

Группа Р3207

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Батманов Даниил Е.

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Коробков Максим П.

Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.04

### Изучение равноускоренного вращательного движения (маятник Обербека)

#### 1. Цель работы.

Проверка основного закона динамики вращения. Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения. Рассчитать доверительные интервалы, погрешности измерения свободного слагаемого в линейной зависимости  $I(R^2)$  и четверти от углового коэффициента наклона этой зависимости.

#### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- Ознакомление с техникой безопасности;
- Измерение времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине;
- Расчёт ускорения груза, углового ускорения крестовины и момента силы натяжения нити;
- Исследование зависимости момента силы натяжения нити от углового ускорения – проверка основного закона динамики вращения;
- Исследование зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения – проверка теоремы Штейнера.

#### 3. Объект исследования.

Крестовина, с перемещаемыми по спицам грузами-утяжелителями, груз на нити, которая перекинута через неподвижный блок и намотана на ступицу крестовины.

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Многократное прямое измерение времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине.

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

$I_\varepsilon = M - M_{\text{тр}}$  – основной закон динамики вращения;

$M = I_\varepsilon - M_{\text{тр}}$  – момент силы натяжения нити;

$ma = mg - T$  – второй закон Ньютона;

$\varepsilon = \frac{2a}{d}$  – связь между угловым ускорением крестовины и линейным ускорением груза;

$M = \frac{Td}{2}$  – осевой момент силы для силы натяжения нити;

$I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$  – момент инерции крестовины с утяжелителями.

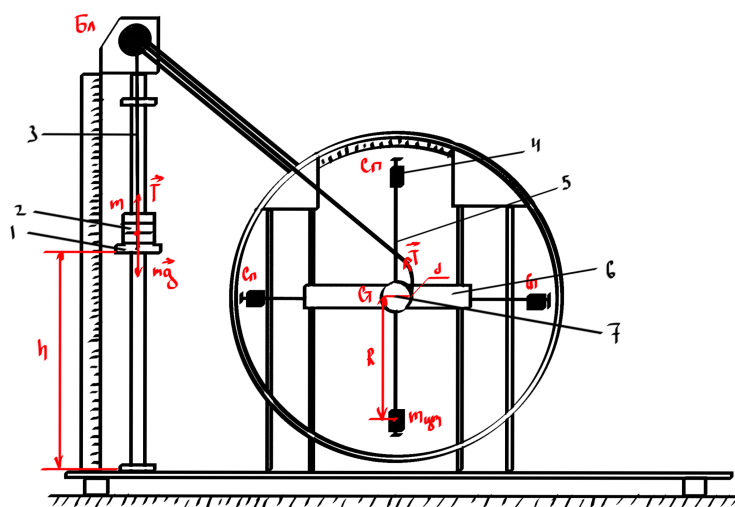
#### 6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый	Погрешность
-------	--------------	-------------	--------------	-------------

			диапазон	прибора
1	Секундомер (IOS)	Цифровой	0 – 1,167682e9 с	0,005 с
2	Линейка	Аналоговый	0 – 1 м	0,0005 м

## 7. Схема установки (перечень схем, которые составляют Приложение 1).

Рисунок 1 – Схема установки



1. Каретка
2. Шайбы каретки
3. Трубчатая направляющая
4. Груз крестовины
5. Крестовина
6. Поперечина
7. Рукоятка сцепления крестовин

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки (таблицы, примеры расчетов).

Таблица 1 (в работе используются значения для масс груза в  $220 \pm 0,5$  г и  $660 \pm 0,5$  г) –

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/192Zmbsl0hS4xfleCQimqMIWODzbeWLXWuIpyiqKgCKE/edit?hl=ru#gid=0>

## 9. Расчет результатов косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

Таблица 2 – ускорение раскручивающего груза, угловое ускорение крестовины, момент силы натяжения нити (при разных условиях) –

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1kaHzqQSaDsbyMa9I2simWyZmI40uAZR1zZgqtBBJhQM/edit?hl=ru#gid=0>

$$t_{cp} = \text{"=CPЗНАЧ(B4:B6)" с}$$

$$a = \text{"=(2*B\$3)/(B7*B7)" м / с^2}$$

$$\varepsilon = \text{"=(2*B\$13)/0,046" рад * с^(-1)}$$

$$M = \text{"=(\$A\$19*0,046)*(9,82 - B13)/2" Н * м}$$

$$m_{yt} = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})(I_i - \bar{I})}{4 \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2} = \frac{0,001977}{0,003464} = 0,57 \text{ кг}$$

$$I_0 = \bar{I} - 4m_{yt}\bar{R}^2 = 0,05428 - 4 * 0,57 * 0,0004^2 = 0,0054 \text{ кг * м}^2$$

## 10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).

$$\Delta t_{cp} = \sqrt{\frac{t_{\alpha,n}^2}{N * (N-1)} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 + \left(\frac{2}{3} \Delta_{ux}\right)^2} \quad (t_{\alpha,n} = 4,30265, \alpha = 0,95): \Delta t_1 = 0,25396 \text{ с}$$

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t} \Delta t\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{t^2} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{4h}{t^3} \Delta t\right)^2}: \Delta a_1 = 0,0049 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta \varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial d} \Delta d\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4}{t^2 d} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{8h}{t^3 d} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{4h}{t^2 d^2} \Delta d\right)^2}: \Delta \varepsilon_1 = 0,03 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

$$\Delta M = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial d} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial m} \Delta m\right)^2}: \Delta M_1 = 0,00066 \text{ Н * м}$$

# 11. Графики (перечень графиков, которые составляют Приложение 2).

График 1. Зависимость  $M(\varepsilon)$  – <https://www.desmos.com/calculator/uufcypnk8?lang=ru>

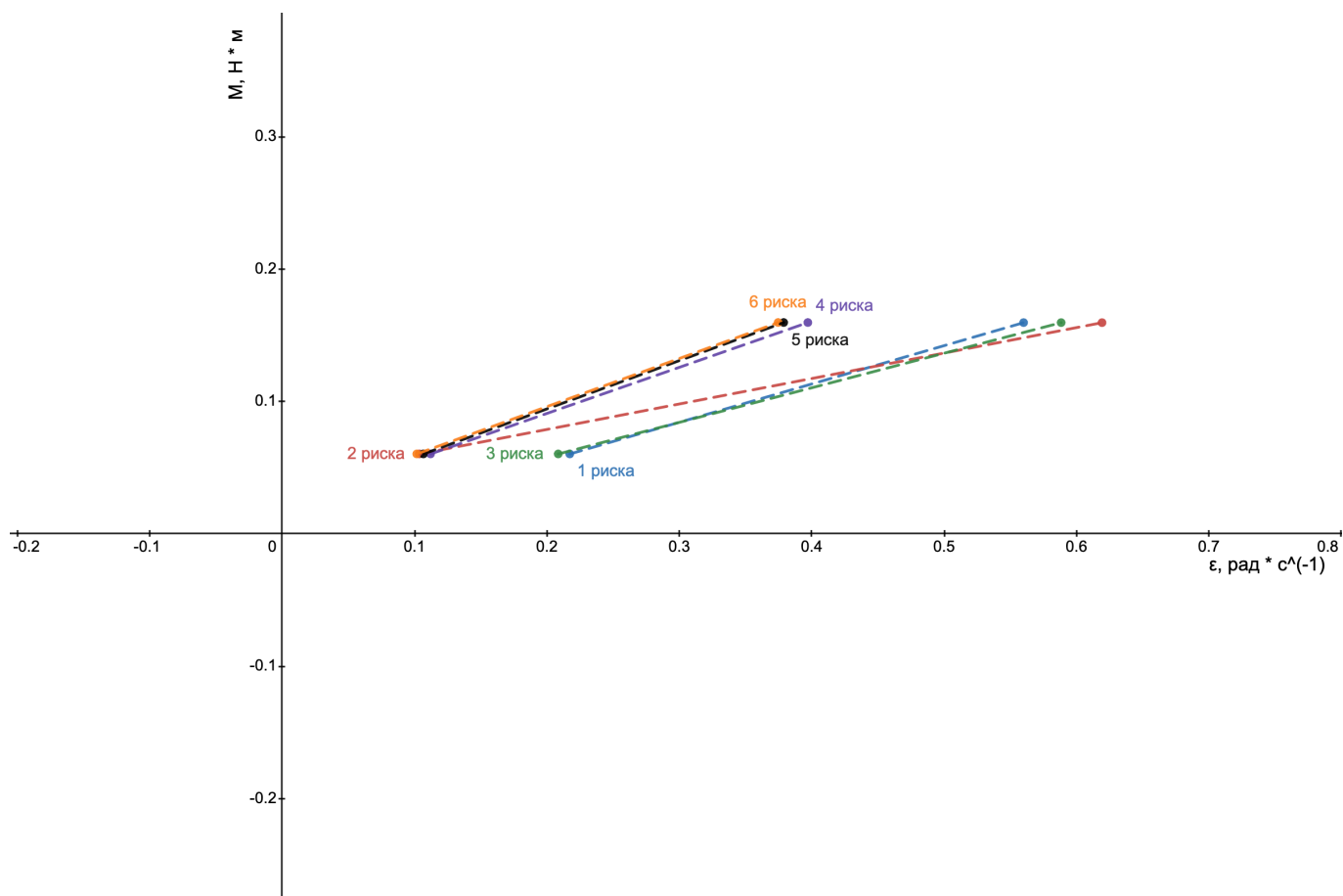
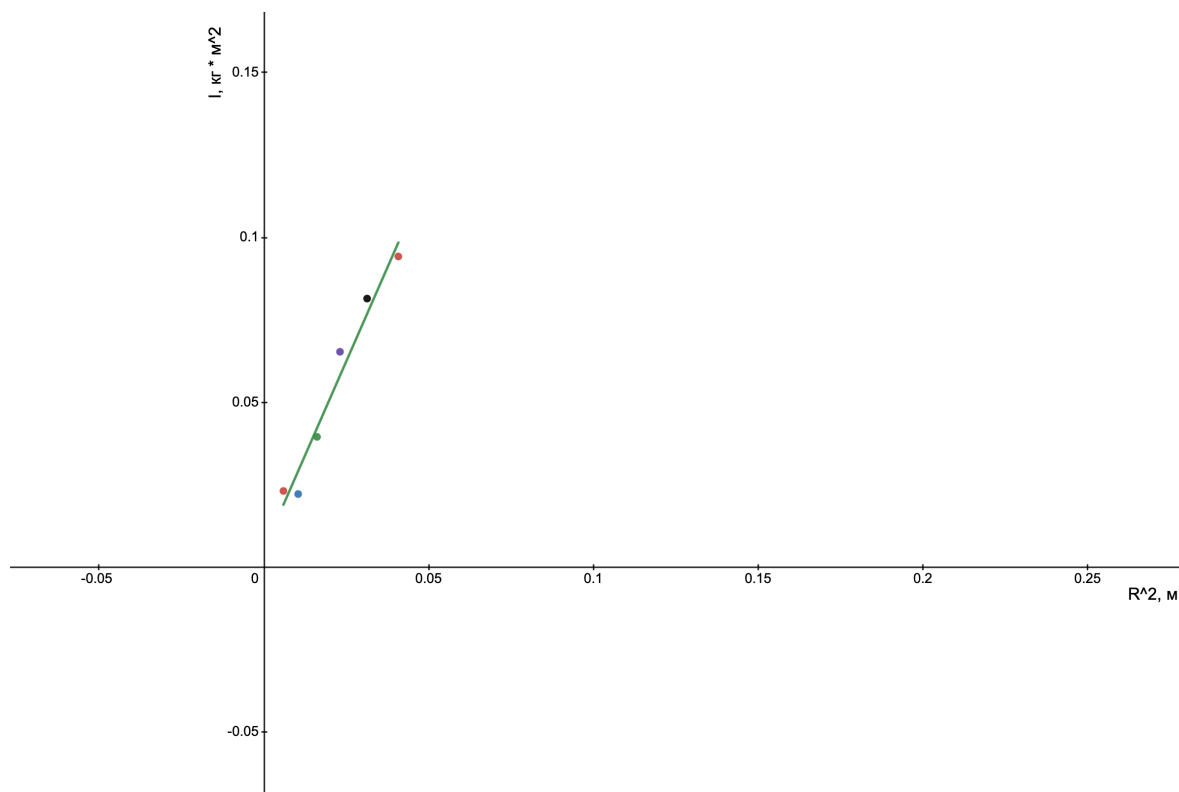


График 2. Зависимость  $I(R^2)$  – <https://www.desmos.com/calculator/2dgkr5aoax?lang=ru>



## 12. Окончательные результаты.

Доверительные интервалы:

Для  $\alpha = 0,664 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ;  $\varepsilon_\alpha = 27\%$ ;  $\alpha = 0,95$

Для  $\varepsilon = 0,44 \frac{\text{рад}}{\text{с}^{-1}}$ ;  $\varepsilon_\varepsilon = 0,7\%$ ;  $\alpha = 0,95$

Для  $M = 0,104 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ;  $\varepsilon_M = 11\%$ ;  $\alpha = 0,95$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

В результате выполненной работы был проверен основной закон динамики вращения, т.е. был проверен основной закон, связывающий угловое ускорение с моментами сил трения и натяжения нити. Были построены графики зависимости  $M(\varepsilon)$  и  $I(R^2)$ . Также, была найдена масса утяжелителя, при помощи метода наименьших квадратов, из зависимости  $M(\varepsilon)$ .