

Группа РЗ110 К работе допущен Дел
Студент Лысенко Д.С. Работа выполнена Дел
Преподаватель Курочкин М.П. Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.04

Исследование равноускоренного ~~движения~~ вращательного
движения (магниты Обербека)

1. Цель работы.

1. Проверка основного закона динамики вращений
2. Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

Построить график зависимости момента инерции магнитов от угла поворота крестовины и проверить его линейность.
Построить график зависимости момента инерции крестовины от расстояния между центрами грузов и оси вращения и проверить его линейность.

3. Объект исследования.

Магниты Обербека

4. Метод экспериментального исследования.

Многokrатные прямые измерения

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$$a = \frac{2h}{t^2}$$

$$M = \frac{mg}{2} (g - a)$$

$$\varepsilon = \frac{2a}{d}$$

$$R = r_1 + (n-1)r_0 + \frac{1}{2}b$$

6. Измерительные приборы.

| № п/п | Наименование | Тип прибора | Используемый диапазон | Погрешность прибора |
|-------|--------------|-------------|-----------------------|---------------------|
| 1 | сенсоризер | цифровой | 0-11 с. | $\pm 0,01$ с. |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |

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

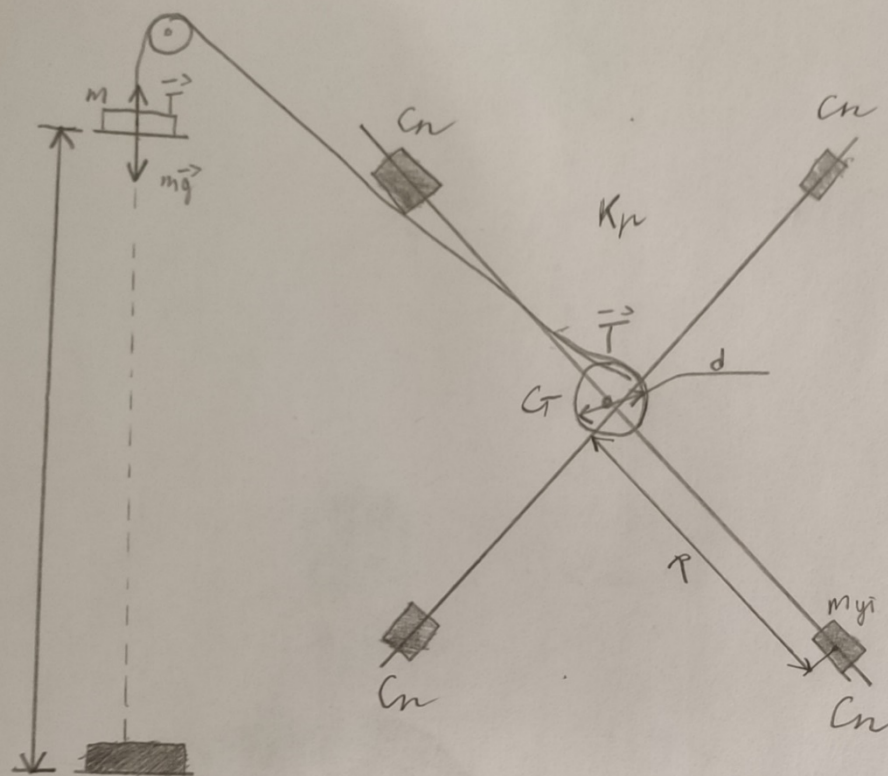


Рис. 1. Схема изыскательского стенда.

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

Таблица 3. Результаты прямых измерений (Задание 1)

| № | Измеренные величины | | | | Рассчитанные величины | |
|---|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|
| | $x_1, \text{м}$ | $x_2, \text{м}$ | $t_1, \text{м}$ | $t_2, \text{м}$ | $x_2 - x_1, \text{м}$ | $\frac{t_2^2 - t_1^2}{2}, \text{с}^2$ |
| 1 | 0,15 | 0,40 | 1,4 | 2,7 | 0,25 $\pm 0,005$ | 2,865 $\pm 0,3$ |
| 2 | 0,15 | 0,50 | 1,4 | 3,0 | 0,35 $\pm 0,006$ | 3,52 $\pm 0,32$ |
| 3 | 0,15 | 0,70 | 1,4 | 3,6 | 0,55 $\pm 0,006$ | 5,5 $\pm 0,39$ |
| 4 | 0,15 | 0,90 | 1,4 | 4,1 | 0,75 $\pm 0,005$ | 7,425 $\pm 0,43$ |
| 5 | 0,15 | 1,10 | 1,4 | 4,6 | 0,95 $\pm 0,006$ | 9,6 $\pm 0,48$ |

Таблица 4. Результаты прямых измерений (Задание 2)

| $N_{\text{пл}}$ | $h, \text{мм}$ | $h', \text{мм}$ | № | $t_1, \text{с}$ | $t_2, \text{с}$ |
|-----------------|-----------------------|-----------------|---|-----------------|-----------------|
| 1 | 214 195 | 204 | 1 | 4,4 | 4,6 |
| | | | 2 | 4,4 | 4,6 |
| | | | 3 | 4,1 | 4,3 |
| | | | 4 | 4,4 | 4,6 |
| | | | 5 | 4,6 | 4,5 |
| 2 | 195 | 200 | 1 | 4,2 | 3,2 |
| | | | 2 | 4,2 | 3,2 |
| | | | 3 | 4,0 | 3,2 |
| | | | 4 | 4,0 | 3,1 |
| | | | 5 | 4,0 | 3,2 |
| 3 | 176 | 199 | 1 | 0,8 | 2,6 |
| | | | 2 | 0,8 | 2,6 |
| | | | 3 | 0,8 | 2,6 |
| | | | 4 | 0,8 | 2,6 |
| | | | 5 | 0,8 | 2,6 |
| 4 | 167 | 199 | 1 | 0,7 | 2,2 |
| | | | 2 | 0,7 | 2,3 |
| | | | 3 | 0,7 | 2,2 |
| | | | 4 | 0,7 | 2,2 |
| | | | 5 | 0,7 | 2,2 |
| 5 | 158 | 198 | 1 | 0,6 | 2,0 |
| | | | 2 | 0,6 | 2,0 |
| | | | 3 | 0,6 | 2,0 |
| | | | 4 | 0,7 | 2,1 |
| | | | 5 | 0,6 | 2,0 |

$N_{\text{пл}}$ - количество пластин
 h - высота на координате $x = 0,22 \text{ м}$
 h' - высота на координате $x' = 1,00 \text{ м}$

Таблица 2.

| $x, \text{м}$ | $x', \text{м}$ | $h_0, \text{мм}$ | $h_0', \text{мм}$ |
|------------------|-----------------|------------------|-------------------|
| 0,22 $\pm 0,005$ | 1,0 $\pm 0,005$ | 204 $\pm 0,5$ | 204 $\pm 0,5$ |

9. Результаты косвенных измерений (таблицы, примеры расчетов).

После нахождения t_{cp} рассчитаем угловое ускорение груза, угловое ускорение крестовины и момент силы натяжения нити (для примера рассчитаем значения для первого положения утяжелителей):

$$a = \frac{2h}{t^2} = \frac{2 * 0,7}{(5,06)^2} = 0,0547 \text{ м/с}^2;$$

$$\varepsilon = \frac{2a}{d} = \frac{2 * 0,0547}{0,046} = 2,378 \text{ рад/с}^2;$$

$$M = \frac{md}{2}(g - a) = \frac{0,22 * 0,046}{2}(9,8 - 0,547) = 0,0468 \text{ Н * м.}$$

Рассчитаем при помощи метода наименьших квадратов (МНК) момент инерции крестовины с утяжелителем и момент силы трения и получим следующие результаты (приведены значения для первого положения утяжелителей):

$$I = 0,2198 \text{ кг * м}^2$$

$$M_{тр} = -0,0019 \text{ Н * м}$$

Найдем расстояние между осью вращения и центром утяжелителя (для примера возьмем значения первого положения утяжелителей):

$$R = l_1 + (n - 1)l_0 + 0,5b = 0,057 + 0,5 * 0,04 = 0,077 \text{ м}$$

$$R^2 = 0,005929$$

С помощью МНК определим значения I_0 и m_{yt} :

$$I_0 = 0,007503 \text{ кг * м}^2$$

$$m_{yt} = 0,455 \text{ кг}$$

| Масса груза | Риски | a | ε | M |
|-------------|-------|-------------|-------------|-------------|
| m1 | 1 | 0,054679811 | 2,377383072 | 0,04931132 |
| | 2 | 0,033651824 | 1,463122774 | 0,049417722 |
| | 3 | 0,029491006 | 1,282217665 | 0,049438776 |
| | 4 | 0,022991522 | 0,999631382 | 0,049471663 |
| | 5 | 0,017807677 | 0,77424683 | 0,049497893 |
| | 6 | 0,013897895 | 0,604256315 | 0,049517677 |
| m2 | 1 | 0,102819456 | 4,470411147 | 0,098135467 |
| | 2 | 0,055114638 | 2,396288628 | 0,09861824 |
| | 3 | 0,058071768 | 2,524859496 | 0,098588314 |
| | 4 | 0,045780209 | 1,990443879 | 0,098712704 |
| | 5 | 0,03587826 | 1,559924345 | 0,098812912 |
| | 6 | 0,026881577 | 1,16876422 | 0,098903958 |
| m3 | 1 | 0,155555556 | 6,763285024 | 0,146402667 |
| | 2 | 0,116270378 | 5,055233846 | 0,146999016 |

| | | | | |
|----|---|-------------|-------------|-------------|
| | 3 | 0,090185266 | 3,921098535 | 0,147394988 |
| | 4 | 0,064933425 | 2,8231924 | 0,147778311 |
| | 5 | 0,033034372 | 1,436277055 | 0,148262538 |
| | 6 | 0,039723061 | 1,727089605 | 0,148161004 |
| m4 | 1 | 0,205516654 | 8,935506704 | 0,194192343 |
| | 2 | 0,157650556 | 6,854372012 | 0,195161153 |
| | 3 | 0,129341008 | 5,623522068 | 0,195734138 |
| | 4 | 0,092996068 | 4,043307287 | 0,19646976 |
| | 5 | 0,066354764 | 2,884989746 | 0,19700898 |
| | 6 | 0,055114638 | 2,396288628 | 0,19723648 |

| Кол-во рисок | $l, \text{кг} * \text{м}^2$ | $M_{\text{тр}}, \text{Н} * \text{м}$ | $R, \text{м}$ | $R^2, \text{м}^2$ |
|--------------|-----------------------------|--------------------------------------|---------------|-------------------|
| 1 | 0,021976189 | -0,00186156 | 0,077 | 0,005929 |
| 2 | 0,025032007 | 0,023866495 | 0,102 | 0,010404 |
| 3 | 0,033636426 | 0,010513204 | 0,127 | 0,016129 |
| 4 | 0,048900683 | 0,002609799 | 0,152 | 0,023104 |
| 5 | 0,065039141 | 0,015179588 | 0,177 | 0,031329 |
| 6 | 0,082809931 | 0,001384687 | 0,202 | 0,040804 |

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

$$\Delta t = 0,422; \varepsilon = 8,35 \%;$$

Для значений a , ε и M погрешности были получены при помощи их нахождения через частные производные:

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \Delta c\right)^2 + \dots}$$

$$\Delta a = 0,009; \varepsilon = 16,70 \%;$$

$$\Delta \varepsilon = 0,307; \varepsilon = 12,9 \%;$$

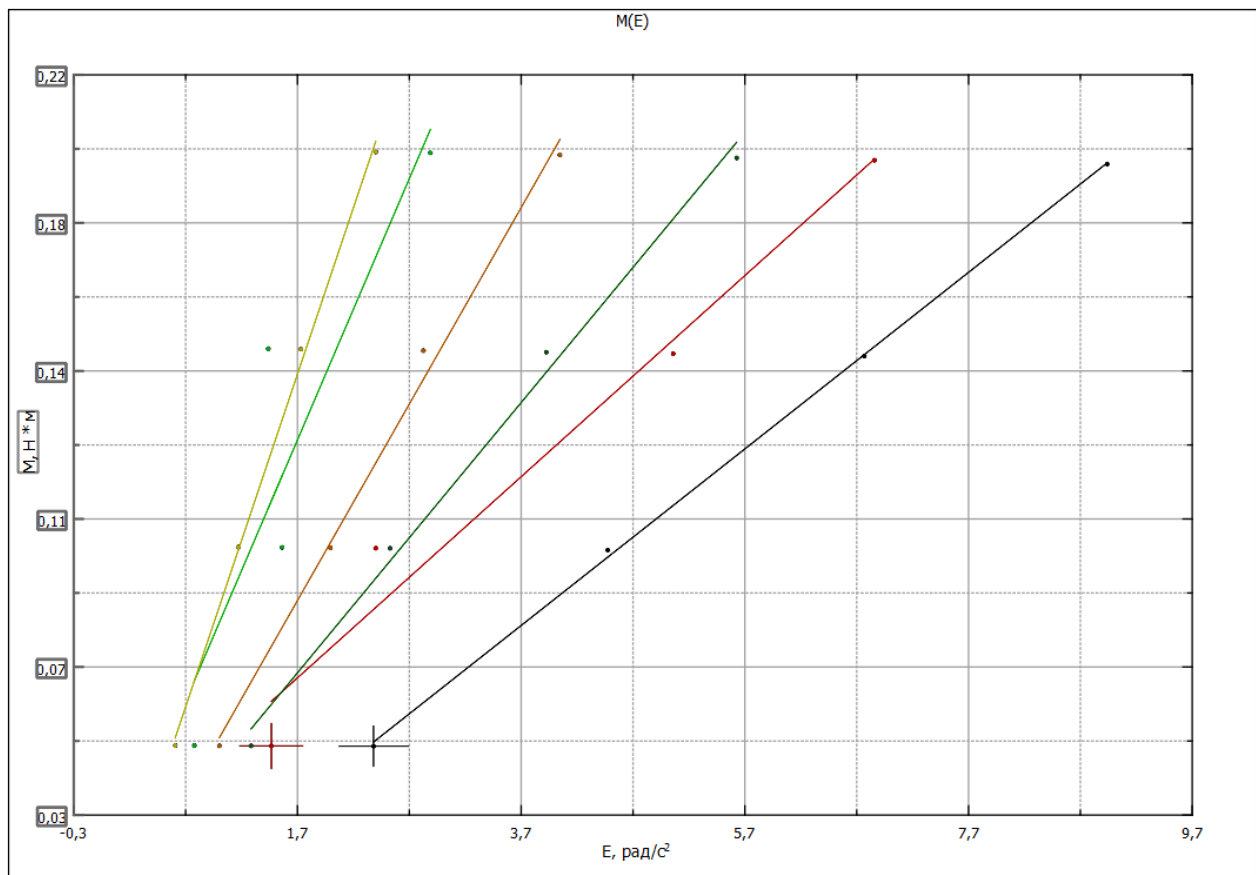
$$\Delta M = 0,005; \varepsilon = 10,08 \%.$$

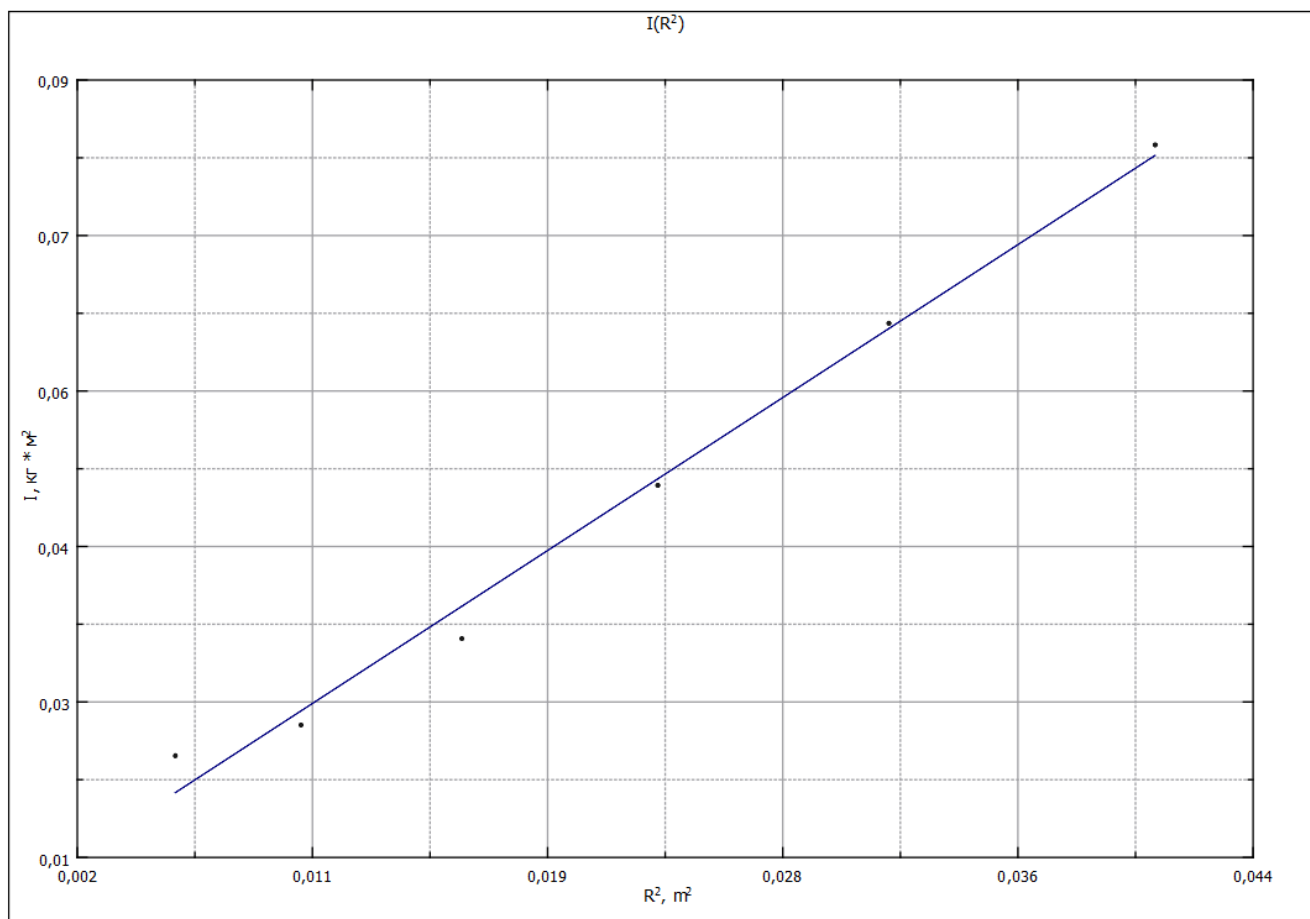
Погрешность I_0 рассчитана по МНК.

$$\Delta I_0 = 0,000017; \varepsilon = 0,23 \%;$$

$$\Delta m_{\gamma T} = 0,039; \varepsilon = 2,15 \text{ \%}.$$

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





12. Окончательные результаты.

Следующие четыре погрешности представлены для первого положения утяжелителей.

$$t = (5,06 \pm 0,422) \text{ с}, \quad \varepsilon = 8,35 \%$$

$$a = (0,055 \pm 0,009) \text{ м/с}^2, \quad \varepsilon = 16,70 \%$$

$$\epsilon = (2,378 \pm 0,307) \text{ рад/с}^2, \quad \varepsilon = 12,9 \%$$

$$M = (0,047 \pm 0,005) \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad \varepsilon = 8,35 \%$$

$$I_0 = (0,0075 \pm 0,000017) \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad \varepsilon = 0,23 \%$$

$$m_{\text{ут}} = (0,455 \pm 0,039) \text{ кг}, \quad \varepsilon = 2,15 \%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе выполнения работы мы убедились в линейности зависимости между моментом силы натяжения нити и угловым ускорением крестовины и зависимости момента инерции крестовины от расстояния между центрами грузов и осью вращения – эти доводы подтверждают построенные графики данных зависимостей. Погрешности момента инерции в пределах нормы – это доказывают точки, отложенные на графике 1. А вот погрешность времени велика – я могу это объяснить тем,

что когда мы поменялись с коллегой при проведении измерений (с 4 момента утяжелителей фиксировать время стал я), я достаточно часто слишком рано останавливал отсчет времени падения груза.

14. Дополнительные задания.

15. Выполнение дополнительных заданий.

16. Замечания преподавателя (исправления, вызванные замечаниями преподавателя, также помещают в этот пункт).