

## Лабораторная работа № 06

Изучение законов динамики вращательного движения с помощью маятника Обербека.

Цель работы – изучение законов динамики вращательного движения на основе маятника Обербека.

В данной работе определяются момент инерции системы и момент сил трения.

### Методика эксперимента

Основное уравнение динамики вращательного движения имеет вид:

$$I\varepsilon = \Sigma M \quad (1)$$

где  $I$  - момент инерции тела,  $\varepsilon$  - угловое ускорение,  $\Sigma M$  - сумма проекции на ось вращения моментов внешних сил. Измеряя время  $t$ , в течение которого платформа с грузом опускается на расстояние  $h$  (рис. 1); можно найти линейное ускорение груза  $a$ :

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

и угловое ускорение крестовины  $\varepsilon$ :

$$\varepsilon = a / r \quad (3)$$

Где  $r$  - радиус диска, на который намотана нить. Опускающийся груз натягивает нить и создает вращающий момент:

$$M = Tr \quad (4)$$

Здесь  $T$  - сила натяжения нити, которую находим из уравнения движения груза

$$Mg - T = ma \quad (5)$$

где  $M$  - масса опускающегося груза. Из уравнение (4) и (5) для момента вращающей силы: имеем:

$$M = m(g-a)r \quad (6)$$

Кроме того, на маятник действует момент силы трения в оси  $M_{тр}$ . С учетом этого уравнение (1) имеет вид:

$$Ia/r = m(g-a)r - M_{тр} \quad (7)$$

Момент инерции  $I$ , входящий в выражение (7), может быть записан в виде

$$I = I_k + 4m_1R^2 \quad (8)$$

Здесь  $R$  - расстояние центров грузов  $m_1$  от оси вращения,  $I$  - момент инерции крестовины и втулки.

### Описание установки

Установка (маятник Обербека рис.1) состоит из исследуемого тела в виде крестовины  $I$ ,

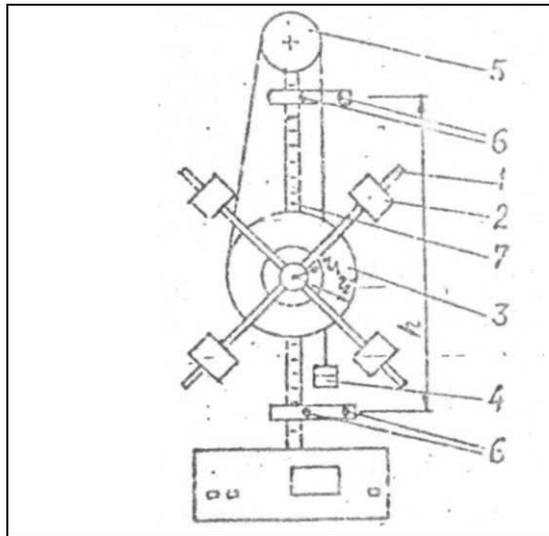


Рис.1. Схема установки

На четырех взаимно перпендикулярных стержнях могут перемещаться четыре груза  $I$  массой  $m_1$  каждый. На горизонтальной оси крестовины имеется двухступенчатый шкив 3, на один из дисков которого наматывается нить. Радиус большего диска  $r_2=0.042$  м, меньшего  $r_1 = 0,021$  м. Один конец нити прикреплен к диску, а на втором конце нити подвешен груз 4. Нить перекинута через неподвижный блок 5. При падении груза нить разматывается, приводя крестовину в равноускоренное вращательное движение. Моменты начала и конца движения падающего груза фиксируются двумя фотоэлектрическими датчиками, расположенными на верхней и нижней платформах. Высота падений груза  $h$  задается перемещением верхней платформы относительно вертикально колонки 7 с линейкой.

#### Порядок выполнения работы

1. Установить заданную высоту падения груза  $h$ .
2. Установить необходимую массу груза  $m_i$ , совместив его нижний край с чертой на корпусе верхнего фотоэлектрического датчика.
3. Нажать клавишу "пуск". После опускания груза 5-7 раз измерить значение времени  $t$ .
4. При неизменных условиях измерения времени повторить 5-7 раз и вычислить среднее значение. Перед повторением измерений необходимо нажать клавишу "сброс".

**Задание I.** Исследование зависимости углового ускорения от момента внешней силы  $M$  при постоянном моменте инерции системы.

Уравнение (7) представим в виде уравнения прямой линии  $y = A+Bx$ :

$$\varepsilon = \frac{M_{mp}}{I} + \frac{1}{I}M \quad (9)$$

где  $y = \varepsilon = a/r$ ,  $x = M = m(g-a)r$

$$A = -\frac{M_{mp}}{I} \quad (10)$$

$$B = \frac{1}{I} \quad (11)$$

Записать значения величин :  $h = \dots$  м,  $\dots r = \dots$  м,  $m_i = \dots$  кг,  $R = \dots$  м. Провести измерения с 5-7 грузиками  $m_i$  и заполнить таблицу 1.

Таблица 1

$i$	$m_i$ кг	$t_i$ , с	$a = \frac{2h}{t^2}$	$y_i = \frac{a_i}{r}$	$x_i = M_i = m_i(g-a)r$
1					
2					
3					
n					

Обработку результатов провести в среде Excel.

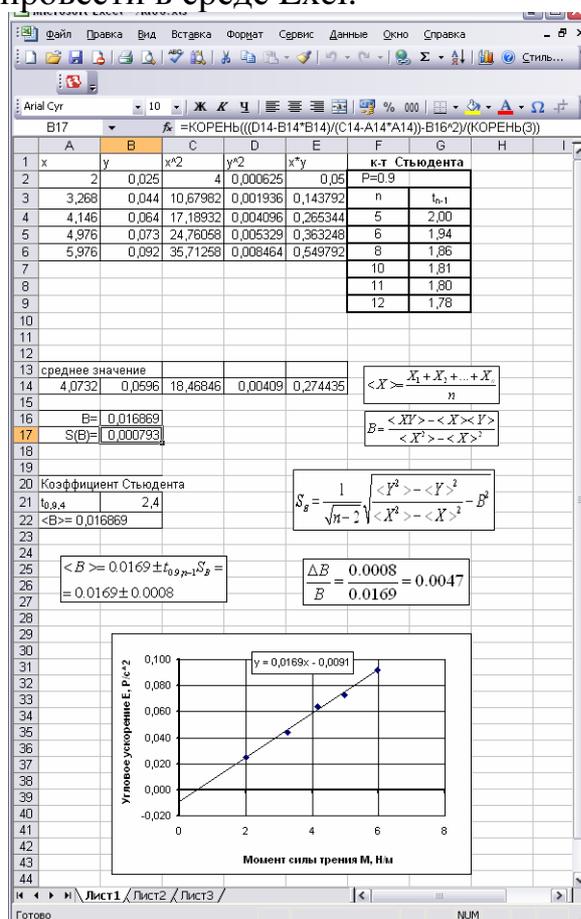


Рис.2. Образец обработки результатов измерения о

1. Построить график. Из графика определить угловой коэффициент  $B$  и его среднеквадратичную погрешность  $S_B$ .
2. По найденному значению  $B$  из (11) найти среднее значение момента инерции системы  $\langle I \rangle = 1/B$ .

3. Определить погрешность  $\Delta I = t_{p=0.9, n-1} \frac{S_B}{B} \langle I \rangle$ , где  $t_{p=0.9, n-1}$  – коэффициент Стьюдента.

4. Результат представить в виде  $I = \langle I \rangle + t_{p=0.9, n-1} \frac{S_B}{B} \langle I \rangle$ .

5. Из графика определить  $A$  и его погрешность  $\Delta A = t_{p=0.9, n-1} S_A = t_{p=0.9, n-1} S_B < x > .$   
 ( $S_A = S_B < x >$ ).

6. По найденному значению  $A$  из (10) найти среднее значение момента сил трения  $\langle M_{mp} \rangle = A \langle I \rangle$ .

7. Вычислить погрешность  $\Delta M = t_{p=0.9, n-1} \sqrt{\left(\frac{S_A}{A}\right)^2 + \left(\frac{S_B}{B}\right)^2}$

8. Результат представить в виде:  $M_{тр} = \langle M_{тр} \rangle \pm \Delta M_{mp}$

**Задание 2.** Исследование зависимости момента инерции системы от ее геометрии при постоянном моменте силы.

Уравнение (8) представим в виде уравнения прямой линии  $y = A + Bx$  где

$$y = I; \quad x = R^2; \quad A = I_K \quad (12)$$

Из (7) при  $M_{тр} = 0$  для момента инерции системы имеем:

$$I = \frac{m(g - a)r^2}{a} \quad (13)$$

Записать значения величин :  $h = m, \dots t = \dots$  кг,  $m_i = \dots$  кг,  $r = \dots$  м. Провести измерения с 5-7 значениями  $R_i$  и заполнить таблицу 2.

$i$	$R_i$ м	$t_i$ , с	$a_i = \frac{2h}{t_i^2}$	$x_i = R_i^2$	$y_i = \frac{m_i(g - a_i)r^2}{a_i}$
1					
2					
3					
...					
n					

Построить график зависимости (8), убедиться в линейной зависимости  $I$  от  $R^2$ , представить график преподавателю. Обработку результатов провести

#### Контрольные вопросы

1. Запишите уравнение кинематики вращательного движения и дайте определения кинематических величин.
2. Запишите основное уравнение динамики вращательного движения и дайте определения величин, входящих в него.
3. Запишите связь между тангенциальным (касательный) к угловым ускорением.
4. В чем проявляется аддитивность момента инерции?
5. Как изменится время падения груза, если: с крестовин снять 4 подвижных грузов, уменьшить массу падающего груза, и почему?
6. От чего зависит момент сил трения в данной установке?
7. Запишите уравнение закона сохранения механической энергии для системы тел в данной установке.