

5. Какая существует связь между моментом силы и угловым ускорением для равноускоренного движения диска, момент инерции которого J ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

Изучение динамики вращательного движения

Цель работы: изучение основного уравнения динамики вращательного движения твердого тела и определение момента инерции тел.

Методика измерений

Принцип работы установки иллюстрирует действие основного уравнения динамики вращательного движения твердого тела (2.19):

$$\vec{M} = J\vec{\varepsilon}, \quad (2.48)$$

где M - вращающий момент; J - момент инерции тела относительно оси вращения; ε - угловое ускорение вращающегося тела.

Маятник (маятник Обербека), используемый в работе, представляет собой маховик крестообразной формы (рис.2.12).

По четырем взаимно перпендикулярным стержням могут перемещаться грузы 11 массой m_1 каждый. На общей оси находится шкив, на который наматывается нить, перекинутая через другой шкив 5. На конце нити перемещается “падающая” масса m (8).

Под действием “падающей” массы m нить разматывается и приводит маховик в равноускоренное вращательное движение, при этом угловое ускорение крестовины:

$$\varepsilon = \frac{a}{r}, \quad (2.49)$$

где a - линейное ускорение массы m ; r - радиус шкива.

Для равноускоренного движения смещение массы m :

$$h = \frac{at^2}{2}, \quad (2.50)$$

откуда находим

$$a = \frac{2h}{t^2}; \quad (2.51)$$

$$\varepsilon = \frac{2h}{t^2 r}; \quad (2.52)$$

где h - смещение массы m , t - время движения массы m .

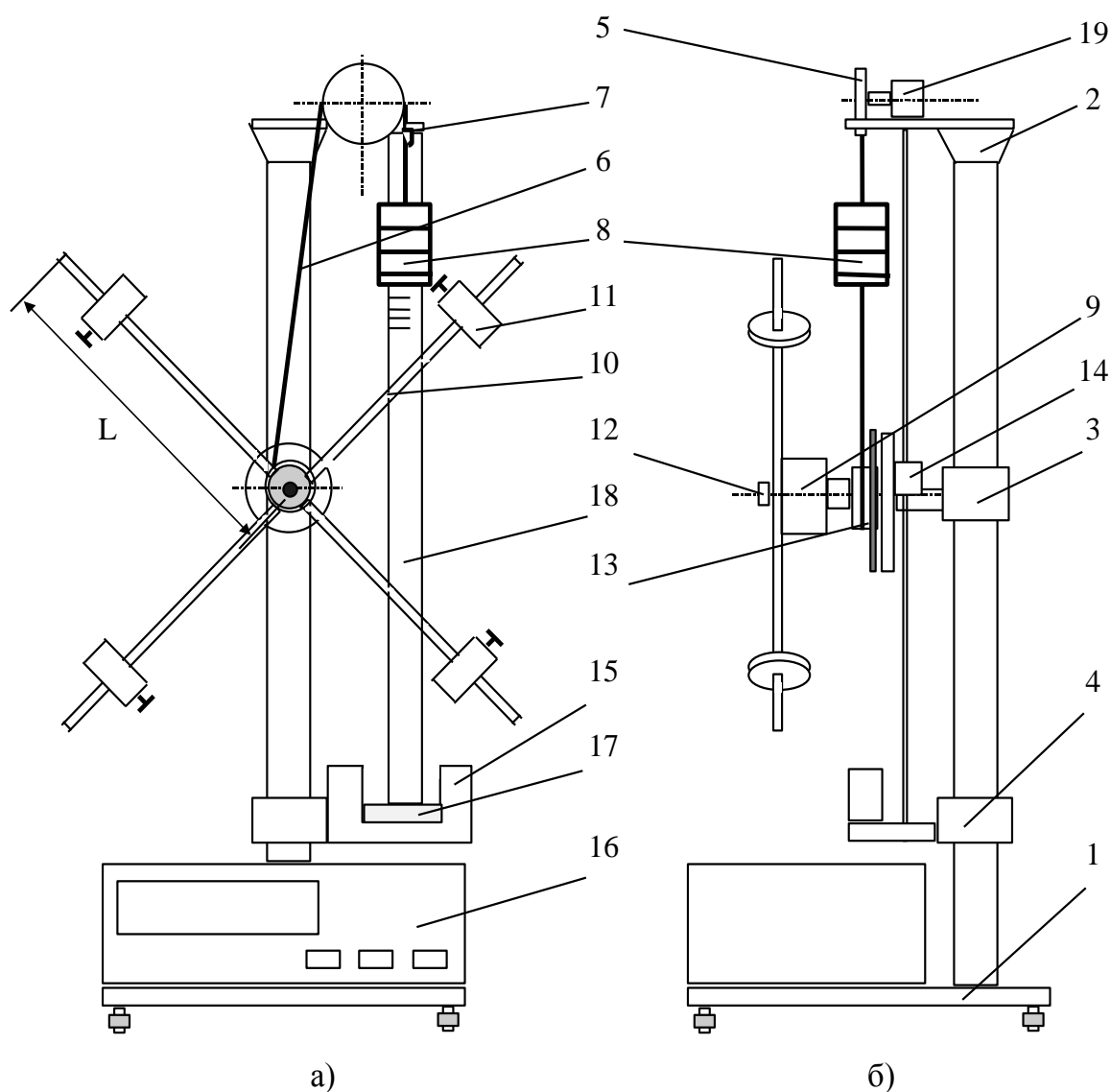


Рис. 2.12

Момент силы F , приложенной к шкиву, по определению

$$M = F \cdot r. \quad (2.53)$$

Сила F (натяжение нити) может быть найдена из уравнения динамики поступательного движения массы m , подвешенной на нити (рис.2.13): $ma = mg - F$, поэтому $F = m(g - a)$ и

$$M = m(g - a)r, \quad (2.54)$$

Используя формулу (2.48) и вычисляя из опыта h и t , можем записать расчетную формулу для экспериментального определения момента инерции крестовины:

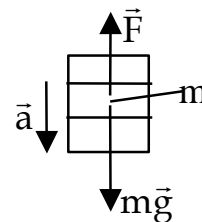


Рис. 2.13

$$J_{\text{эксп}} = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{m \left(g - \frac{2h}{t^2} \right) r^2 t^2}{2h}. \quad (2.55)$$

Теоретическое значение момента инерции крестовины

$$J_{\text{теор}} = J_0 + 4m_1 R^2 + 4 \frac{m_2 L^2}{3}, \quad (2.56)$$

где J_0 - суммарный момент инерции двухступенчатого шкива, оси и бобышки крестовины; $4m_1 R^2$ - момент инерции передвигных грузов крестовины; R - расстояние от оси вращения до центра массы m_1 ; m_1 - масса передвигных грузов; $\frac{4m_2 L^2}{3}$ - момент инерции всех четырех стержней крестовины без грузов m_1 ; L - длина стержня; m_2 - масса стержней.

Экспериментальная установка

Общий вид маятника изображен на рис.2.12. На вертикальной стойке крепятся три кронштейна: верхний 2, средний 3 и нижний 4. Положение всех кронштейнов на вертикальной стойке строго зафиксировано.

На верхнем кронштейне 2 крепится блок 5 изменения направления движения эластичной нити 6, на которой подвешен крючок 7 с грузами 8. Вращение блока 5 осуществляется в узле подшипников 19, который дает возможность уменьшить трение.

На среднем кронштейне 3 крепится электромагнит 14, который удерживает систему с грузами в неподвижном состоянии. На этом же кронштейне расположен узел подшипников 9, на оси которого с одной стороны закреплен двухступенчатый шкив 13, на котором имеется приспособление для закрепления нити 6. На другом конце оси находится крестовина 10, представляющая собой четыре металлических стержня с нанесенными на них рисками через каждые 10 мм, закрепленных в бобышке 12 под прямым углом друг к другу.

На каждом стержне могут свободно перемещаться и фиксироваться грузы 11, что дает возможность ступенчатого изменения момента инерции крестовины маятника. На нижнем кронштейне 4 крепится фотоэлектрический датчик 15, который выдает электрический сигнал на миллисекундомер 16 для окончания счета промежутков времени. На этом же кронштейне крепится резиновый амортизатор 17, о который ударяется груз при остановке.

Маятник снабжен миллиметровой линейкой 18, по которой определяется начальное и конечное положение грузов, а следовательно, и пройденный путь. Миллисекундомер 16 с цифровой индикацией времени закреплен на основании 1.

7. Произвести отсчет времени t движения маятника по миллисекундомеру. Записать измеренные значения t и h в табл.2.4.

8. Повторить измерения по п.п. 3...7 еще два раза и определить среднее значение времени \bar{t} .

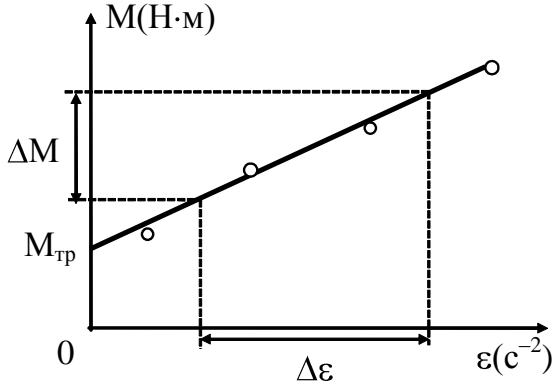


Рис.2.14

9. Повторить опыты по п.п. 1...8, добавляя по одному грузу на основной груз, не меняя положения грузов на крестовине.

10. Для средних значений времени \bar{t} рассчитать все значения ускорения a по формуле (2.51) и вращающего момента M по формуле (2.54). Определить угловое ускорение ϵ по формуле (2.52).

11. Результаты измерений представить в виде графика, отложив по горизонтальной оси ϵ , а по вертикальной оси – M (рис.2.14). С помощью графика определить момент инерции системы J , как угловой коэффициент построенного графика $\left(J = \frac{\Delta M}{\Delta \epsilon} \right)$, где ΔM и $\Delta \epsilon$ соответствуют друг другу.

Таблица 2.5

Большой шкив $r_2 = 4$ см

№ п.п	m кг	h м	t с	\bar{t} с	a м/ с ²	M Н· м	ϵ с ⁻²	$J_{\text{эк}}$ сп кг ·м ²	M тр Н· м
1									
2									
3									
1									
2									
3									
1									
2									
3									
1									
2									
3									

12. Найти момент силы трения $M_{\text{тр}}$ ($M_{\text{тр}}$ равен координате точки пересечения графика с осью M) (рис.2.14).

13. Прodelать те же измерения для шкива другого радиуса ($r_2 = 4$ см) и снова определить J и $M_{\text{тр}}$. Результаты измерений занести в табл.2.5.

14. Выключить установку, нажав на кнопку “Сеть”.

15. Рассчитать доверительную и относительную погрешность результата измерений момента инерции для одной серии опытов.

Контрольные вопросы

1. Напишите закон сохранения энергии применительно к данной работе.

2. Получите формулу для расчета вращающего момента M .

3. Что такое центр тяжести?

4. Чему равен момент сил тяжести всех частиц тела относительно любой горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

Определение момента инерции тела и скорости полета “пули”

Цель работы: изучение динамики вращательного движения твердого тела с помощью крутильного маятника.

Методика измерений

Рассмотрим систему, состоящую из “пули” и маятника (рис.2.15). “Пуля” выстреливается в маятник и застревает в пластине, вызывая отклонение маятника. Удар считается абсолютно неупругим, отклонение маятника от положения равновесия за время соударения незначительным. Механическая энергия системы при неупругом ударе уменьшается.

Сила тяжести маятника уравновешивается силой реакции подвеса. Кроме этой силы при ударе возникают горизонтальные силы в местах крепления проволок, препятствующие смещению оси маятника. Действие этих горизонтальных сил приводит к изменению импульса системы. В то же время моменты указанных сил относительно оси вращения маятника равны нулю, поскольку линии их действия проходят через ось.

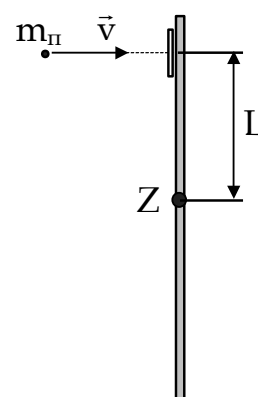


Рис. 2.15
(Вид сверху)