

Группа Р3110 К работе допущен _____

Студент Назирджанов Н Работа выполнена _____

Преподаватель Сорокина Е.К Отчет принят _____

Лабораторная работа № 1.04

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ (МАЯТНИК ОБЕРБЕКА)

1. Цель работы.

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

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- Исследовать вращательное движение тел
- Исследовать зависимость между угловой скоростью и моментом силы. Определить моменты инерции для разных положений утяжелителей
- Исследовать зависимость между расстоянием от оси вращения до утяжелителей и моментом инерции. Аналитически определить массу утяжелителя
- Рассчитать a груза, M силы натяжения нити, ε крестовины для каждой комбинации массы груза и положения утяжелителей на крестовине.
- Провести аппроксимацию МНК для искомых параметров $M_{\text{тр}}$, I по уравнению $M = M_{\text{тр}} + I\varepsilon$.
- Построить график зависимостей $M(\varepsilon)$ и проверить линейную зависимость для точек, полученных экспериментальным путём.
- Провести аппроксимацию МНК для искомых параметров $4m_{\text{ут}}$, I_0 по уравнению $I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$, где R – расстояние от центра крестовины до центра масс утяжелителей.
- Построить график зависимости $I(R_2)$ и проверить линейную зависимость для вычисленных точек, участвующих в аппроксимации.

3. Объект исследования.

- Маятник Обербека
- Равноускоренное вращательное движение
- Основной закон динамики вращения $M = I \cdot \varepsilon$, при $I = \text{const}$.

4. Метод экспериментального исследования.

Провести многократные косвенные и прямые измерения времени опускания грузов различных масс, связанных со ступицей крестовины, в зависимости от положения утяжелителей на осях крестовины.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

$a = \frac{2h}{t^2}$, где h – это расстояние, пройденное грузом за время t от начала движение

$\varepsilon = \frac{2a}{d}$, где d – это диаметр ступицы

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

$I\varepsilon = M - M_{\text{тр}}$, где I – момент инерции крестовины с утяжелителем

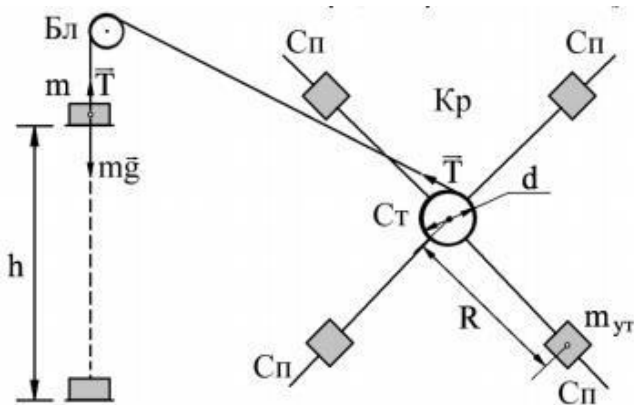
$I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$, где I – это момент инерции крестовины с утяжелителем, $M_{\text{тр}}$ – это момент силы трения, I_0 – это сумма моментов инерции стержней крестовины, момента инерции ступицы и собственных центральных моментов инерции утяжелителей

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

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	Цифровой	0-12(с)	0,005 (с)
2	Линейка	Измерительный	0-700(мм)	0,5(мм)

7. Схема установки.



Бл – Блок

Сп – спица

Ст – ступица

Кр – крестовина

м_{ут} – утяжелитель

m – груз

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

Масса груза, г	Положение утяжелителей груза					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
267,0	4,5	5,53	6,53	7,62	8,63	9,75
	4,12	5,65	6,72	7,63	8,53	9,53
	4,19	5,5	6,72	7,66	8,57	9,72
	4,27	5,56	6,66	7,64	8,58	9,67
487,0	3,03	3,97	4,6	5,69	6,15	6,94
	3,28	4,03	4,78	5,38	6,07	6,97
	3,16	4	4,75	5,44	6,15	7
	3,16	4	4,71	5,5	6,12	6,97
707,0	2,59	3,37	3,87	4,4	5,15	5,81
	2,66	3,16	4,16	4,47	5,13	5,69
	2,63	3,31	3,78	4,65	5,03	5,81
	2,63	3,28	3,94	4,51	5,1	5,77
927,0	2,28	2,85	3,47	3,96	4,34	5,06
	2,34	2,91	3,22	3,81	4,38	5
	2,36	2,91	3,47	3,79	4,5	4,81
	2,33	2,89	3,39	3,85	4,41	4,96

$K_{\text{Стюдента}}$ для $N=3 = 4,3$ $g = 9,8191 \pm 0,0005 \text{ м , } \varepsilon = 0,015\%$

Величина	Значение	Погрешность	Единица измерения	Относительная погрешность
h	700	5	мм	0,7%
l_0	25,0	0,2	мм	0,8%
l_1	57,0	0,5	мм	0,9%
b	40,0	0,5	мм	1,3%
d (диаметр ступицы)	46,0	0,5	мм	1,1%
$m_{\text{каретки}}$	47,0	0,5	г	1,1%
$m_{\text{шайбы}}$	220,0	0,5	г	0,23%
$m_{\text{груза на крестовине}}$	408,0	0,5	г	1,2%

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

Масса груза, кг	Положение утяжелителей груза						
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска	
0,267	0,0768	0,0453	0,0316	0,0240	0,0190	0,0150	$a, \frac{m}{c^2}$
	3,338	1,969	1,372	1,043	0,827	0,651	$\varepsilon, \frac{\text{рад}}{c^2}$
	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	$M, H \cdot m$
	4,27	5,56	6,66	7,64	8,58	9,67	$t_{\text{ср}}, c$
0,487	0,1402	0,0875	0,0631	0,0463	0,0374	0,0288	$a, \frac{m}{c^2}$
	6,096	3,804	2,744	2,012	1,625	1,253	$\varepsilon, \frac{\text{рад}}{c^2}$
	0,108	0,109	0,109	0,109	0,110	0,110	$M, H \cdot m$
	3,16	4,00	4,71	5,50	6,12	6,97	$t_{\text{ср}}, c$
0,707	0,2024	0,1301	0,0902	0,0688	0,0538	0,0421	$a, \frac{m}{c^2}$
	8,800	5,658	3,921	2,993	2,340	1,828	$\varepsilon, \frac{\text{рад}}{c^2}$
	0,156	0,158	0,158	0,159	0,159	0,159	$M, H \cdot m$
	2,63	3,28	3,94	4,51	5,10	5,77	$t_{\text{ср}}, c$
0,927	0,2579	0,1676	0,1218	0,0945	0,0720	0,0569	$a, \frac{m}{c^2}$
	11,212	7,288	5,297	4,107	3,130	2,474	$\varepsilon, \frac{\text{рад}}{c^2}$
	0,204	0,206	0,207	0,207	0,208	0,208	$M, H \cdot m$
	2,33	2,89	3,39	3,85	4,41	4,96	$t_{\text{ср}}, c$

Расчет I и $M_{\text{тр}}$ с помощью МНК

	1 риска	2 риска	3 риска
--	---------	---------	---------

	Е	Ei- Еср	М	Mi- Мср	Е	Ei- Еср	М	Mi- Мср	Е	Ei- Еср	М	Mi- Мср
	2,549	3,55 3	0,06 0	0,073	1,96 9	2,56 5	0,06 0	0,073	1,44 1	1,86 2	0,06 0	0,073
	4,732	1,37 0	0,10 9	0,024	3,78 5	0,74 8	0,10 9	0,024	2,57 7	0,72 6	0,10 9	0,024
	7,042	- 0,94 0	0,15 7	- 0,024	5,37 0	- 0,83 7	0,15 8	- 0,025	3,90 8	- 0,60 5	0,15 8	- 0,025
	10,08 6	- 3,98 4	0,20 4	- 0,072	7,01 0	- 2,47 7	0,20 6	- 0,073	5,28 6	- 1,98 3	0,20 7	- 0,073
срзна ч	6,102		0,13 3		4,53 4		0,13 3		3,30 3		0,13 4	
I	0,019				0,029				0,038			
Мтр	0,015				0,0013				0,008			

4 риска				5 риска				6 риска			
Е	Ei- Еср	М	Mi- Мср	Е	Ei- Еср	М	Mi- Мср	Е	Ei- Еср	М	Mi- Мср
1,04 3	1,49 6	0,06 0	0,074	0,82 7	1,15 4	0,06 0	0,074	0,65 1	0,90 1	0,06 0	0,074
2,01 2	0,52 7	0,10 9	0,024	1,62 5	0,35 6	0,11 0	0,024	1,25 3	0,29 9	0,11 0	0,025
2,99 3	- 0,45 4	0,15 9	- 0,025	2,34 0	- 0,36 0	0,15 9	- 0,025	1,82 8	- 0,27 7	0,15 9	- 0,025
4,10 7	- 1,56 8	0,20 7	- 0,073	3,13 0	- 1,15 0	0,20 8	- 0,074	2,47 4	- 0,92 3	0,20 8	- 0,074
2,53 9		0,13 4		1,98 1		0,13 4		1,55 2		0,13 4	
0,048				0,065				0,082			
0,012				0,006				0,008			

$$I = \frac{\sum_{i=1}^{n-4} (\varepsilon_{cp} - \varepsilon_i)(M_{cp} - M_i)}{\sum_{i=1}^{n-4} (\varepsilon - \varepsilon_i)^2}$$

$$M_{тр} = M_{cp} - I \cdot \varepsilon_{cp}$$

Расчет $4m_{yt}$ и I_0 с помощью МНК

N (кол- во ри-	R(м)	R^2(м)	I	R^2 _{ср} - R^2 _i	I _{ср} -I _i	d _i
----------------------	------	--------	---	-----------------------------------------	---------------------------------	----------------

сок)						
1	0,077	0,00593	0,018	0,015	0,028	- 0,0004
2	0,102	0,01040	0,027	0,011	0,019	0,0005
3	0,127	0,01613	0,038	0,005	0,008	0,0011
4	0,152	0,02310	0,048	-0,002	-0,001	- 0,0019
5	0,177	0,03133	0,065	-0,010	-0,019	0,0006
6	0,202	0,04080	0,082	-0,020	-0,036	0,0001
срзнач		0,021	0,046			

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

$$R = 0,057 + (1 - 1) \cdot 0,025 + 0,5 \cdot 0,04 = 0,077 \text{ м}$$

$$4M_{yt}=1,8 \text{ кг}$$

$$I_0=0,0076 \text{ кг/м}^2$$

10. Расчет погрешностей измерений (для прямых и косвенных)

Расчет погрешности прямых измерений для первых t_{cp} , $a_{груза}$, $M_{сила \text{ нат нит}}$, $E_{кре}$

$$\Delta t_{cp}=0,5\text{с} \quad \varepsilon_{t_{cp}}=11,8 \%$$

$$a=0,0768 \text{ м/с}^2 \quad M=0,06 \text{ Н*м} \quad \varepsilon=3,34 \text{ рад/с}^2$$

$$\Delta a=0,019 \text{ м/с}^2 \quad (24,4 \%)$$

$$\Delta \varepsilon= 0,85 \text{ рад/с}^2 \quad (25,5 \%)$$

$$\Delta M=0,016 \text{ Н*м} \quad (25,9 \%)$$

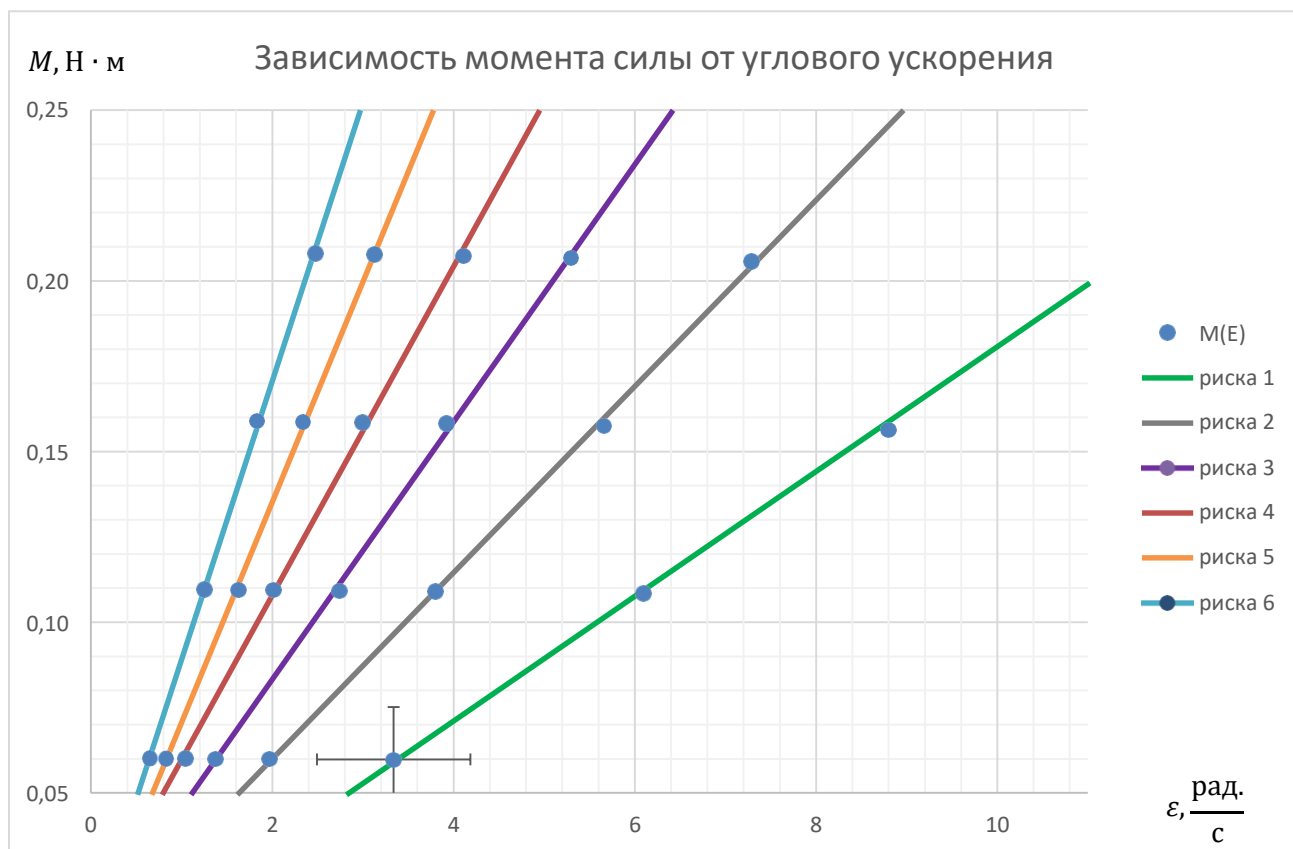
Расчет погрешности I_0 , M_{yt} $I = I_0 + 4m_{yt}R^2$

$$\Delta I_0=0,003 \text{ кг/м}^2$$

$$\Delta M_{yt}=0,035 \text{ кг}$$

11. Графики

График 1



- Первые значения ускорения груза, угловое ускорение крестовины и момент силы:

$$= (76,8 \pm 19) \text{ мм/с}^2, \alpha = 95\%$$

$$= (3,34 \pm 0,85) \text{ рад/с}^2, \alpha = 95\%$$

$$= (60 \pm 16) \text{ мН} \cdot \text{м}, \alpha = 95\%$$

- Определённые параметры в $I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2$ при помощи МНК:

$$I_0 = (7,6 \pm 3) \text{ г} \cdot \text{м}^2, \alpha = 95\%$$

$$m_{\text{ут}} = (450 \pm 35) \text{ г}, \alpha = 95\%$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

- Основной закон движения удалось проверить, и он выполняется. (Все точки на График 1 лежат на соответствующих прямых).
- Противоречий в зависимости момента инерции положения масс относительно оси вращения не найдено. Точки лежат на прямой. (см. График 2)

Заявленное значение $m_{\text{груза}}$ на крестовине $= (408,0 \pm 0,5) \text{ г}$ почти попадает в найденное при аппроксимации значение $m_{\text{ут}} = (450 \pm 35) \text{ г}$.

14. Дополнительные задания.

15. Выполнение дополнительных заданий.

16. Замечания преподавателя

