

# Лабораторная работа 1.04

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ВРАЩЕТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ (МАЯТНИК ОБЕРБЕКА)

### Цель работы:

Проверка основного закона динамики вращения.

Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.

### Требуемое оборудование

1. Лабораторный стенд для исследования вращательного движения.
2. Цифровой секундомер.

### Краткое теоретическое введение

Груз  $m$  (см. рис. 1.) подвешен на нити, которая перекинута через неподвижный блок Бл и намотана на ступицу Ст крестовины Кр. В ступице закреплены четыре спицы Сп, на каждой из которых размещен груз-утяжелитель  $m_{\text{ут}}$ . Расстояние  $R$  утяжелителей от оси вращения крестовины одинаково для всех утяжелителей. Это расстояние, можно изменять, изменяя тем самым момент инерции крестовины с утяжелителями.

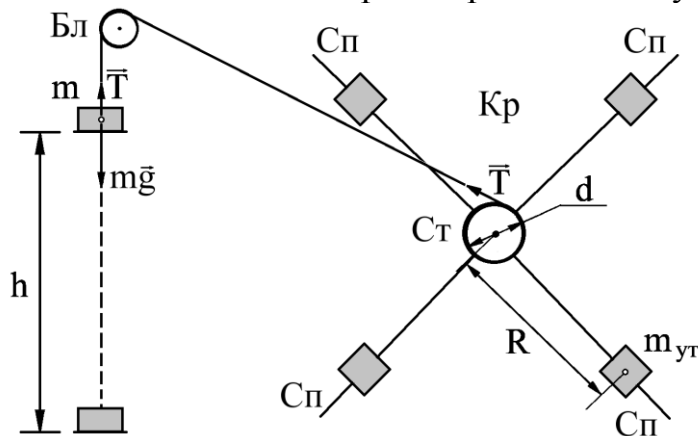


Рис. 1. Схема измерительного стенда

Груз  $m$ , опускаясь, раскручивает крестовину. Если пренебречь силой сопротивления воздуха, то груз движется равноускорено под действием векторной суммы силы тяжести  $mg$  и силы  $T$  натяжения нити. Его ускорение  $a$  определяется вторым законом Ньютона:

$$ma = mg - T. \quad (1)$$

Это ускорение можно вычислить по формуле

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

где  $h$  расстояние, пройденное грузом за время  $t$  от начала движения.

Нить не проскальзывает по крестовине, поэтому угловое ускорение  $\varepsilon$  крестовины согласовано с линейным ускорением груза. Это угловое ускорение вычисляется по формуле

$$\varepsilon = \frac{2a}{d}, \quad (3)$$

где  $d$  диаметр крестовины.

Используя уравнение (1) выразим силу натяжения нити:

$$T = m(g - a), \quad (4)$$

и найдем момент этой силы:

$$M = \frac{md}{2}(g - a). \quad (5)$$

Предполагая, что кроме момента силы натяжения на раскручивание крестовины влияет тормозящий момент силы трения, запишем основной закон динамики вращения для крестовины в виде

$$I\varepsilon = M - M_{\text{тр}}. \quad (6)$$

Здесь  $I$  момент инерции крестовины с утяжелителями.

В соответствии с теоремой Штейнера момент инерции крестовины зависит от расстояния между центрами грузов и ось вращения по формуле

$$I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2, \quad (7)$$

где  $I_0$  сумма момента инерции крестовины без утяжелителей и собственных центральных моментов утяжелителей.

### Порядок выполнения работы

1. Списать или сфотографировать данные об установке на рабочем месте.
2. Ознакомится с лабораторным стендом (см. рис.2). Отвернуть рукоятку 2 сцепления крестовин, так чтобы передняя крестовина вращалась независимо от задней.
3. Положение каждого утяжелителя на крестовине задается номером риски (канавки на спице), по которой выравнивается грань утяжелителя, ближайшая к оси вращения. Установить все утяжелители на первую риску
4. Установить в качестве подвешенного груза каретку 10 с одной шайбой 9 . остальные три шайбы 9 закрепить наверху трубчатой направляющей 6. Измерить три раза время прохождения кареткой из неподвижного положения пути от отметки  $h_1 = 700\text{мм}$  до отметки  $h_2 = 0$ . При этом  $h = h_1 - h_2 = 700\text{мм}$ . Массу  $m_1$  каретки с одной шайбой и результаты измерения времени  $t_1, t_2, t_3$  занести в соответствующие ячейки таблицы 1.

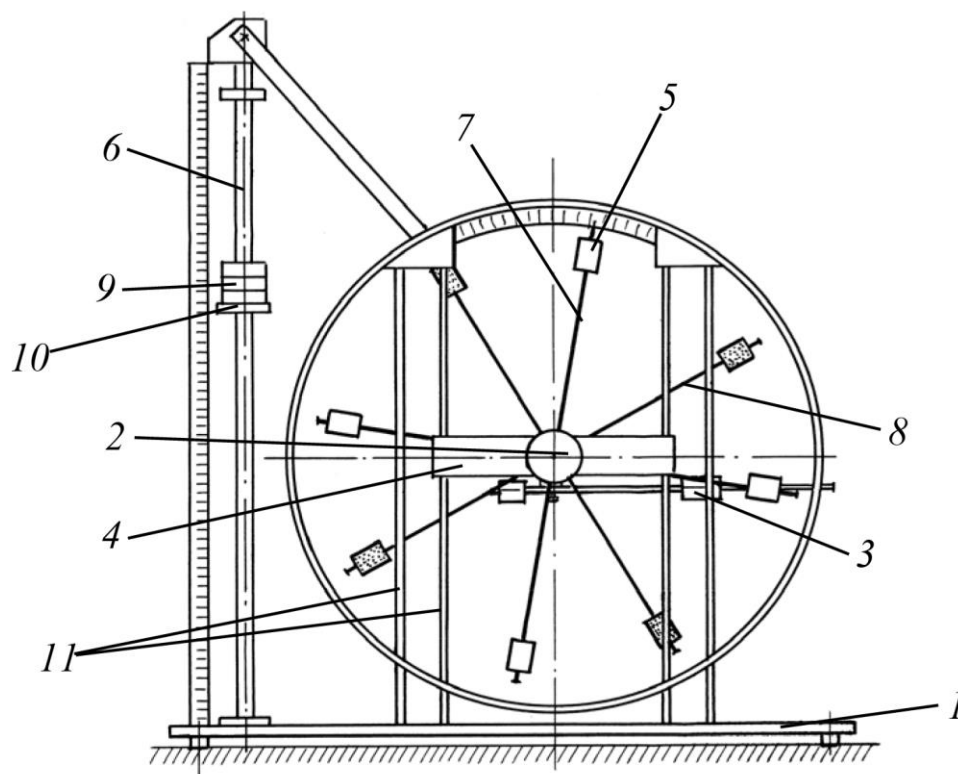


Рис. 2. Стенд лаборатории механики (общий вид):

1 – основание; 2 – рукоятка сцепления крестовин; 3 – устройство принудительного трения; 4 – поперечина; 5 – груз крестовины; 6 – трубчатая направляющая; 7 – передняя крестовина; 8 – задняя крестовина; 9 – шайбы каретки; 10 – каретка; 11 – система передних стоек.

Таблица 1. Протокол измерений времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
$m_1$	$t_1$					
	$t_2$					
	$t_3$					
	$t_{\text{ср}}$					
$m_2$						
$m_3$						
$m_4$						

5. Не изменяя положение утяжелителей крестовины повторить п. 4 для каретки с двумя шайбами (масса  $m_2$ ), тремя шайбами (масса  $m_3$ ) и четырьмя шайбами (масса  $m_4$ ).
6. Повторить измерения пп. 4,5 при положении утяжелителей на второй, третьей, ..., шестой рисках.
7. Найти среднее время падения гири для всех масс гири и всех положениях утяжелителей на крестовине. Для первого значения  $t_{\text{ср}}$  рассчитать погрешность среднего значения времени  $\Delta t$ .
8. Используя найденные значения  $t_{\text{ср}}$  рассчитать ускорение  $a$  груза, угловое ускорение  $\varepsilon$  крестовины и момент  $M$  силы натяжения нити. Результаты также удобно оформить в виде таблицы. Для первых значений  $a$ ,  $\varepsilon$  и  $M$  вычислить их погрешности.
9. Для каждого положения утяжелителей на крестовине построить график  $M(\varepsilon)$  и из его наклона найти момент инерции крестовины с утяжелителями. Вычисленные значения в п. 8  $\Delta \varepsilon$  и  $\Delta M$  нанесите на график.
10. Для каждого положения утяжелителей найти расстояние между осью вращения и центрами утяжелителей по формуле (см. рис.3 )

$$R = l_1 + (n-1)l_0 + \frac{1}{2}b. \quad (8)$$

Здесь  $l_1$  – расстояние от оси вращения до первой риски;  $n$  – номер риски, на которой установлены утяжелители;  $l_0$  – расстояние между соседним рисками;  $b$  – размер утяжелителя вдоль спицы. Вычислить  $R^2$ .

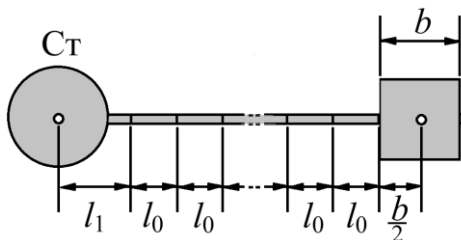


Рис. 3. К определению расстояния от центра груза до оси вращения

11. Объединить значения  $R$ ,  $R^2$ ,  $I$  в таблицу и на основе этой таблицы построить график  $I(R^2)$ .
12. Из этого графика найдите значения  $I_0$  и  $m_{\text{ут}}$ .
13. По требованию преподавателя определите наиболее вероятные значения  $I_0$  и  $m_{\text{ут}}$ , а также их погрешности  $\Delta I_0$  и  $\Delta m_{\text{ут}}$  по методу наименьших квадратов на основе экспериментальных значений  $I$  и  $R^2$ .

## Литература

1. Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики.— 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр "Академия", 2009 .

2. Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003.–57 с.