

Группа РЗ110

К работе допущен Дел

Студент Алексеев Д.С.

Работа выполнена Дел

Преподаватель Королев М.П.

Отчет принят

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.04

Исследование равноускоренного ~~движения~~ вращательного
движения (маятник 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 силы натяжения нити от углового ускорения ~~крестовины~~ и проверить его линейность.
Построить график зависимости момента инерции ~~крестовины~~ от расстояния между центрами масс грузов и проверить его линейность.

3. Объект исследования.

Маятник Обербека

4. Метод экспериментального исследования.

Многочисленные приемы измерения

5. Рабочие формулы и исходные данные.

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

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

$$E = \frac{2ga}{d}$$

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

6. Измерительные приборы.

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

7. Схема установки

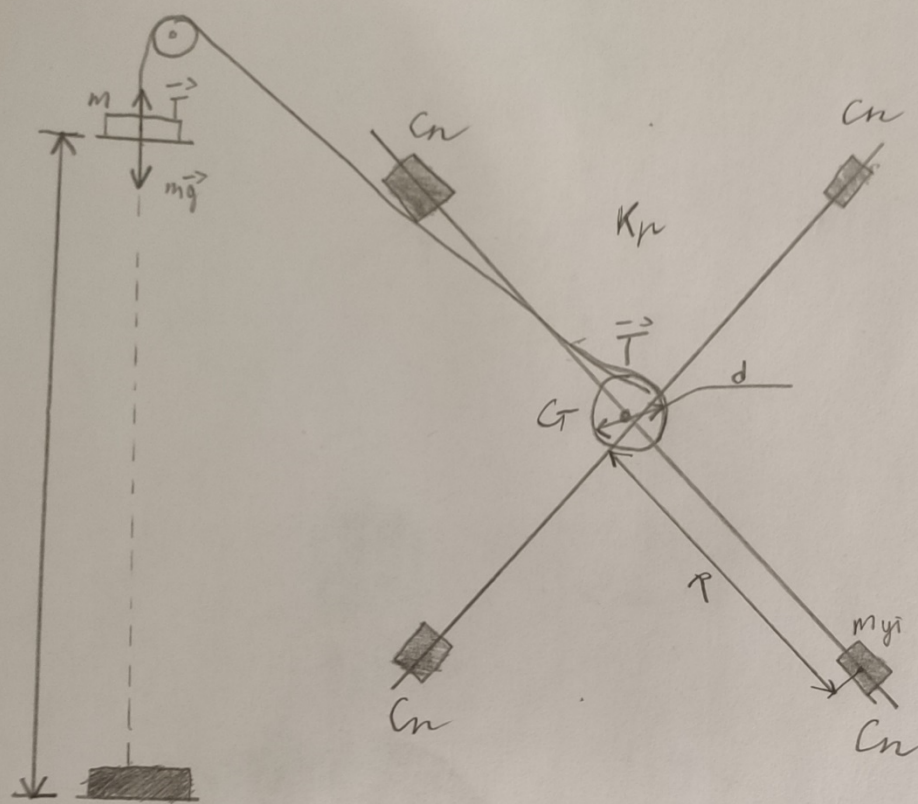


Рис. 1. Схема изгибательного стержня.

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 $m_{ут}$:

$$I_0 = 0,007503 \text{ кг * м}^2$$

$$m_{ут} = 0,455 \text{ кг}$$

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

m4	4	0,064933425	2,8231924	0,147778311
	5	0,033034372	1,436277055	0,148262538
	6	0,039723061	1,727089605	0,148161004
	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:

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

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

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

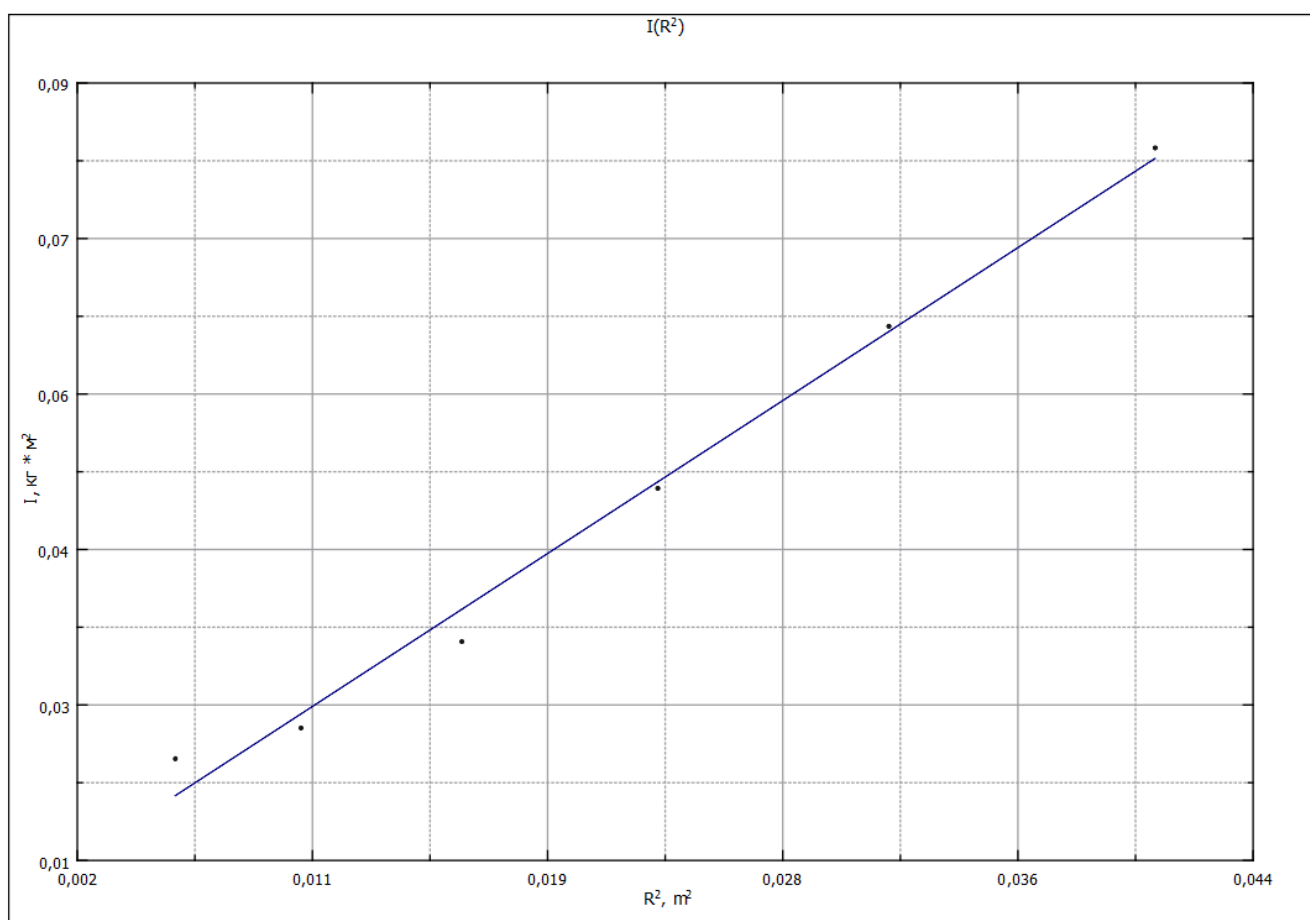
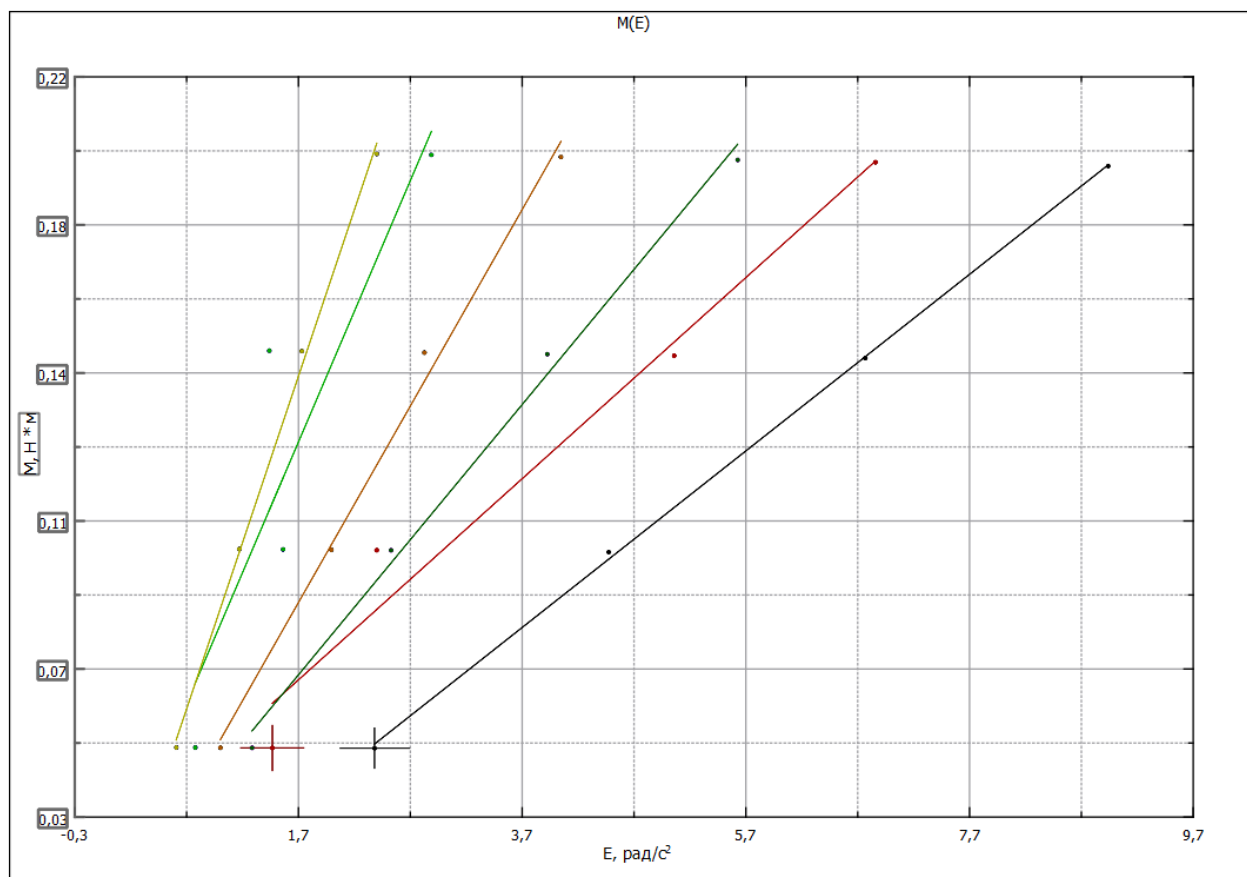
$$\Delta M = 0,005; \varepsilon = 10,08 \%.$$

Погрешность I_0 рассчитана по МНК.

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

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

11. Графики.



12. Окончательные результаты.

Следующие четыре погрешности представлены для первого положения утяжелителей.

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

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

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

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

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

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

13. Выводы.

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.