

Группа _____ М3215 _____

К работе допущен _____

Студент Гаджиев С. И., Адмайкин П. Г.

Работа выполнена _____

Преподаватель Тимофеева Э. И.

Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.04

“Исследование равноускоренного вращательного движения. Маятник Обербека.”

1. Цель работы.

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- 1) Измерение времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине.
- 2) Расчёт ускорения груза, углового ускорения крестовины и момента силы натяжения нити.
- 3) Расчёт момента инерции крестовины с утяжелителями и момента силы трения.
- 4) Исследование зависимости момента силы натяжения нити от углового ускорения. Проверка основного закона динамики вращения.
- 5) Исследование зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения. Проверка теоремы Штейнера.

3. Объект исследования.

- 1) Связь момента силы в натяжении нити с угловым ускорением вала.
- 2) Связь момента инерции с квадратом расстояния до оси вращения.

4. Метод экспериментального исследования.

Проведение множественных наблюдений для измерения времени, в течение которого каретка падает с фиксированной высоты, при вариации массы груза в каретке и изменении положения утяжелителей относительно оси вращения.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

1) $ma = mg - T$

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

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

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

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

$$6) \quad I_{\varepsilon} = M - M_{\text{TP}},$$

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

$$8) \quad M = M_{\text{TP}} + I_{\varepsilon}.$$

$$9) \quad R = l_1 + (n - 1)l_0 + \frac{1}{2}b,$$

$$10) \quad \Delta\langle t \rangle_{\text{cл}} = t_s(a_{\text{дoB}}, N) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{1i} - \langle t_1 \rangle)^2}{N(N - 1)}}$$

$$11) \quad \Delta_{\varepsilon} = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} \cdot \Delta_a\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial d} \cdot \Delta_d\right)^2}$$

$$12) \quad \Delta_a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial h} \cdot \Delta_h\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t} \cdot \Delta_t\right)^2}$$

$$13) \quad \Delta_M = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial m} \cdot \Delta_m\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial d} \cdot \Delta_d\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial a} \cdot \Delta_a\right)^2}$$

$$14) \quad \bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

$$15) \quad \Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta_{x_n}\right)^2}$$

$$16) \quad b = \frac{\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}$$

$$17) \quad a = \bar{y} - b\bar{x}$$

$$d_i = y_i - (a + bx_i)$$

$$D = \Sigma(x_i - \bar{x})^2$$

$$\Delta b = t_{a,N} \cdot \sqrt{\frac{\Sigma d_i^2}{D(n-2)}}$$

$$18, 19, 20)$$

$$21) \quad S_{m_{\text{yT}}} = \sqrt{\frac{1}{D} \cdot \frac{\Sigma M_i - (M_{\text{TP}} + I_0 \cdot R_i^2)}{n-2}}$$

$$22) \quad S_{i_0} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{Rcp^2}{D}\right) \cdot \frac{\Sigma d_i^2}{n-2}}$$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Цифровой секундомер	Электронный	0–11 с	0,01 с
2	Линейка направляющей	Измерительный	0–700 мм	0,5 см

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

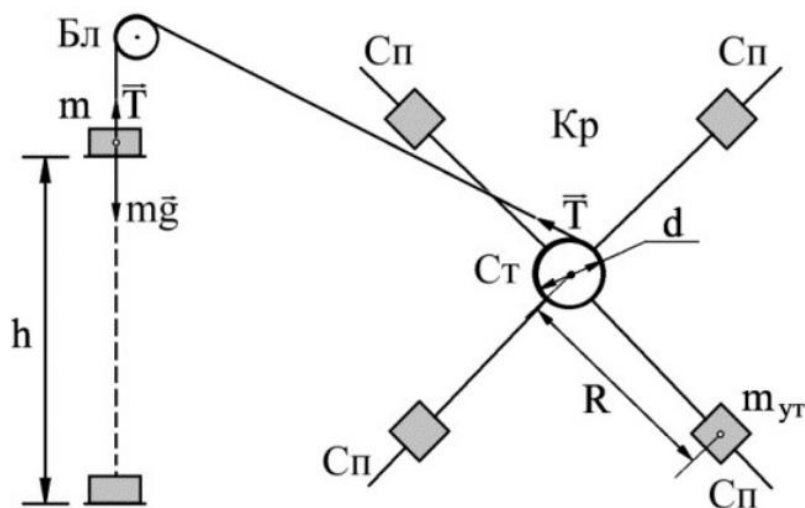


Рис. 1. Схема измерительного стенда

- 1) m – груз
- 2) Ст – ступица
- 3) Бл – блок
- 4) Кр – крестовина
- 5) Сп – спицы
- 6) $m_{\text{ут}}$ – груз-утяжелитель
- 7) R – расстояние утяжелителей от оси вращения крестовины
- 8) $m\vec{g}$ – векторная сумма силы тяжести
- 9) \vec{T} – сила натяжения нити
- 10) h – расстояние, пройденное грузом за время t от начала движения
- 11) d – диаметр ступицы

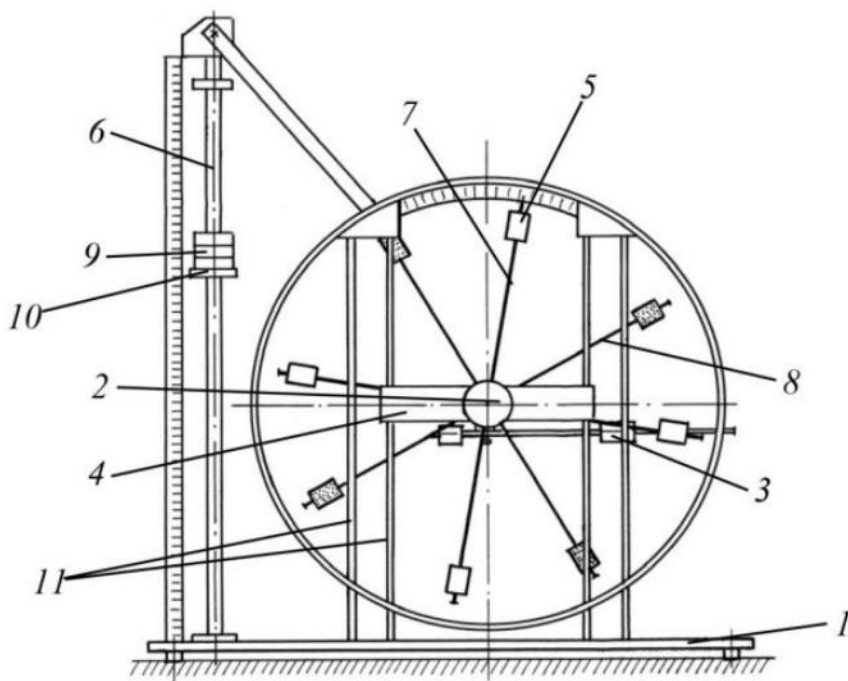


Рис. 2. Стенд лаборатории механики (общий вид)

- 1) Основание
- 2) Рукоятка сцепления крестовин
- 3) Устройства 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

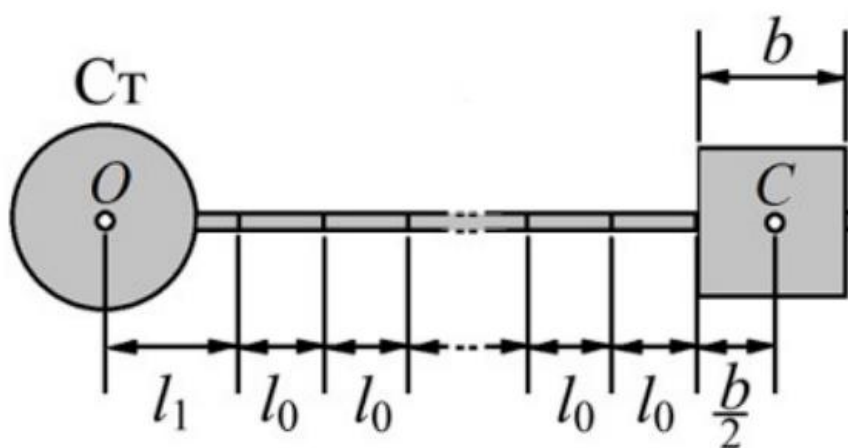


Рисунок 3. Определение расстояние от центра груза-утяжелителя до оси вращения.

- 1) O – ось вращения
- 2) C – центр утяжелителя
- 3) l_1 – расстояние от оси вращения до первой риски

4) l_0 – расстояние между соседними рисками

5) b – размер утяжелителя вдоль спицы

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

Таблица 1: Протокол измерений времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине (измерения также представлены в приложении).

Масса груза, г	Положение утяжелителей						
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска	
m_1	5.20	6.21	7.57	7.94	10.22	10.43	t_1
	5.17	6.03	7.29	8.52	8.52	10.39	t_2
	4.88	5.93	7.20	8.15	10.40	10,51	t_3
	5.08	6.06	7.35	8.20	9.71	10.41	t_{cp}
m_2	3.88	4.47	4.83	5.47	6.06	7.10	t_1
	3.66	4.24	5.06	5.58	6.61	7.12	t_2
	3.85	4.34	4.93	5.49	6.49	7.39	t_3
	3.80	4.35	4.94	5.51	6.39	7.20	t_{cp}
m_3	3.03	3.64	4.10	4.41	5.15	6.00	t_1
	3.06	3.42	4.07	4.45	5.18	5.45	t_2
	2.98	3.34	3.75	4.51	5.09	5.78	t_3
	3.02	3.47	3.97	4.46	5.14	5.74	t_{cp}
m_4	2.86	2.98	3.46	3.99	4.66	4.80	t_1
	2.73	3.10	3.51	4.00	4.23	4.69	t_2
	2.65	2.95	3.47	3.75	4.64	4.93	t_3
	2.75	3.01	3.48	3.91	4.51	4.81	t_{cp}

Где $m_1 = 0,267$ кг, $m_2 = 0,487$ кг, $m_3 = 0,707$ кг, $m_4 = 0,927$ кг.

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

Таблица 2: ускорение груза a м/с².

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
m_1	0.054	0.038	0.026	0.021	0.015	0.013
m_2	0.097	0.074	0.057	0.046	0.034	0.027
m_3	0.153	0.116	0.089	0.070	0.053	0.042
m_4	0.186	0.155	0.116	0.091	0.069	0.061

Таблица 3: угловое ускорение крестовины ε рад/с².

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
m_1	2.356	1.659	1.126	0.905	0.645	0.562
m_2	4.223	3.217	2.494	2.002	1.492	1.173
m_3	6.659	5.065	3.856	3.065	2.304	1.845
m_4	8.068	6.718	5.026	3.975	2.993	2.635

Таблица 4: момент силы натяжения нити M Нм.

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
m_1	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060	0.060
m_2	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109	0.109
m_3	0.157	0.157	0.158	0.158	0.158	0.159
m_4	0.205	0.206	0.206	0.207	0.207	0.208

Таблица 5: данные для нахождения зависимостей $M(\varepsilon)$ и $I(R^2)$.

N_рисок	R м	R^2 м ²	I кг · м ²	$M_{тр}$ Нм
Риска 1	0.077	0.006	0.0245	0.002
Риска 2	0.102	0.010	0.0285	0.014
Риска 3	0.127	0.016	0.0373	0.017
Риска 4	0.152	0.023	0.0476	0.015
Риска 5	0.177	0.031	0.0624	0.018
Риска 6	0.202	0.041	0.0711	0.023

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных измерений).**Таблица 6:** значения погрешностей для первых значений a, ε, M .

- 1) $\Delta\langle t \rangle_{сл} = 0.5325$. Формула её расчёта:

$$\Delta\langle t \rangle_{сл} = t_s(\alpha_{доп}, N) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_{1i} - \langle t_1 \rangle)^2}{N(N-1)}}$$

- 2) $\Delta t = 0.5326$. Формула её расчёта:

$$\Delta t = \sqrt{(\Delta\langle t \rangle_{сл})^2 + \left(\frac{2}{3} \Delta t_{пр}\right)^2}$$

- 3) $\Delta a = 0.0114$. Формула её расчёта:

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial h} \cdot \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t} \cdot \Delta t\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{t^2} \cdot \Delta h\right)^2 + \left(-\frac{4h}{t^3} \cdot \Delta t\right)^2}$$

- 4) $\Delta \varepsilon = 0.4943$. Формула её расчёта:

$$\Delta \varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} \cdot \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial d} \cdot \Delta d\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{d} \cdot \Delta a\right)^2 + \left(-\frac{2a}{d^2} \cdot \Delta d\right)^2}$$

5) $\Delta M = 0.0004$. Формула её расчёта:

$$\Delta_M = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial m} \cdot \Delta_m\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial d} \cdot \Delta_d\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial a} \cdot \Delta_a\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{d(g-a)}{2} \cdot \Delta_m\right)^2 + \left(\frac{m(g-a)}{2} \cdot \Delta_d\right)^2 + \left(-\frac{md}{2} \cdot \Delta_a\right)^2}$$

Погрешности	
a =	0.0114 м/с ²
ε =	0.4943 рад/с ²
M =	0.0004 Нм

6) $D = 0.011$. Формула её расчёта:

$$D = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

7) $S_{m_{yt}} = 0.0398$. Формула её расчёта:

$$S_{m_{yt}} = \sqrt{\frac{1}{D} \cdot \frac{\sum M_i - (M_{тр} + I_0 \cdot R_i^2)}{n - 2}}$$

8) $S_{I_0} = 0.002$. Формула её расчёта:

$$S_{I_0} = \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{Rcp^2}{D}\right) \cdot \frac{\sum d_i^2}{n - 2}}$$

9) $\Delta m_{yt} = 0.0796$. Формула её расчёта:

$$\Delta m_{yt} = 2 \cdot S_{m_{yt}}$$

10) $\Delta I_0 = 0.004$. Формула её расчёта:

$$\Delta I_0 = 2 \cdot S_{I_0}$$

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

График 1: точки зависимости $M(\epsilon)$ и графики аппроксимации $M = M_{тр} + I\epsilon$.

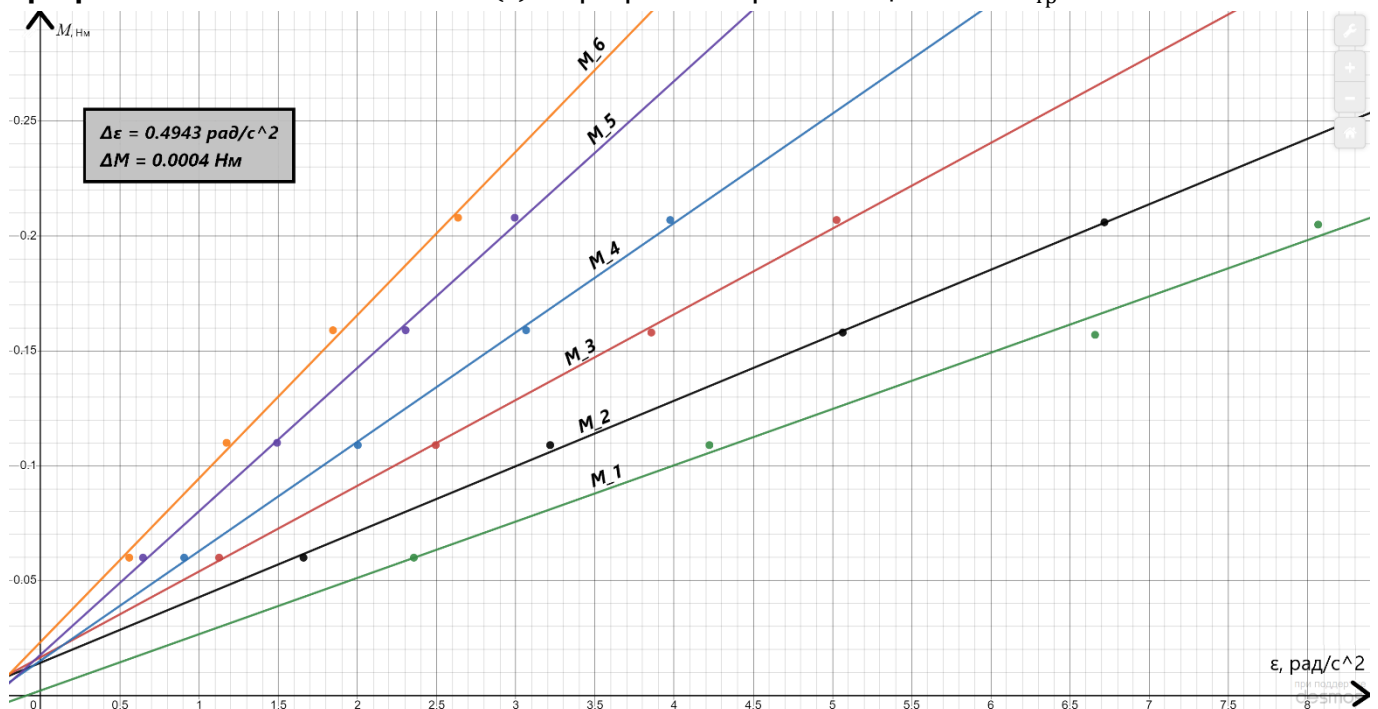
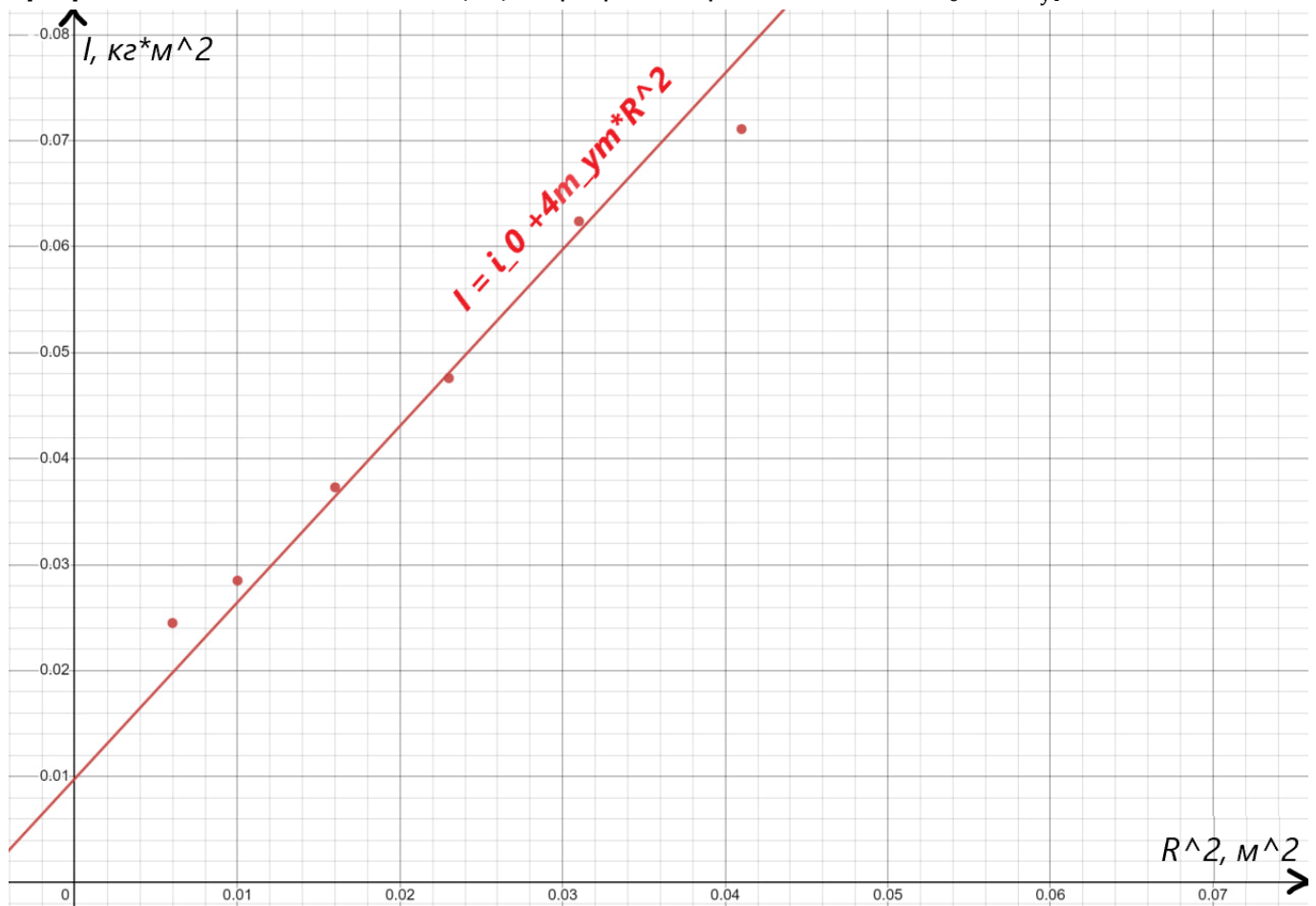


График 2: точки зависимости $I(R^2)$ и график аппроксимации $I = i_0 + 4m_{\text{yt}}R^2$.



12. Окончательные результаты.

Зависимость $M(\epsilon)$ линейна, все коэффициенты были ранее представлены в: Таблица№5 (Пункт 9), График№1 (Пункт 10).

Зависимость $I(R^2)$ линейна

$$\Delta I_0 = 0.009 \pm 0.003 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$m_{\text{yt}} = 0.416 \pm 0.079 \text{ кг}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

Вывод: С помощью маятника Обербека мы установили, что момент вращения и угловое ускорение имеют прямую зависимость. Это соответствие было подтверждено графиком №2, который демонстрирует, что момент инерции тела зависит от расстояния утяжелителей до оси вращения, и угловой коэффициент этого графика соответствует массе тела. Ошибки в измерениях в основном происходили из-за человеческого вмешательства и точности секундомера.

Агмайтис

Агмайтис

ЛР 1.04

Приложение

Гагдиев

29.09.2023

M3215

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 5,2	6,21	7,57	8,3 7,94	10,22	10,43
	t_2 5,17	6,03	7,29	8,52	8,52	10,39
	t_3 4,88	5,93	7,20	8,15	10,4	10,51
	t_{cp}					
m_2	3,88	4,47	4,83	5,47	6,06	7,10
	3,66	4,24	5,06	5,58	6,61	7,12
	3,85	4,34	4,93	5,49	6,49	7,39
m_3	3,03	3,64	4,10	4,41	5,15	6,0
	3,06	3,42	4,07	4,45	5,18	5,45
	2,98	3,34	3,75	4,51	5,09	5,78
m_4	2,86	2,98	3,46	3,99	4,66	4,8
	2,73	3,10	3,51	4,00	4,23	4,69
	2,65	2,95	3,47	3,75	4,64	4,93