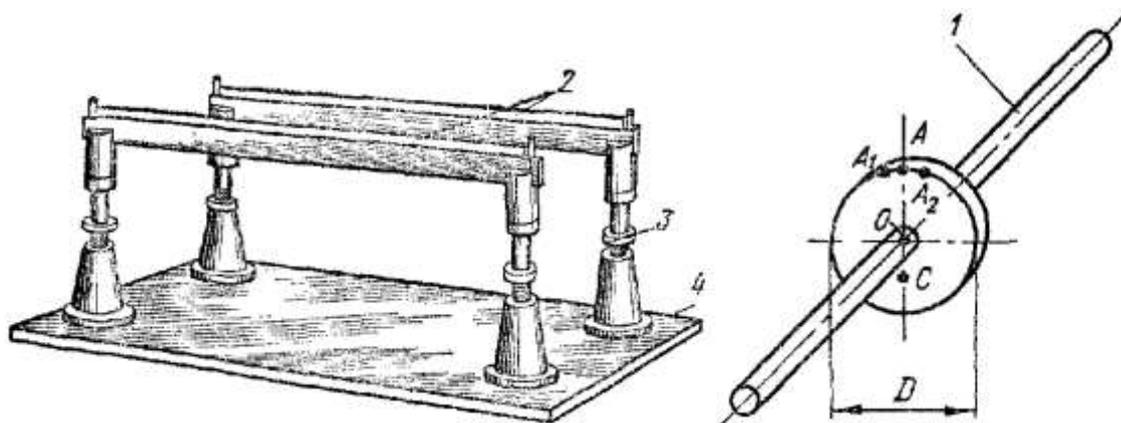


Рисунок 4.2 – Установка для статической балансировки:
1 – деталь; 2 – призмы; 3 – опоры; 4 – основание

Если центр тяжести детали не будет совпадать с осью вращения, то под действием момента, создаваемого силой тяжести, деталь начнет катиться по ребрам призм, пока ее центр тяжести точка C не займет наинизшее положение. Центр тяжести детали располагается на вертикальной диаметральной прямой AC . Чтобы уравновесить деталь, необходимо к ней добавить противовес в какой-либо точке, например, диаметрально противоположной точке C . Для увеличения точности отыскания положения центра тяжести деталь несколько раз поворачивают на 90° в одну и другую сторону и после остановки детали отмечают положение верхних точек A_1 , и A_2 . Точку A находят, как среднее положение этих отметок.

Балансировка состоит в том, что к детали в точке A (противоположной центру тяжести) прикрепляют кусочки пластилина в таком количестве, чтобы деталь в любом положении находилась в равновесии на ребрах призм.

По силе тяжести дополнительного груза Q и расстоянию AO можно определить положение центра тяжести OC детали:

$$OC = \frac{Q \cdot OA}{G}, \quad (4.2)$$

где G – сила тяжести детали.

Приближенно можно принять OA равным половине диаметра, тогда

$$\rho = \frac{Q}{G} \cdot \frac{D}{2} \quad \text{или} \quad \rho = \frac{m_A}{m} \cdot \frac{D}{2}, \quad (4.3)$$

где m_A и m – соответствующие массы, кг;

$$\rho = OC.$$

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с устройством установки для статической балансировки. В отчете зарисовать схему установки и эскиз детали. Замерить наружный диаметр детали D .

Взвесить деталь и записать в отчет величину ее массы.

Проверить по уровню горизонтальное расположение граней призмы. При помощи установочных винтов добиться строго горизонтального расположения граней призмы. Проверить чистоту поверхности призмы и детали.

Осторожно установить деталь на грани призмы. Когда деталь остановится, отметить верхнюю точку мелом или карандашом. Повернуть деталь на 90° вокруг оси и осторожно ее отпустить. Когда она вновь остановится, снова отметить верхнюю точку. Снова повернуть деталь на 90° , но в противоположную сторону, и отметить верхнюю точку. Все три отметки или совпадут, или будут расположены очень близко.

К верхней точке A (рисунок 4.2) прикрепить кусочек пластилина. Добавляя или снимая кусочки пластилина, добиться того, чтобы деталь, повернутая на некоторый угол и остановленная легким прикосновением руки, оставалась в любом положении неподвижной, т. е. находилась в состоянии безразличного равновесия. Это означает, что деталь статически сбалансирована.

Аккуратно снять весь пластилин, прикрепленный к детали, и взвесить его. Записать величину массы пластилина в таблицу 4.1 отчета.

Вычислить расстояние центра тяжести детали до оси.

Отчет о работе

1. Выполнить схему установки и эскиз детали.
2. Заполнить таблицу 4.1 записей результатов испытания.

Таблица 4.1 – Результаты испытания

№ замера	Наружный диаметр детали D , мм	Масса детали m , кг	Масса дополнительно го груза m_A , кг	Расстояние центра тяжести до оси ρ , мм
1				
2				
3				
Среднее значение				

3. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Почему необходимо уравнивать вращающиеся детали?
2. Как расположен центр тяжести тела относительно оси вращения при статической неуравновешенности?
3. Можно ли обнаружить динамическую неуравновешенность при установке детали на параллельных горизонтальных призмах?
4. Если центр тяжести детали находится на оси вращения, является ли это достаточным условием для полного уравнивания детали?
5. При какой неуравновешенности, статической или динамической, силы инерции образуют пару сил?
6. Какое состояние равновесия относительно оси вращения – неустойчивое, устойчивое или безразличное – характеризует статически уравновешенное тело?
7. Как должен быть расположен дополнительный (уравнивающий) груз при статической балансировке относительно центра тяжести детали?
8. В каком месте относительно центра тяжести следует удалить (высверлить) материал детали при статической балансировке?
9. При каких условиях работы детали можно ограничиться только статической балансировкой?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы: определить опытным путем моменты инерции твердых тел сложной формы.

Теоретическое обоснование

Основное уравнение динамики вращения твердого тела вокруг неподвижной оси имеет вид

$$M_{BP} = J \cdot \varepsilon, \quad (5.1)$$

где M_{BP} – вращающий момент, Н·м;

ε – угловое ускорение, рад/с²;

J – момент инерции тела относительно оси вращения, кг·м².

Момент инерции тела J равен сумме произведений масс материальных точек m_i , составляющих это тело, на квадрат их расстояния r_i до оси вращения z (рисунок 5.1):

$$J_z = \sum_0^n m_i \cdot r_i^2. \quad (5.2)$$

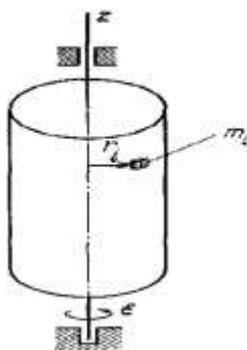
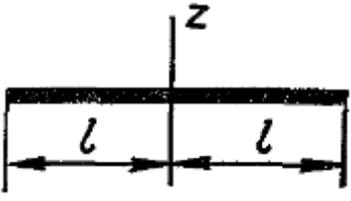
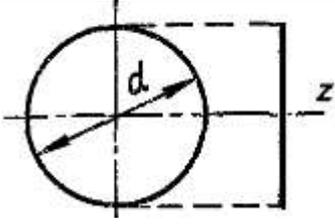
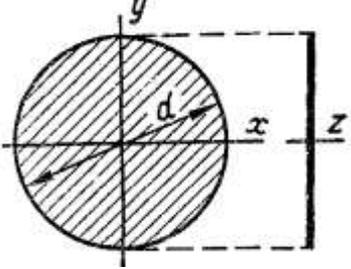
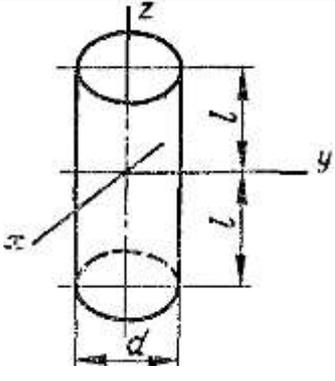
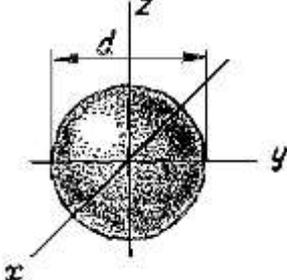


Рисунок 5.1 – Схема к определению момента инерции тела

Момент инерции во вращательном движении имеет такое же значение, как масса тела при поступательном движении, следовательно, момент инерции есть мера инертности вращающегося тела. В таблице 5.1 приведены значения моментов инерции некоторых тел правильной

геометрической формы относительно оси, проходящей через центр тяжести тела.

Таблица 5.1 – Моменты инерции геометрически правильных тел

Наименование	Схема тела	Момент инерции
Тонкий прямолинейный стержень		$J_z = \frac{m \cdot l^2}{3}$
Кольцо (материальная окружность)		$J_z = \frac{m \cdot d^2}{4}$
Тонкий круглый диск		$J_x = J_y = \frac{m \cdot d^2}{16};$ $J_z = \frac{m \cdot d^2}{8}$
Круглый цилиндр		$J_x = J_y = m \left(\frac{d^2}{16} + \frac{l^2}{3} \right);$ $J_z = \frac{m \cdot d^2}{8}$
Шар		$J_x = J_y = J_z = \frac{m \cdot d^2}{10}$

Момент инерции J_z относительно оси z , параллельной центральной, равен центральному моменту инерции J_C плюс произведение массы тела m на квадрат расстояния a между этими осями (рисунок 5.2):

$$J_z = J_C + ma^2. \quad (5.3)$$

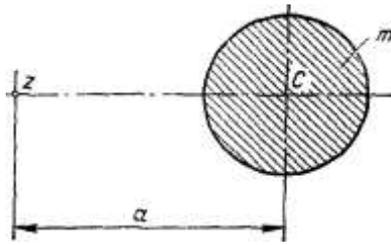


Рисунок 5.2 – Схема к определению момента инерции относительно оси параллельной центральной

Последнее уравнение позволяет вычислить осевой момент инерции тела сложной формы, составленного из простых геометрических тел.

Во многих случаях тела, образующие звенья механизмов, имеют еще более сложную конфигурацию и тогда приходится определять их момент инерции опытным путем. Ниже рассматривается наиболее часто применяемый способ определения момента инерции тела при помощи маятниковых качаний.

Установка для испытания

Тело 1, момент инерции которого надо определить (рисунок 5.3), подвешивают на ребро неподвижной призмы 2, отклоняют от вертикального положения на угол φ и затем отпускают. Испытуемое тело будет совершать колебания в плоскости, перпендикулярной ребру призмы, вокруг точки подвеса O .

Момент инерции маятника относительно оси подвеса и период его колебания связаны зависимостью:

$$J_C = \frac{T^2}{4\pi^2} mga - ma^2, \quad (5.4)$$

где J_C – центральный момент инерции, кг·м²;

m – масса тела, кг;

a – расстояние от центра тяжести C до точки подвеса O , м;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Эта формула приближенная, она справедлива при небольших углах колебания. При $\varphi \leq 7^\circ$ ошибка в определении осевого момента инерции не превышает 0,1%. В связи с этим необходимо следить за тем, чтобы угол отклонения осевой линии не превышал $7 \div 8^\circ$.

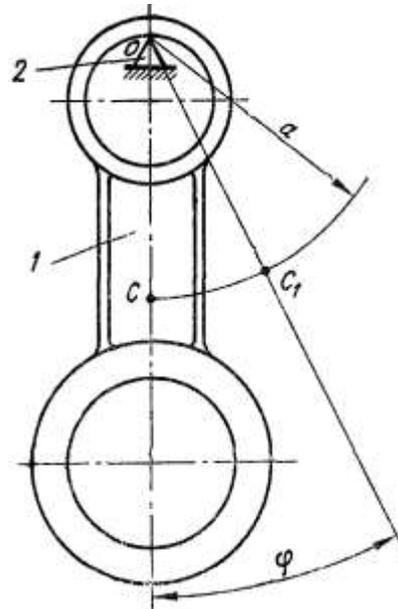


Рисунок 5.3 – Эскиз детали с основными параметрами:

1 – тело; 2 – неподвижная призма

Способ маятниковых качаний применяют для тел, которые удобно подвесить на ребро трехгранной призмы, например, для шатунов, кривошипов и звеньев удлиненной формы с отверстиями.

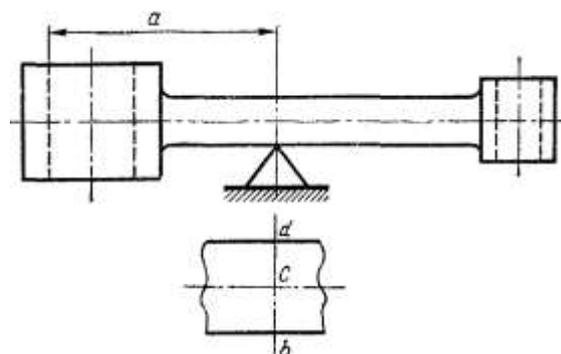


Рисунок 5.4 – Схема определения центра тяжести установкой на призме

При определении осевого момента инерции способом маятниковых качаний необходимо измерить период колебаний T , а также определить массу тела m и положение центра тяжести C относительно точки подвеса. Массу тела определяют взвешиванием. Положение центра тяжести тела,

имеющего ось симметрии, определяют установкой его на ребро трехгранной призмы в положении равновесия (рис. 5.4). Линейкой измеряют расстояние a от центра тяжести C до точки подвеса звена.

Более крупные звенья, также имеющие ось симметрии (рисунок 5.5), подвешивают на одной нити 1 , прикрепленной к двум концам звена 2 . К точке подвеса присоединяют отвес 3 . Точка пересечения C линии соответствующей нити подвеса с осью симметрии звена является центром тяжести звена.

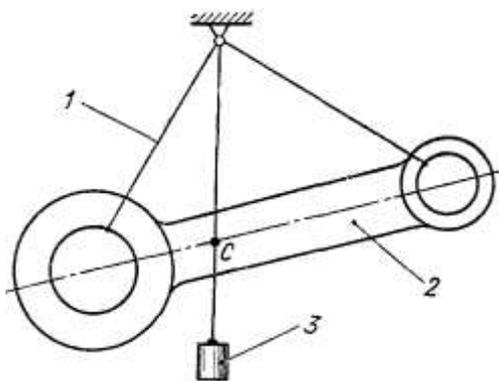


Рисунок 5.5 – Схема определения центра тяжести способом подвешивания:

1 – нить; 2 – тело; 3 – отвес

Порядок выполнения работы

Ознакомьтесь с установкой и способом определения момента инерции тела. В отчете о работе выполнить эскиз детали, указать точку подвеса и обозначить расстояние от этой точки до предполагаемого положения центра тяжести детали.

Определить взвешиванием массу детали и записать ее величину в отчет.

Определить центр тяжести детали установкой детали на призме (рисунок 5.4) или подвешиванием на нити, прикрепленной к детали (рисунок 5.5).

Измерить линейкой расстояние от центра тяжести до точки подвеса. Данные записать в отчет.

Подвесить деталь на призму и определить период колебания T . Подвешенную деталь отклонить от вертикального положения на угол не более 7° и отпустить. Деталь начнет совершать колебания. В тот момент, когда деталь придет в одно из крайних положений (правое или левое), следует включить секундомер и вести счет полным колебаниям. Полное колебание происходит тогда, когда деталь снова вернется в начальное положение. При счете «20», т. е. когда деталь совершит двадцать полных колебаний, секундомер выключить.

Измерение следует повторить не менее 3 раз и данные записать в таблицу 5.2 отчета.

Отчет о работе

1. Выполнить эскиз детали с указанием оси симметрии, точки подвеса и расстояния a от этой точки до центра тяжести.
2. Выполнить эскиз установки детали при определении положения центра тяжести.
3. Заполнить таблицу 5.2 результатов испытания.

Таблица 5.2 – Результаты испытания

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	Значение
Масса тела	m	кг	
Расстояние от центра тяжести до точки подвеса	a	м	
Число полных колебаний	n		
Время полных колебаний	1-й замер	t_{cp}	с
	2-й замер		
	3-й замер		
	Среднее		
Среднее время (период) колебания	$T_{cp} = t_{cp}/n$	с	
Центральный осевой момент инерции	J_C	кг·м ²	

4. Вывод.

Контрольные вопросы

1. При каком виде движения тела момент инерции характеризует инертность тела?
2. Какой момент инерции тела больше: относительно центральной оси или оси, параллельной центральной?
3. Какова размерность момента инерции?
4. Почему при определении момента инерции способом маятниковых качаний угол отклонения от вертикали должен быть небольшим?
5. Какими способами можно практически определить положение центра тяжести деталей сложной формы?
6. Почему рекомендуется измерять время большого числа полных колебаний, а затем вычислять время одного периода колебаний?

Лабораторная работа № 6

ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: изучить поведение материала при растяжении до разрушения; получить диаграмму растяжения и установить основные механические характеристики материала образца.

Теоретическое обоснование

Испытание на растяжение является наиболее распространенным видом испытания материалов, так как при нем наиболее ярко выявляются характеристики прочности и пластичности материалов. При статических испытаниях на растяжение определяют следующие основные механические характеристики материалов:

предел пропорциональности $\sigma_{ПЦ}$ – наибольшее напряжение, для которого справедлив закон Гука;

предел текучести σ_T – напряжение, при котором происходит рост пластической деформации без заметного увеличения нагрузки;

предел прочности σ_B – наибольшее условное напряжение, которое определяется делением максимальной нагрузки, выдержанной образцом до разрушения, на первоначальную площадь его поперечного сечения;

относительное остаточное удлинение при разрыве ε – величина, характеризующая пластичность материала. Она определяется отношением остаточного удлинения образца к его первоначальной длине;

относительное остаточное сужение ε_l – величина, также характеризующая пластичность материала. Она определяется отношением изменения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к первоначальной площади поперечного сечения.

Результаты испытания образца на растяжение наиболее наглядно можно представить диаграммой, выражающей зависимость удлинения от

нагрузки. Диаграмма растяжения дает возможность определить пределы текучести, прочности и относительное удлинение.

На рисунке 6.1 показан стандартный металлический образец, предназначенный для испытания на растяжение и его размеры.

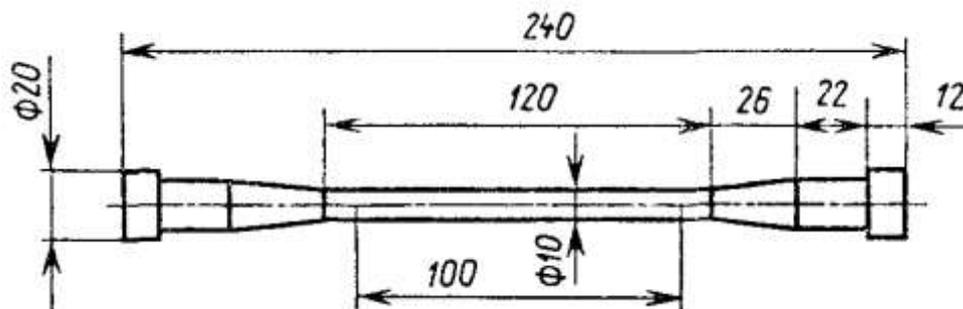


Рисунок 6.1 – Металлический образец для испытания

Машина для испытания

При испытании на растяжение образец должен быть закреплен в захватах машины таким образом, чтобы не возникали перекосы, и прилагаемая нагрузка действовала по продольной оси образца. Затем образец подвергается принудительному удлинению путем перемещения одного из захватов машины. Перемещение захвата производится плавно и непрерывно с небольшой скоростью (не более 20 мм/мин). При несоблюдении этих условий результаты испытания окажутся неверными.

Для проведения испытаний на растяжение можно использовать универсальную испытательную машину УММ-5.

Машина УММ-5, (рисунок 6.2) снабжена универсальными захватами 1 и 2. При установке образца для испытания на растяжение нижний захват 2 перемещается вручную вдоль направляющих колонн 5 рукояткой. После закрепления образца в захватах машины включают электродвигатель 3, который через коробку скоростей вращает гайку, при этом винт 4 перемещает нижний захват 2 вниз.

Закрепленный в машине образец соединяет верхний и нижний захваты, поэтому перемещение нижнего захвата повлечет за собой перемещение верхнего захвата. Последний связан через рычажную систему с маятником б,

который будет отклоняться от вертикального положения. Сила, растягивающая образец, определяется углом отклонения маятника от вертикального положения.

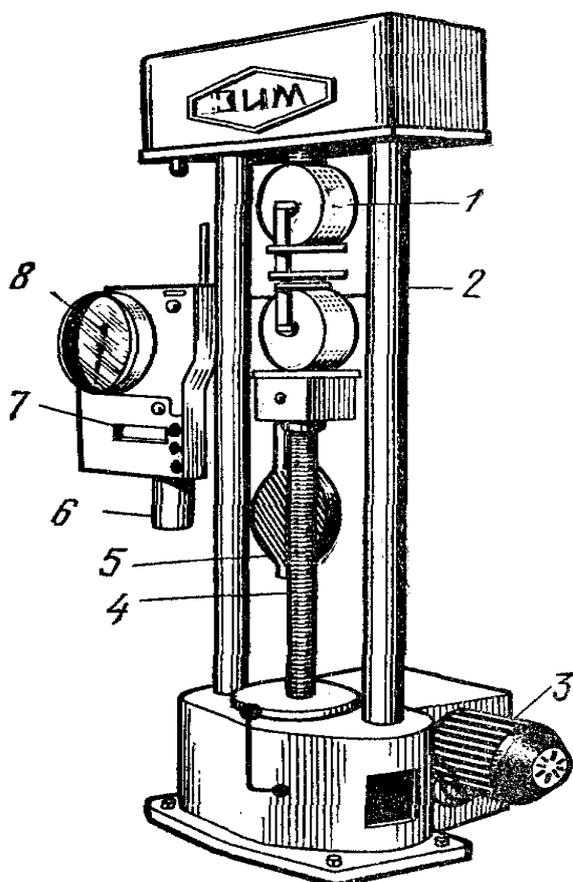


Рисунок 6.2 – Машина УММ–5:

1, 2 – захваты; 3 – электродвигатель;
4 – винт; 5 – направляющие колонны;
6 – маятник; 7 – пишущее
устройство; 8 – шкала нагрузок

Отклонение маятника передается на механизм, перемещающий стрелку круговой шкалы нагрузок 8.

Наибольшая нагрузка образца зависит от веса грузов, установленных на нижнем конце маятника. Отсчет величины нагрузки ведут по шкале, соответствующей грузу на маятнике.

Результаты испытания образца наиболее наглядно выражаются диаграммой, вычерченной в координатах «нагрузка – изменение длины образца». Для вычерчивания диаграммы машина снабжена пишущим устройством (карандаш) и барабаном, на который наматывается миллиметровая бумага 7.

Изменение длины образца вычерчивается на диаграмме в масштабе 10:1. Масштаб диаграммы по нагрузке зависит от грузов на маятнике.

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с устройством машины, на которой будут проводиться испытания, в отчет записать: тип машины, цену деления шкалы силоизмерительного устройства, масштаб записи диаграммы по нагрузке и удлинению.

Закрепить образец в захватах машины.

Проверить работу диаграммного аппарата, для чего следует повернуть барабан вхолостую и получить нулевую линию.

Включить электродвигатель испытательной машины и наблюдать за процессом растяжения образца.

После разрушения образца выключить электродвигатель и вынуть из захватов машины обе части образца.

Записать значение наибольшей нагрузки $N_{ПЧ}$ по шкале силоизмерительного устройства, снять с барабана бумагу с диаграммой растяжения образца и приступить к обработке результатов испытания.

Обе части разрушенного образца сложить вместе и замерить расстояние l_1 , диаметр образца в месте разрыва и определить площадь поперечного сечения N_1 в месте разрыва.

Произвести обработку диаграммы растяжения, которая получена при испытании образца на машине УММ-5. На диаграмму наносят координатные оси. Оси абсцисс (ось удлинения) совмещают с нулевой линией диаграммы, а для проведения оси ординат (оси нагрузок) находят начало координат – точку O , продолжая прямолинейный участок диаграммы до пересечения осью абсцисс. Таким образом, из рассмотрения исключается начальный криволинейный участок диаграммы, который возникает вследствие первоначального обмятия головок образца в захватах машины.

На диаграмме (рисунок 6.3) отмечают характерные точки: точка A – начало участка, параллельного оси абсцисс, который называется площадкой текучести; точка B – конец площадки текучести; точка C соответствует максимальной нагрузке, а точка D – моменту разрыва образца. Из точки D проводят линию, параллельную прямолинейному участку диаграммы. Эта линия отсекает на оси удлинения отрезок Δl , равный величине остаточного удлинения образца в масштабе записи диаграммы.

По полученным при испытании данным вычисляют механические характеристики материала.

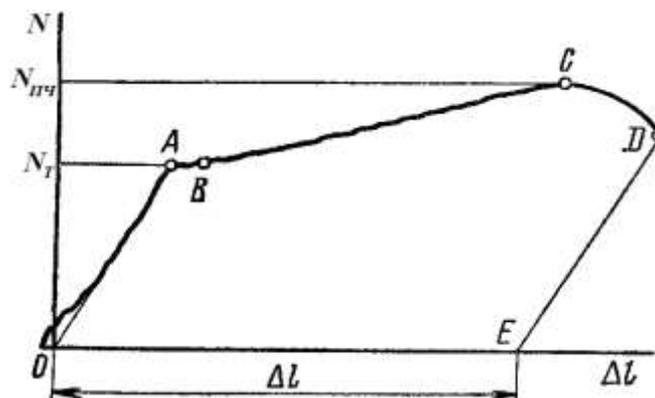


Рисунок 6.3 – Диаграмма растяжения

Предел текучести:

$$\sigma_T = \frac{N_T}{A_0}, \quad (6.1)$$

где N_T – нагрузка, соответствующая площадке текучести, Н;

A_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Предел прочности:

$$\sigma_B = \frac{N_{ПЧ}}{A_0}, \quad (6.2)$$

$N_{ПЧ}$ – наибольшая нагрузка, предшествующая разрыву образца, Н.

Относительное остаточное удлинение:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100\%, \quad (6.3)$$

где l_0 – расчетная длина образца;

l_1 – длина расчетной части образца после разрыва.

Относительное остаточное сужение:

$$\varepsilon_1 = \frac{A_0 - A_1}{A_0} 100\%, \quad (6.4)$$

где A_1 – площадь поперечного сечения образца в месте разрыва.

Отчет по работе

1. Тип и наименование испытательной машины.
2. Размеры образца до испытания и после оформить в виде таблицы 6.1.

Таблица 6.1 – Размеры образца

Размеры до испытания			Размеры после испытания		
Диаметр	d_0 , мм		Диаметр шейки	d_1 , мм	
Расчётная длина	l_0 , мм		Расчётная длина	l_1 , мм	
Площадь поперечного сечения	A_0 , мм ²		Площадь поперечного сечения образца в месте разрыва	A_1 , мм ²	

3. Обработать результаты диаграммы в виде таблицы 6.2.

Таблица 6.2 – Механические характеристики

Характеристики прочности		Характеристики пластичности		
предел текучести σ_T , МПа	предел прочности σ_B , МПа	абсолютное остаточное удлинение Δl , мм	относительное остаточное удлинение ε , %	относительное остаточное сужение ε_1 , %

4. Построить условную диаграмму растяжения в координатах (ε , σ).

5. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Как изменяются свойства материала, если он подвергался предварительной вытяжке за предел текучести?
2. Что называется пределом текучести и пределом, прочности?
3. Какие механические свойства материала можно определить по диаграмме растяжения?
4. Для какого участка диаграммы растяжения справедлив закон Гука?
5. На какую площадь сечения образца нужно делить максимальную нагрузку, которую выдержал образец до разрушения при определении предела прочности?
6. Как определяется предел текучести, если на диаграмме растяжения имеется участок, параллельный оси удлинения?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОГИБОВ И УГЛОВ ПОВОРОТА СЕЧЕНИЯ БАЛОК ПРИ ПРЯМОМ ИЗГИБЕ

Цель работы: определить опытным путем величины прогибов и углов поворота сечений балки и сравнить их с величинами, полученными путем теоретических расчетов.

Теоретическое обоснование

Под действием внешних сил балки деформируются таким образом, что их продольная ось искривляется. Изогнутую ось балки называют упругой линией. Перемещение поперечных сечений балок при изгибе характеризуется двумя величинами: прогибом и углом поворота.

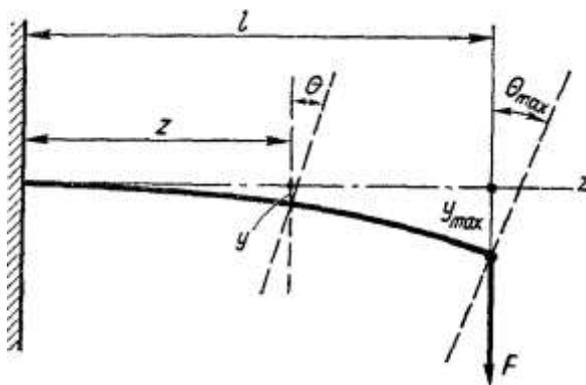


Рисунок 7.1 – Схема консольной балки

На рисунке 7.1 показана консольная балка, нагруженная на свободном конце сосредоточенной силой F . Для такой балки уравнение упругой линии имеет вид:

$$y = -\frac{F \left(l \cdot \frac{z^2}{2} - \frac{z^3}{6} \right)}{EJ_x}, \quad (7.1)$$

где y – прогиб (перемещение центра тяжести поперечного сечения в направлении, перпендикулярном к оси балки);

l – длина балки;

z – расстояние сечения от заделки;

E – модуль продольной упругости;

J_x – осевой момент инерции поперечного сечения балки относительно нейтральной оси.

Уравнение углов поворота сечений такой балки

$$\theta = -\frac{F}{EJ_x} \left(lz - \frac{z^2}{2} \right). \quad (7.2)$$

Чтобы вычислить прогиб или угол поворота какого-либо сечения балки, необходимо в эти уравнения подставить значение z , равное расстоянию данного сечения от опоры балки.

Для различных случаев нагружения балок прогиб можно определить методом Мора с применением правила Верещагина или по уравнению упругой линии.

Перемещения сечений балки должны быть такими, чтобы материал работал только при упругих деформациях. Поэтому при определении перемещений опытным путем следует вычислить наибольший изгибающий момент, при котором деформация будет упругой. В зависимости от схемы нагружения и размеров балки определяют наибольшую нагрузку.

Установка для испытания

При исследовании изгиба консольной балки, в данной работе используется специально изготовленная установка, схема которой представлена на рисунке 7.2.

Балка 1 прямоугольного сечения одним концом жестко закреплена в специальном кронштейне 4 . На другом конце прикреплен штанга, на которую накладывают грузы F . Прогибы балки измеряют индикатором 2 , а углы поворота – индикатором 5 , который воспринимает перемещение рычага 3 , закрепленного на балке.

Индикаторы можно устанавливать на рычаг 6 относительно любой точки по длине балки и измерять прогибы и углы поворота сечений балки на любых расстояниях l_1 и l_2 от места ее заделки.

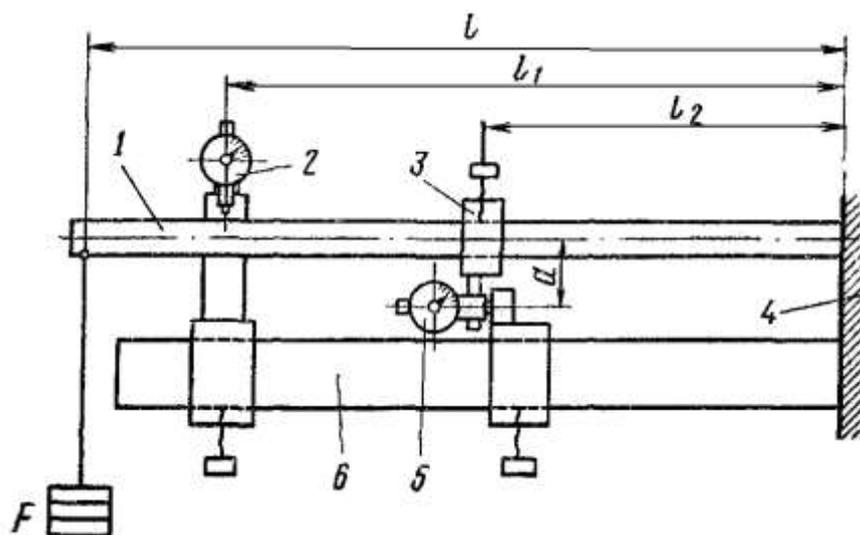


Рисунок 7.2 – Схема установки для исследования изгиба консольной балки:

*1 – испытуемая балка; 2, 5 – индикаторы; 3 – рычаг крепления индикатора;
4 – кронштейн; 6 – неподвижный рычаг*

Порядок выполнения работы

Ознакомиться с установкой и методом вычисления перемещений.

Вычислить наибольшую нагрузку.

Установить индикаторы в местах, намеченных для измерения перемещений, например

$$l_1 = \frac{l}{2}; \quad l_2 = \frac{3}{4}l.$$

Положить небольшой груз на штангу и записать показания индикаторов как начало отсчета.

Положить остальной груз на штангу и записать показания индикаторов 2 и 5. Прогиб фиксируют непосредственно по шкале индикатора 2, а для определения угла поворота следует учесть, что перемещение стержня индикатора 5 связано с углом поворота $\theta_{\text{рад}}$ и длиной рычага a . Если S – перемещение измерительного стержня индикатора 5, то $S = a \cdot \text{tg}\theta$.

Так как углы поворота сечения при упругих деформациях малы $\text{tg}\theta \approx \theta$, то $S = a\theta$, или

$$\theta = \frac{S}{a}. \quad (7.3)$$

Для получения более точных результатов испытание следует повторить два раза. Результаты свести в таблицу 7.2. Величины прогиба и угла поворота определяются как среднее арифметическое двух измерений.

Вычислить теоретическое значение прогибов и углов поворота для тех же сечений балки, для которых проводились измерения опытным путем.

Определить процент расхождения между величинами, полученными, опытным путем и вычисленными по теоретическим формулам сопротивления материалов (таблица 7.3).

Отчет о работе

1. Выполнить схему нагружения балки и расположение сечений, для которых определяются прогибы и углы поворота.

2. Выполнить эскиз поперечного сечения балки и схему установки. Заполнить таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Размеры и характеристики балки

Материал балки	Расстояние l , мм	Модуль продольной упругости E , МПа	Осевой момент инерции балки J_x , мм ⁴

3. Заполнить таблицу 7.2 записи результатов испытания.

Таблица 7.2 – Результаты испытания

Нагрузка, Н		Прогиб			Угол поворота			
F	ΔF	Расстояние сечения l_1 от опоры, мм	Отсчет по индикатору y , мм	Разность отсчетов Δy , мм	Расстояние сечения от опоры l_2 , мм	Отсчет по индикатору S , мм	Разность отсчета ΔS , мм	Приращение угла поворота $\Delta\theta$, рад
Средний прогиб $y_{ср}$, мм					Средний угол поворота $\theta_{ср}$, рад			

4. Определить теоретический прогиб $u_{\text{теор}}$ и угол поворота $\theta_{\text{теор}}$ сечений консольной балки с нагрузкой на свободном конце по формулам (7.1) и (7.2).

5. Вычислить процент расхождения между опытными и теоретическими результатами и оформить в виде таблицы 7.3.

Таблица 7.3 – Процент расхождения результатов

Прогиб			Угол поворота		
опытный	теоретический	% расхождения	опытный	теоретический	% расхождения

6. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется упругой линией балки?
2. Как перемещаются поперечные сечения балок при изгибе?
3. Во сколько раз изменятся прогибы балки, если нагрузку уменьшить в два раза?
4. Как изменится максимальный прогиб консольной балки, если длина вылета уменьшится в два раза?
5. Балки изготовлены из стали и чугуна, имеют одинаковые размеры и подвергаются действию одинаковых сил. У какой балки величина прогиба будет больше?
6. С какой точностью можно измерить величину прогиба при помощи индикатора?

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

Цель работы: исследовать явление потери устойчивости прямолинейной формы равновесия при осевом сжатии, проверить опытным путем формулу Эйлера для определения критической силы.

Теоретическое обоснование

У стержней, длина которых значительно больше поперечных размеров, при определенной величине осевой сжимающей силы может происходить потеря устойчивости прямолинейной формы равновесия. Это явление называют продольным изгибом, а величину осевой силы, при которой сжатый стержень теряет прямолинейную форму равновесия, – критической силой $F_{кр}$. Ее можно определить по формуле Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EJ_{\min}}{(\mu l)^2}, \quad (8.1)$$

где E – модуль продольной, упругости для материала стержня, МПа;

J_{\min} – минимальный осевой момент инерции поперечного сечения стержня, мм⁴;

l – длина стержня, мм;

μ – коэффициент приведения длины, который зависит от способа крепления концов стержня.

Формула Эйлера применима лишь в том случае, если потеря устойчивости стержня происходит при напряжениях, меньших предела пропорциональности, т. е. для стержней, гибкость которых больше предельной гибкости $\lambda_{пред}$. Предельная гибкость зависит от упругих свойств материала и вычисляют ее по формуле

$$\lambda_{пред} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{ПЦ}}}, \quad (8.2)$$

где $\sigma_{ПЦ}$ – предел пропорциональности материала стержня.

Величина критической силы зависит не только от материала и размеров стержня, но и от способа закрепления его концов. Поэтому в этой работе определение критической силы рекомендуется проводить при различных способах закрепления стержня.

Установка для испытания

Эту работу проводят на специально изготовленной установке, схема которой представлена на рисунке 8.1. Нагружение производят при помощи винта через тарированную пружину, о величине нагрузки судят по осадке пружины.

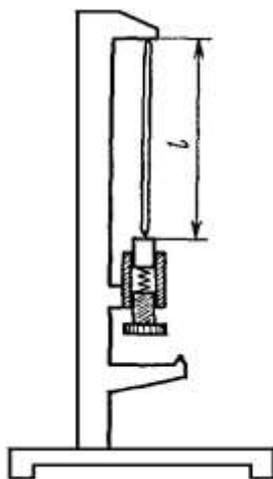


Рисунок 8.1 – Схема установки для определения критической силы

Порядок выполнения работы

Измерить длину и размеры поперечного сечения стержня.

Установить стержень в зажимах испытательной установки. В отчет записать характер крепления верхнего и нижнего концов стержня (таблица 8.1). Нагружение производят поворотом винта, сжимающего пружину. Во время нагружения следует внимательно наблюдать за величиной нагрузки и поведением стержня.

При достижении определенной нагрузки стержень начнет изгибаться и рост нагрузки прекращается. Это значение нагрузки является критическим. При дальнейшем перемещении подвижного захвата прогиб стержня возрастет, а нагрузка остается почти постоянной.

Записать в отчет величину критической силы.

Вычислить предельную гибкость стержня по формуле (8.2) и расчетную по формуле (8.3) чтобы убедиться в применимости формулы Эйлера ($\lambda > \lambda_{\text{пред}}$) и критическую силу по формуле (8.1).

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}}, \quad (8.3)$$

где i_{\min} – минимальный радиус инерции, равный

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{A}}, \quad (8.4)$$

A – площадь поперечного сечения стержня, мм².

Сравнить величину критической силы, полученной опытным путем, с вычисленной по формуле Эйлера. Определить процент расхождения по формуле

$$\Delta F_{\text{кр}} = \frac{F_{\text{кр.расч}} - F_{\text{кр.опыт}}}{F_{\text{кр.опыт}}} 100\%. \quad (8.5)$$

Отчет о работе

1. Выполнить схемы закрепления концов стержня и их нагружения.
2. Заполнить таблицу 8.1 записи результатов испытания.

Таблица 8.1 – Результаты испытания

Характеристика стержня и результаты испытания	Способ закрепления концов стержня		
	оба конца закреплены шарнирно, $\mu = 1$	один – шарнирно, другой – жестко, $\mu = 0,7$	оба конца закреплены жестко, $\mu = 0,5$
Длина стержня l , мм			
Диаметр стержня d , мм			
Модуль продольной упругости E , МПа (Н/мм ²)			
Наименьший момент инерции J_{\min} , мм ⁴			
Гибкость стержня λ			
Критическая сила $F_{\text{кр}}$, Н	расчетная		
	опытная		
Расхождение $\Delta F_{\text{кр}}$, %			

3. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое продольный изгиб?
2. Какую величину сжимающей силы называют критической?
3. По какой формуле можно определять величину критической силы?
4. Укажите область применения формулы Эйлера.
5. Как влияет характер закрепления концов стержня на величину критической силы?
6. Как при испытании сжатых стержней выяснить, устойчива ли его прямолинейная форма равновесия?
7. Укажите формулу для вычисления гибкости стержня.
8. Что называется предельной гибкостью стержня?
9. Какие характеристики материала необходимо знать для вычисления предельной гибкости стержня?
10. Прямую ли форму стержень после разгрузки, гибкость которого больше предельной, если он был подвергнут испытанию нагрузкой, равной критической силе?
11. Какое практическое значение имеет определение критической силы сжатых стержней?
12. Зависит ли величина критической силы от упругих свойств материала стержня?
13. Во сколько раз изменится величина критической силы, если при испытании заменить шарнирные опоры стержня на опоры с жестким защемлением?

Лабораторная работа № 9

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗУБЧАТОГО РЕДУКТОРА

Цель работы: ознакомиться с конструкцией редуктора и назначением его деталей; научиться составлять кинематические схемы реального зубчатого редуктора и определять основные параметры зубчатых пар редуктора путем их замера и расчета.

Теоретическое обоснование

В зубчатой передаче движение передается с помощью зацепления пары зубчатых колес. Меньшее зубчатое колесо принято называть шестерней, большее – колесом.

В прямозубой передаче зубья входят в зацепление сразу по всей длине. Прямозубые передачи применяют при невысоких и средних окружных скоростях.

Цилиндрические колеса, у которых зубья расположены по винтовым линиям на делительном цилиндре, называют косозубыми. В отличие от прямозубой в косозубой передаче зубья входят в зацепление не сразу по всей длине, а постепенно.

Редуктором называется механизм, понижающий угловую скорость и увеличивающий вращающий момент.

Редукторы классифицируются по типам, типоразмерам и исполнениям.

Двухступенчатые редукторы выполняются по развернутой (рисунок 9.1, *а*), раздвоенной (рисунок 9.1, *б*) и соостной схеме (рисунок 9.1, *в*).

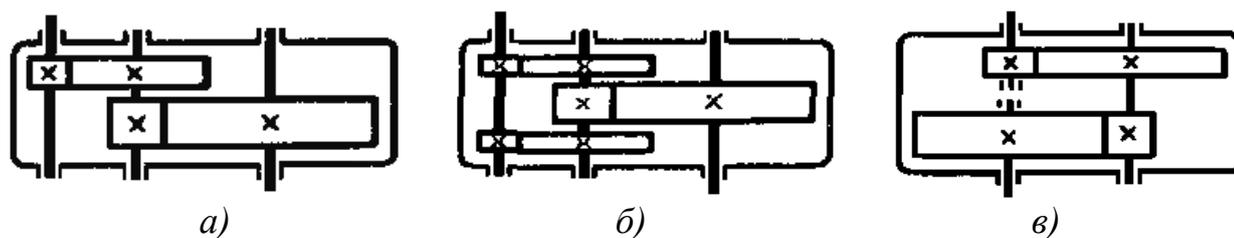


Рисунок 9.1 – Кинематические схемы цилиндрических двухступенчатых редукторов

Оборудование и принадлежности

Для выполнения данной работы необходимо иметь: цилиндрический одно- или двухступенчатый редуктор с прямо- или косозубыми колесами; набор гаечных ключей; отвертки; молоток с мягким бойком; масштабную линейку; штангенциркуль; штангензубомер; угломер универсальный.

Порядок выполнения работы

Произвести внешний осмотр редуктора, изучить конструкцию корпуса и назначение деталей, наметить план разборки редуктора.

Ознакомиться с внутренним устройством редуктора (рисунок 9.2); обратить внимание на способ смазки зацепления и подшипников.

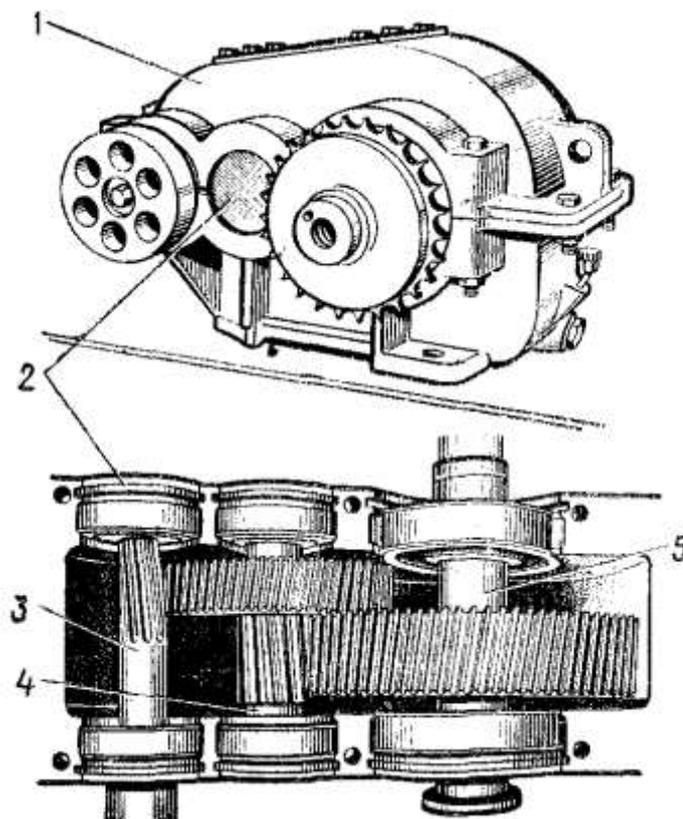


Рисунок 9.2 – Двухступенчатый редуктор:

1 – крышка редуктора; 2 – подшипниковые узлы; 3 – входной вал; 4 – промежуточный вал; 5 – выходной вал

Путем замеров и расчетов определить основные размеры и параметры зубчатого зацепления, указанные в таблице 9.1 отчета.

Произвести замер угла β наклона зубьев непосредственно по диаметру выступов с помощью универсального угломера (рисунок 9.3, а) или по отпечаткам зубьев на бумаге (рисунок 9.3, б), предварительно нанеся на них тонкий слой краски.

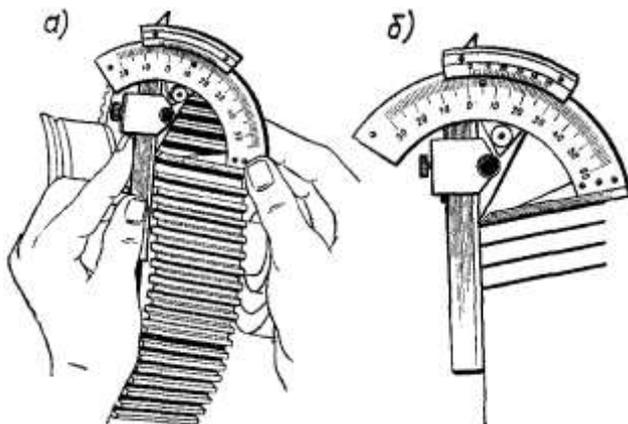


Рисунок 9.3 – Способы измерения угла наклона зубьев

Межосевое расстояние сравнить с ГОСТом для данного типа редуктора. Модуль зацепления m_n округлить до ближайшего значения по ГОСТ 8563 – 66.

После выполнения всех замеров, необходимых для заполнения таблицы отчета и уяснения внутренней конструкции редуктора, собрать редуктор до установки крышки корпуса, проверить качество (плавность) зацепления колес, установить крышку и закрепить ее болтами.

Составить и вычертить в масштабе кинематическую схему редуктора в соответствии с требованиями ГОСТ 2.402 – 68.

Составить характеристику редуктора по его параметрам и схеме, дать сравнительную оценку данной конструкции с другими однотипными конструкциями, сравнить параметры данного редуктора с параметрами по ГОСТ 2185 – 66.

Отчет о работе

1. Записать условное обозначение типоразмера редуктора.
2. Определить основные геометрические и кинематические параметры цилиндрического редуктора и результаты занести в таблицу 9.1.

Таблица 9.1 – Основные размеры и параметры зубчатого зацепления цилиндрического редуктора

Наименование величины и размерность	Обозначение	Способ определения	Результаты измерений и вычислений	
			быстроходная ступень	тихоходная ступень
Число зубьев шестерни	$z_1, (z_3)$	Сосчитать		
Число зубьев колеса	$z_2, (z_4)$	Сосчитать		
Передаточное число ступени	u_1	$u_1 = z_2 / z_1$		
	u_2	$u_2 = z_4 / z_3$		
Общее передаточное число редуктора	$u_{об}$	$u_{об} = u_1 u_2$		
Межосевое расстояние, мм	a_w	Измерить		
Угол наклона зуба по вершинам, град	β_a	Измерить		
Угол наклона зуба по делительному диаметру, град	β	$\beta = \arctg \frac{z_1}{z_1 + 2} \cdot \operatorname{tg} \beta_a$		
Модуль нормальный, мм	m_n	$m_n = \frac{2a_w}{(z_1 + z_2)} \cos \beta$		
Модуль торцовый, мм	m_t	$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$		
Диаметры делительных окружностей	$d_1, (d_3)$	$d_1 = m_t z_1$		
	$d_2, (d_4)$	$d_2 = m_t z_2$		
Диаметры вершин зубьев, мм	$d_{a1}, (d_{a3})$	$d_{a1} = d_1 + 2m_n$		
	$d_{a2}, (d_{a4})$	$d_{a2} = d_2 + 2m_n$		
Ширина венцов колес, мм	$b_1, (b_3)$	Измерить		
	$b_2, (b_4)$	Измерить		

3. Выполнить кинематическую схему редуктора.

4. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Каждый ли редуктор может быть обратимым и как называют такие механизмы?
2. По каким признакам классифицируют редукторы?
3. Чем объясняется неодинаковая ширина венца шестерни и колеса зубчатой пары редуктора?
4. В каких случаях шестерню изготавливают заодно с валом?
5. По каким параметрам регламентируются стандартные редукторы?

Лабораторная работа № 10

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНОГО РЕДУКТОРА

Цель работы: ознакомиться с конструкцией редуктора и назначением его деталей; определить основные параметры червячной пары путем замера и расчета; изучить способы регулировки зацепления червячной пары.

Теоретическое обоснование

Червячная передача относится к передачам зацеплением с перекрещивающимися осями валов. Существенное различие червячной передачи от зубчатой заключается в том, что окружные скорости червяка и колеса не совпадают ни по величине, ни по направлению. Поэтому червячные передачи имеют следующие особенности:

- а) передаточное число не может быть выражено отношением диаметров;
- б) начальные окружности не перекатываются, а скользят;
- в) скорость скольжения в передаче весьма значительная.

Показателями точности монтажа силовых червячных передач являются: величина и характер пятна контакта между зубьями колеса и витками червяка; величина смещения средних плоскостей колеса и червяка; величина отклонения от номинального межосевого расстояния, определяющего величину радиального зазора в зацеплении.

Таким образом, правильность зацепления червячной пары является одним из существенных факторов, характеризующих надежность передачи.

Оборудование и принадлежности

Для выполнения данной работы необходимо иметь: червячный редуктор; набор гаечных ключей и отверток; штангенциркуль; масштабную линейку; набор регулировочных прокладок.

Порядок выполнения работы

Произвести внешний осмотр редуктора и наметить план его разборки.

Замерить 2 – 3 раза расстояние между осями валов как показано на рисунке 10.1 и округлить его до ближайшего стандартного по ГОСТу.

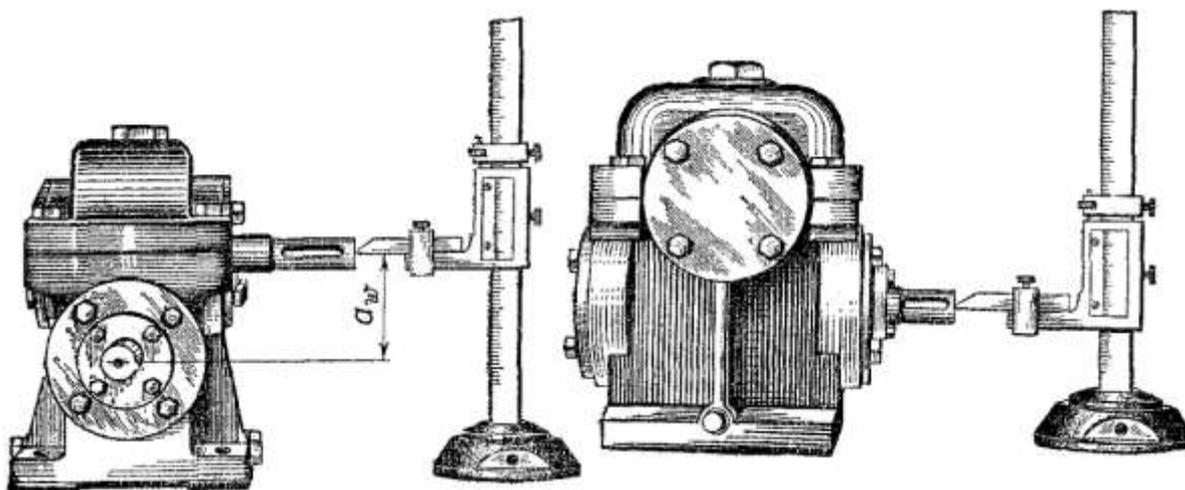


Рисунок 10.1 – Определение межосевого расстояния

Отвинтить крепежные элементы крышки корпуса и крышек подшипниковых узлов, снять крышки и ознакомиться с внутренним устройством редуктора. Особое внимание следует обратить на способ регулировки подшипников и правильность зацепления червячной пары.

Вынуть червячное колесо редуктора вместе с валом, а также червяк с деталями на нем (детали и подшипники с валов не снимать).

Ознакомиться с конструкцией колеса и червяка, путем замера и расчета определить их размеры и параметры. Результаты занести в таблицу 10.1 отчета. Параметры червячной пары, регламентированные стандартом, сверить с ГОСТ 2144 – 66.

Выполнить кинематическую схему редуктора и эскизы элементов зацепления в соответствии с ГОСТ 2.402 – 68.

Произвести сборку редуктора в последовательности, обратной разборке.

На очищенные 3 – 4 зуба колеса тонким равномерным слоем нанести краску и, проворачивая червяк, наблюдать пятно контакта на зубьях колеса. Если оно смещено влево или вправо, то соответствующим подбором регулировочных прокладок δ_1 и δ_2 показанных на рисунке 10.2 добиться, чтобы пятно контакта расположилось симметрично, т. е. чтобы средняя плоскость червячного колеса проходила через центр червяка. Этим обеспечивается нормальное зацепление червячной пары.

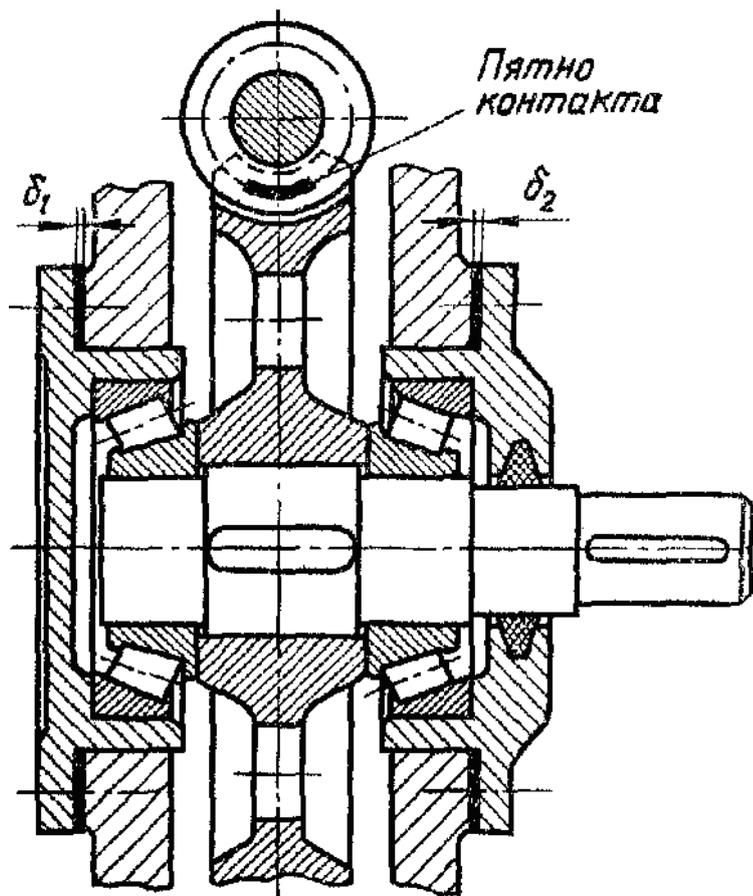


Рисунок 10.2 – Регулирование пятна контакта

Отчет о работе

1. Записать условное обозначение типоразмера редуктора.
2. Основные параметры исследуемого редуктора занести в таблицу 10.1.
3. Выполнить эскизы червяка и червячного колеса, кинематическую схему редуктора.

Таблица 10.1 – Основные размеры и параметры червячной пары

Наименование величины и размерность	Обозначение	Способ определения	Значение величин
Межцентровое расстояние, мм	a_w	Замерить	
Число зубьев колеса	z_2	Сосчитать	
Число заходов червяка	z_1	Сосчитать	
Передаточное число	u	$u = z_2 / z_1$	
Диаметр вершин зубьев, мм	d_{a1}	Замерить	
	d_{a2}	Замерить	
Осевой шаг червяка, мм	P_x	Замерить	
Осевой модуль, мм	m_x	$m_x = P_x / \pi$	
Диаметр делительной окружности червяка, мм	d_1	$d_1 = d_a - 2m_x$	
Диаметр делительной окружности колеса, мм	d_2	$d_2 = z_2 m_x$	
Коэффициент диаметра червяка	q	$q = d_1 / m_x$	
Угол подъема винтовой линии, град	γ	$tg\gamma = z_1 / q$	
Диаметры впадин зубьев, мм	d_{1f}	$d_{1f} = d_1 - 2,4m_x$	
	d_{2f}	$d_{2f} = d_2 - 2,4m_x$	
Длина нарезанной части червяка, мм	b_1	Замерить	
Ширина венца колеса, мм	b_2	Замерить	

4. Вывод о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. По каким признакам классифицируются червячные редукторы?
2. Какими особенностями характеризуются червячные передачи?
3. Что является показателем точности монтажа червячных передач?
4. Как обеспечивается соосность средней плоскости колеса и червяка?
5. Из каких материалов изготавливают червяки и венцы червячных колес?
Назовите факторы, влияющие на выбор материала.
6. По каким схемам выполняют червячные редукторы? Дайте характеристику каждой схеме.
7. Может ли червячный редуктор быть обратимым?

Содержание

Введение.....	2
Указания к выполнению лабораторных работ.....	3
Техника безопасности при выполнении лабораторных работ.....	4
Лабораторная работа № 1 Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил.....	5
Лабораторная работа № 2 Определение моментов сил относительно оси и реакций опор пространственно нагруженных тел.....	10
Лабораторная работа № 3 Определение центра тяжести плоских фигур.....	14
Лабораторная работа № 4 Уравновешивание вращающихся масс.....	19
Лабораторная работа № 5 Определение моментов инерции твердых тел.....	24
Лабораторная работа № 6 Испытание материалов на растяжение.....	31
Лабораторная работа № 7 Определение прогибов и углов поворота сечения балок при прямом изгибе.....	37
Лабораторная работа № 8 Определение критической силы сжатого стержня.....	42
Лабораторная работа № 9 Изучение конструкции цилиндрического зубчатого редуктора.....	46
Лабораторная работа № 10 Изучение конструкции червячного редуктора.....	50