

Группа М3112 К работе допущен \_\_\_\_\_  
Студент Баатарцогт Анужин Работа выполнена \_\_\_\_\_  
Преподаватель Мейлахс Александр Павлович Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.04V

### 1. Цель работы.

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

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

Измерение времени падения каретки с шайбами.

### 3. Объект исследования.

Маятник Обербека.

### 4. Метод экспериментального исследования.

Измерение времени падения каретки при изменении массы каретки и изменении положения утяжелителей.

### 5. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Цифровой секундомер			0,01

## 6. Рабочие формулы и исходные данные.

### Constant:

$d = (46.0 \pm 0.5) \text{ мм}$ ; масса  $m_{\text{ут}}$  каждого из грузов-утяжелителей на крестовине; сумма  $I_0$  моментов инерции стержней крестовины, момента инерции ступицы и собственных центральных моментов инерции утяжелителей; момент  $M_{\text{тр}}$  силы трения в оси крестовины.

### Range for R and $m_w$ :

расстояние  $R$  от оси вращения крестовины до центров грузов-утяжелителей вычислять не нужно – оно задается непосредственно, обычно, не меньше пяти значений в диапазоне  $0.07 \text{ м} \dots 0.23 \text{ м}$ ;

значения массы  $m_g$  подвешенного груза устанавливаются экспериментатором, обычно, не меньше четырех значений в диапазоне  $0.1 \text{ кг} \dots 0.9 \text{ кг}$ ;

### Formula:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad \varepsilon = \frac{2a}{d}, \quad M = \frac{md}{2}(g - a). \quad I\varepsilon = M - M_{\text{тр}}. \quad I = I_0 + 4m_{\text{ут}}R^2,$$

$$ma = mg - T. \quad R = l_1 + (n-1)l_0 + \frac{1}{2}b.$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + \dots + x_i + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad \Delta_{\bar{x}} = t_{\alpha, n} S_{\bar{x}},$$

$$S_b^2 = \frac{1}{D} \frac{\sum d_i^2}{n-2}; \quad S_a^2 = \left( \frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D} \right) \frac{\sum d_i^2}{n-2}. \quad \Delta_a = 2S_a \quad \Delta_b = 2S_b$$

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

Механика - Лабораторная работа №2



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

### Протокол измерений времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине

Масса груза, кг	ti, с	Положение утяжелителей					
		0.07	0.10	0.13	0.16	0.19	0.22
0.10	t1	10.80	13.16	15.79	18.59	21.50	24.46
	t2	10.81	13.15	15.80	18.60	21.48	24.45
	t3	10.81	13.17	15.79	18.60	21.49	24.45
	t4	10.80	13.17	15.80	18.60	21.50	24.44
	t5	10.81	13.16	15.80	18.59	21.50	24.44
	tcp	10.81	13.16	15.80	18.60	21.49	24.45
0.30	t1	5.07	6.15	7.38	8.68	10.05	11.42

	t2	5.06	6.16	7.38	8.69	10.05	11.42
	t3	5.06	6.16	7.39	8.69	10.04	11.42
	t4	5.05	6.16	7.39	8.69	10.04	11.42
	t5	5.05	6.16	7.39	8.70	10.04	11.42
	tcp	5.06	6.16	7.39	8.69	10.04	11.42
0.50	t1	3.80	4.62	5.53	6.52	7.52	8.56
	t2	3.81	4.63	5.53	6.53	7.53	8.56
	t3	3.81	4.62	5.54	6.52	7.52	8.56
	t4	3.80	4.62	5.54	6.51	7.52	8.55
	t5	3.80	4.63	5.54	6.51	7.53	8.56
	tcp	3.80	4.62	5.54	6.52	7.52	8.56
0.70	t1	3.19	3.87	4.63	5.44	6.28	7.14
	t2	3.18	3.86	4.63	5.43	6.28	7.15
	t3	3.18	3.86	4.64	5.44	6.27	7.15
	t4	3.18	3.87	4.62	5.43	6.28	7.14
	t5	3.18	3.86	4.63	5.43	6.28	7.15
	tcp	3.18	3.86	4.63	5.43	6.28	7.15
0.90	t1	2.79	3.39	4.06	4.77	5.51	6.25
	t2	2.79	3.39	4.06	4.78	5.50	6.25
	t3	2.80	3.40	4.06	4.78	5.50	6.25
	t4	2.80	3.39	4.05	4.77	5.50	6.25
	t5	2.80	3.39	4.06	4.76	5.50	6.26
	tcp	2.80	3.39	4.06	4.77	5.50	6.25

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

Вычисленные  $a$ ,  $\epsilon$ ,  $M$ .

Масса груза, кг	Ускорение $a$ (м/с <sup>2</sup> )					
	0.07	0.1	0.13	0.16	0.19	0.22
0.1	0.01713	0.01154	0.00802	0.00578	0.00433	0.00335
0.3	0.07818	0.05274	0.03666	0.02648	0.01983	0.01534
0.5	0.13821	0.09354	0.06526	0.04708	0.03533	0.02731
0.7	0.19753	0.13395	0.09330	0.06773	0.05074	0.03917
0.9	0.25583	0.17383	0.12145	0.08783	0.06607	0.05117

Масса груза, кг	Угловое ускорение $\epsilon$ крестовины (рад/с <sup>2</sup> )					
	0.07	0.1	0.13	0.16	0.19	0.22
0.1	0.74468	0.50195	0.34850	0.25146	0.18822	0.14548
0.3	3.39895	2.29310	1.59398	1.15150	0.86196	0.66676
0.5	6.00926	4.06693	2.83733	2.04679	1.53605	1.18729
0.7	8.58819	5.82409	4.05639	2.94485	2.20627	1.70285
0.9	11.12315	7.55771	5.28054	3.81857	2.87251	2.22466

Масса груза, кг	Момент силы натяжение нити $M$ (Н м)					
	0.07	0.1	0.13	0.16	0.19	0.22
0.1	0.02250	0.02251	0.02252	0.02253	0.02253	0.02253
0.3	0.06708	0.06726	0.06737	0.06744	0.06748	0.06751
0.5	0.11111	0.11162	0.11195	0.11216	0.11229	0.11239
0.7	0.15460	0.15562	0.15628	0.15669	0.15696	0.15715
0.9	0.19756	0.19926	0.20035	0.20104	0.20149	0.20180

**погрешности и соответствующие доверительные интервалы**  
**Для первых значений a, eps и M**

Погрешность t	
t avg	10.8
S	0.00548
S $\alpha$	0.00245
$\alpha$	0.95
n	5
tan	2.8
$\Delta t$ сл	0.01
$\Delta t$	0.08
$\Delta t$ avg	0.04
t	10.8+-0.04
t rel	0.33%

Погрешность $\Delta a = \sqrt{(da / dt * \Delta t)^2}$	
a	0.01713
$\Delta t$ avg	0.03591
$\Delta h$	0.0001
t avg	10.80
$\Delta a$	0.00008
a rel	0.47%
a	a+-0.00008

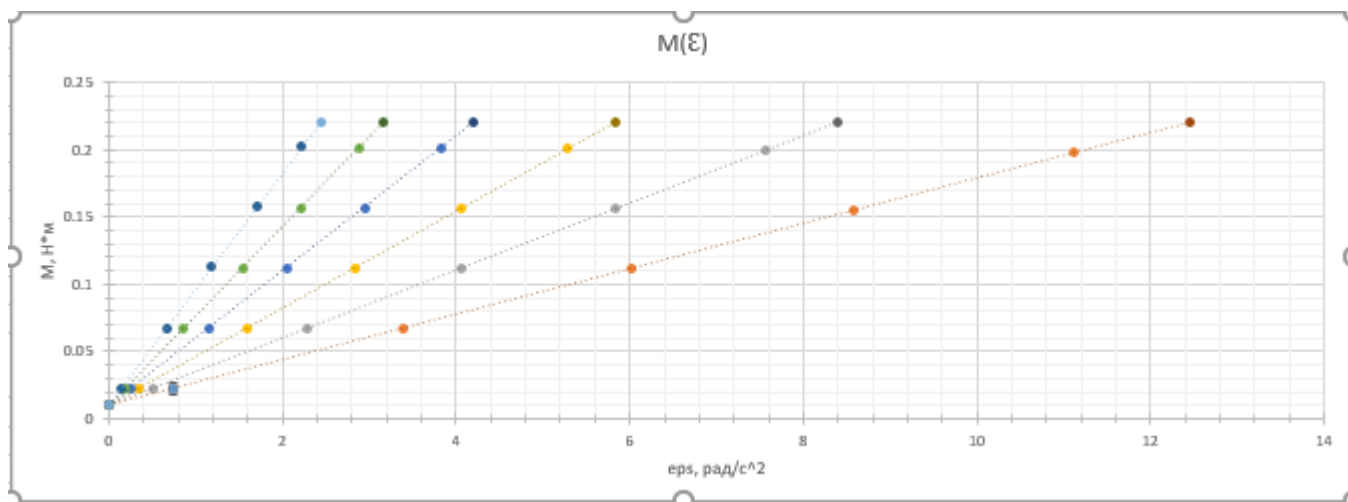
Погрешность $\Delta \varepsilon = \sqrt{(d \varepsilon / d a * \Delta a)^2}$	
$\varepsilon$	0.74468
a	0.01713
$\Delta d$	0.0005
$\Delta a$	0.00008
$\Delta \varepsilon$	0.06
$\varepsilon$	$\varepsilon \pm 0.06$
$\varepsilon$ rel	8%

Погрешность момента силы M	
a	0.01713
d	0.046
m	0.1
g	9.82
$\Delta a$	0.00008
$\Delta d$	0.0005
$\Delta m$	0.15
$\Delta g$	1.5
M	0.022501
$\Delta M$	0.001155748
M	0,044 +- 0,0012

Частные производные	
dm	0.033819902
dd	0.000245072
dg	0.00345
da	-0.000000184

График Зависимость  $M(\epsilon)$

График $M(\epsilon)$	
$\epsilon$	$M$
0.74468	0.0225006
3.39895	0.0670806
6.00926	0.1111106
8.58819	0.1545998
11.1232	0.1975643
0.50195	0.0225134
2.2931	0.0672561
4.06693	0.1116243
5.82409	0.1556233
7.55771	0.1992618
0.3485	0.0225216
1.59398	0.067367
2.83733	0.1119495
4.05639	0.1562779
5.28054	0.2003459
0.25146	0.0225267
1.1515	0.0674373
2.04679	0.1121586
2.94485	0.1566895
3.81857	0.201042
0.18822	0.02253
0.86196	0.0674832
1.53605	0.1122937
2.20627	0.156963
2.87251	0.2014924
0.14548	0.0225323
0.66676	0.0675142
1.18729	0.112386
1.70285	0.1571494
2.22466	0.2018008

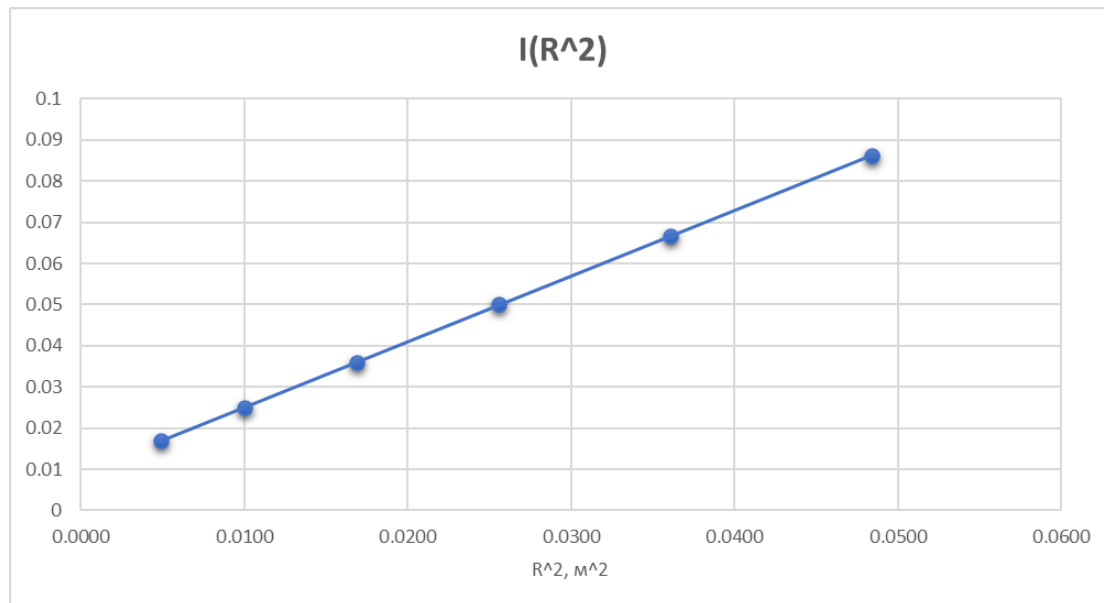


**Вычисленные момент инерции крестовины I и момент силы трения Mтр.**

ε	M	I	Mтр
0.7447	0.0225	0.01687	0.00983
3.3989	0.06708		
6.0093	0.11111		
8.5882	0.1546		
11.123	0.19756		
0.5019	0.02251	0.02505	0.00985
2.2931	0.06726		
4.0669	0.11162		
5.8241	0.15562		
7.5577	0.19926		
0.3485	0.02252	0.03607	0.00987
1.594	0.06737		
2.8373	0.11195		
4.0564	0.15628		
5.2805	0.20035		
0.2515	0.02253	0.04999	0.00986
1.1515	0.06744		
2.0468	0.11216		
2.9448	0.15669		
3.8186	0.20104		
0.1882	0.02253	0.06665	0.00998
0.862	0.06748		
1.536	0.11229		
2.2063	0.15696		
2.8725	0.20149		
0.1455	0.02253	0.08628	0.01000
0.6668	0.06751		
1.1873	0.11239		
1.7028	0.15715		
2.2247	0.2018		

зависимость момента инерции крестовины с утяжелителями  $I$  от квадрата радиуса от центра крестовины до центров утяжелителей  $R$ .

R	$R^2$	I
0.07	0.0049	0.01687
0.10	0.0100	0.02505
0.13	0.0169	0.03607
0.16	0.0256	0.04999
0.19	0.0361	0.06665
0.22	0.0484	0.08628



Вычисленные коэффициенты  $I_0$  и  $4m$  зависимости  $I(R^2) = I_0 + 4mR^2$ .

$x_{cp} = R^2_{cp}$	$y_{cp} = I_{cp}$	$x_i - x_{cp}$	$y_i - y_{cp}$	$(x_i - x_{cp}) * (y_i - y_{cp})$	$(x_i - x_{cp})^2$
0.02	0.05	-0.02	-0.03	0.000562	0.00
0.02	0.05	-0.01	-0.02	0.000297	0.00
0.02	0.05	-0.01	-0.01	0.000073	0.00
0.02	0.05	0.00	0.00	0.000006	0.00
0.02	0.05	0.01	0.02	0.000247	0.00
0.02	0.05	0.02	0.04	0.000977	0.00
$b = 4m \text{ ут}$		$a = I_0$	$m \text{ ут}$		
1.595116		0.0091	0.3988		

11. Окончательные результаты.

12. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы, работая с маятником Обербека, мы подтвердили:

1. Линейную зависимость момента вращения от углового ускорения.
2. Угловой коэффициент = моментом инерции данного тела
3. Линейная зависимость инерции тела от расстояния весов до оси вращения.