

Группа N3149 _____ К работе допущен _____

Студент Синюта Анастасия _____ Работа выполнена _____

Преподаватель Иванов Виктор Юрьевич _____ Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №1.04

ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

1. Цель работы.

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

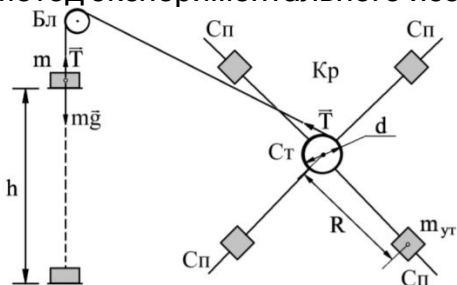
2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

Вычисление ускорения, углового ускорения, момента силы и момента инерции тела с различными характеристиками.

3. Объект исследования.

Маятник Обербека.

4. Метод экспериментального исследования.



Груз m , опускаясь, раскручивает крестовину. Если пренебречь силой сопротивления воздуха, то груз движется равноускоренно под действием векторной суммы силы тяжести mg и силы T натяжения нити.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

Исходные данные:

Наименование	Значение	Погрешность	Единицы измерения
Масса каретки	0,047	0,0005	кг
Масса шайбы	0,22	0,0005	кг
Масса грузов на крестовине	0,408	0,0005	кг
Расстояние первой риски от оси	0,057	0,0005	м
Расстояние между рисками	0,025	0,0005	м
Диаметр ступницы	0,046	0,0005	м

Диаметр груза на крестовине	0,04	0,0005	м
Высота груза на крестовине	0,04	0,0005	м
Секундомер	-	0,001	с
Высота каретки	0,7	0,0005	м
Ускорение свободного падения	9,8	0,029	м/с ²

- $t_{cp} = (t_1 + t_2 + t_3)/3$
- Ускорение, угловое ускорение, момент силы натяжения нити:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad \varepsilon = \frac{2a}{d}, \quad M = \frac{md}{2}(g - a).$$

- Вычисление погрешностей: $\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial \Delta_z}{\partial a}\Delta_a\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta_z}{\partial b}\Delta_b\right)^2 + \left(\frac{\partial \Delta_z}{\partial c}\Delta_c\right)^2 + \dots}$

- Метод наименьших квадратов (МНК):

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum y_i, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i, \quad b = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}; \quad a = \bar{y} - b\bar{x}.$$

- Теоретическая связь между моментом силы натяжения нити и угловым ускорением крестовины описывается уравнением: $M = M_{тр} + I\varepsilon$
- Расстояние между осью О вращения и центром С утяжелителя:
 $R = l_1 + (n-1)l_0 + \frac{1}{2}b$
- I момент инерции крестовины с утяжелителями: $I = I_0 + 4m_{\gamma}R^2$

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	Цифровой	10 с	$\pm 0,001$ с
2	Линейка	Механический	1 м	$\pm 0,5$ мм

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

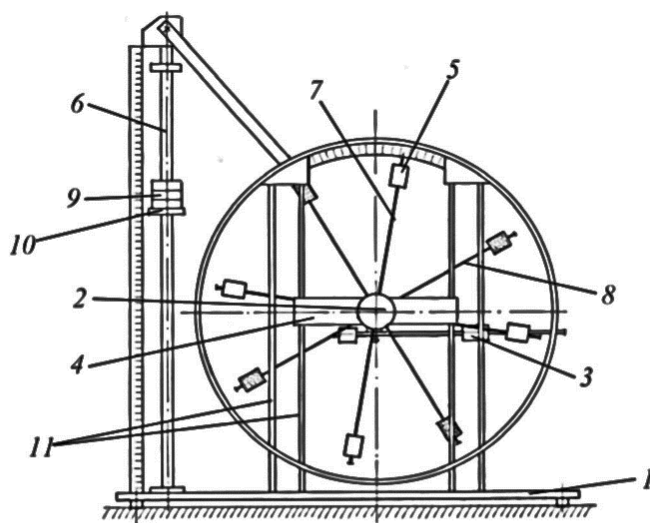


Рис. 2. Стенд лаборатории механики (общий вид):

1 – основание; 2 – рукоятка сцепления крестовин; 3 – устройство 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.

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

Масса груза, г	t	Положение утяжелителей					
		1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
m ₁	t ₁	4,93	5,60	6,52	7,59	8,51	9,48
	t ₂	4,87	5,62	6,54	7,57	8,53	9,42
	t ₃	4,50	5,67	6,50	7,56	8,49	9,50
	t _{ср}	4,77	5,63	6,52	7,57	8,51	9,47
m ₂	t ₁	3,57	4,45	4,96	5,43	6,15	6,90
	t ₂	3,49	4,42	4,92	5,47	6,07	6,85
	t ₃	3,68	4,43	4,95	5,42	6,17	6,84
	t _{ср}	3,58	4,43	4,94	5,44	6,13	6,86
m ₃	t ₁	2,94	3,57	3,90	4,96	5,25	5,82
	t ₂	2,95	3,58	3,80	4,92	5,28	5,85
	t ₃	2,93	3,56	3,70	4,95	5,25	5,81
	t _{ср}	2,94	3,57	3,80	4,94	5,26	5,83
m ₄	t ₁	2,63	3,14	3,53	4,29	4,66	5,03
	t ₂	2,60	3,15	3,52	4,31	4,68	5,05
	t ₃	2,58	3,11	3,51	4,32	4,63	5,05
	t _{ср}	2,60	3,13	3,52	4,31	4,66	5,04

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

Задание 8:

	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
t _{ср}	4,77	5,63	6,52	7,57	8,51	9,47
a	0,062	0,044	0,033	0,024	0,019	0,016
ε	2,679	1,920	1,432	1,061	0,841	0,679
M	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
t _{ср}	3,58	4,43	4,94	5,44	6,13	6,86
a	0,109	0,071	0,057	0,047	0,037	0,030
ε	4,749	3,097	2,491	2,057	1,620	1,292
M	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109	0,109
t _{ср}	2,94	3,57	3,80	4,94	5,26	5,83
a	0,162	0,110	0,097	0,057	0,051	0,041
ε	7,042	4,776	4,215	2,491	2,200	1,793
M	0,157	0,158	0,158	0,158	0,159	0,159
t _{ср}	2,60	3,13	3,52	4,31	4,66	5,04
a	0,207	0,143	0,113	0,075	0,065	0,055
ε	8,981	6,200	4,913	3,282	2,807	2,393
M	0,205	0,206	0,207	0,207	0,208	0,208

Задание 10:

		1.риска	2.риска	3.риска	4.риска		
m1	ε	2,679	1,920	1,432	1,061		
	M	0,060	0,060	0,060	0,060		
	Mтр + Iε	0,060018	0,103559	0,118173	0,130529		
m2	ε	4,749	3,097	2,491	2,057		
	M	0,109	0,109	0,109	0,109		
	Mтр + Iε	0,107087	0,120281	0,126956	0,133297		
m3	ε	7,042	4,776	4,215	2,491		
	M	0,157	0,158	0,158	0,158		
	Mтр + Iε	0,159212	0,144142	0,141257	0,134504		
m4	ε	8,981	6,200	4,913	3,282		
	M	0,205	0,206	0,207	0,207		
	Mтр + Iε	0,203298	0,164378	0,14704	0,136703		
		1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
ε_	x_	5,863	3,998	3,263	2,223	1,867	1,539
M_	y_	0,132	0,133	0,133	0,134	0,134	0,134
I	b	0,022734	0,014212	0,008293	0,00278	0,002057	0,001458
Mтр	a	-0,001	0,076	0,106	0,128	0,130	0,132

Задание 12:

	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
<i>n</i>	1	2	3	4	5	6
<i>R</i>	0,077	0,102	0,127	0,152	0,177	0,202
<i>R</i> ²	0,006	0,010	0,016	0,023	0,031	0,041
<i>l</i>	0,023	0,014	0,008	0,003	0,002	0,001
<i>l_i</i>	0,057					
<i>l₀</i>	0,025					
<i>b</i>	0,04					

Задание 14:

	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
<i>R</i> ²	0,006	0,010	0,016	0,023	0,031	0,041
4 * <i>R</i>²	0,024	0,042	0,065	0,092	0,125	0,163
<i>l</i>	0,023	0,014	0,008	0,003	0,002	0,001
<i>x_i-x_</i>	-0,061	-0,044	-0,021	0,007	0,040	0,078
<i>y_i-y_</i>	0,014	0,006	0,000	-0,006	-0,007	-0,007
	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
<i>(x_i-x_)</i> ²	0,004	0,002	0,000	0,000	0,002	0,006
<i>l₀ + 4*m_{yr}*R²</i>	0,000	0,002	0,006	0,010	0,014	0,020
<i>l_</i>	<i>y_</i>	0,009	<i>y = a + bx ~</i>		<i>l = l₀ + 4*m_{yr}*R²</i>	
4*R²_	<i>x_</i>	0,085	<i>y ~</i>		<i>l</i>	
<i>m_{yr}</i>	<i>b</i>	0,142984	<i>a ~</i>		<i>l₀</i>	
<i>l₀</i>	<i>a</i>	-0,00358	<i>b ~</i>		<i>m_{yr}</i>	
			<i>x ~</i>		4*R²	

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

Задание 7:

Вычисление погрешности для t_{cp}	
Формула для t_{cp}	$t_{cp} = (t_1 + t_2 + t_3)/3$
$\Delta t =$	0,00057735

Задание 8:

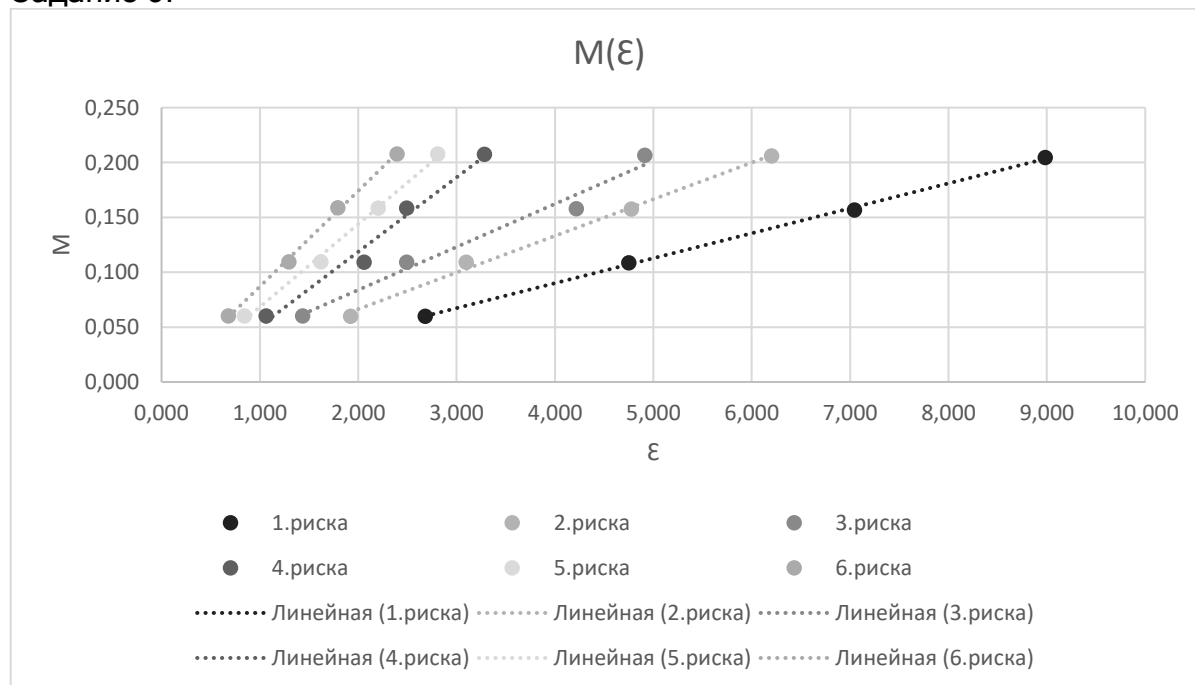
Вычисления погрешностей для первых значений a , ϵ , M	
Абсолютная погрешность	
$\Delta a =$	0,000
$\Delta \epsilon =$	0,029
$\Delta M =$	0,001
Относительная погрешность	
$\epsilon a =$	0,17%
$\epsilon \epsilon =$	1,10%
$\epsilon M =$	1,14%
Доверительный интервал	
$a =$	$0,062 \pm 0,000$
$\epsilon =$	$2,679 \pm 0,029$
$M =$	$0,060 \pm 0,001$

Задание 14:

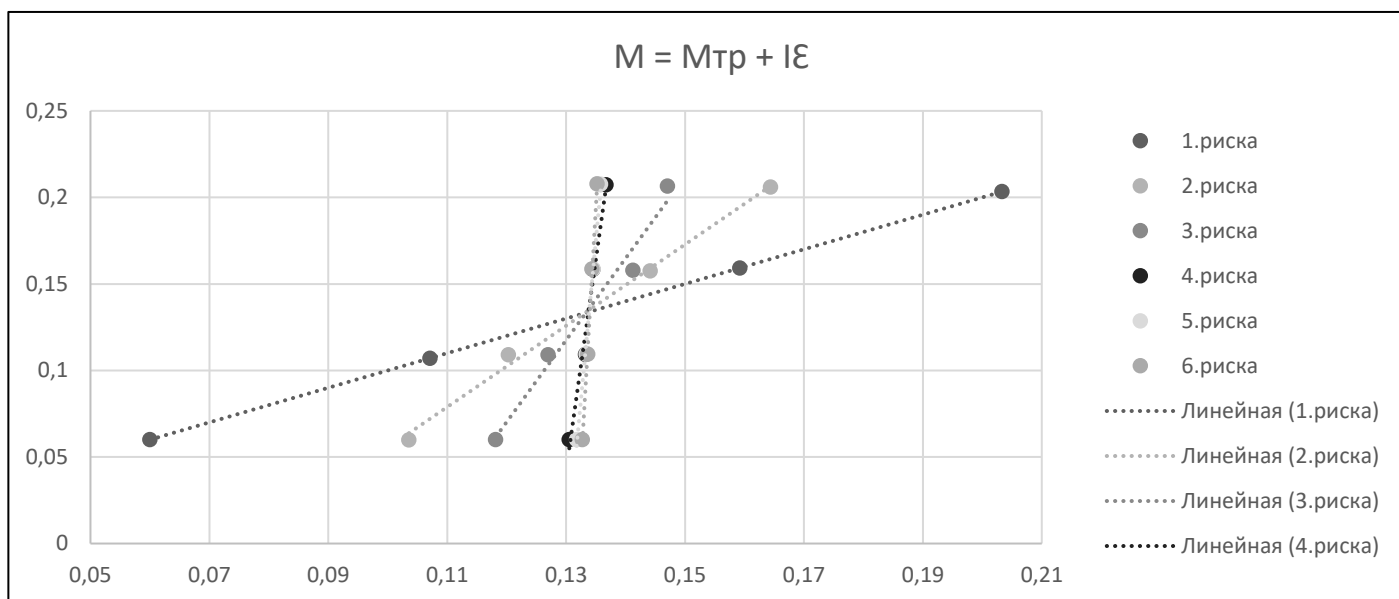
Расчет погрешности для $m_{ут}$ и I_0						
$D =$	0,014					
$d_i =$	0,022927	0,011845	0,002652	-0,00685	-0,01228	-0,0183
$d_i^2 =$	0,000526	0,00014	7,03E-06	4,69E-05	0,000151	0,000335
$S_b^2 =$	0,021749				$S_a^2 =$	0,000233
$\Delta b =$	$\Delta m_{ут} =$	0,043498		$\Delta a =$	$\Delta I_0 =$	0,000466

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

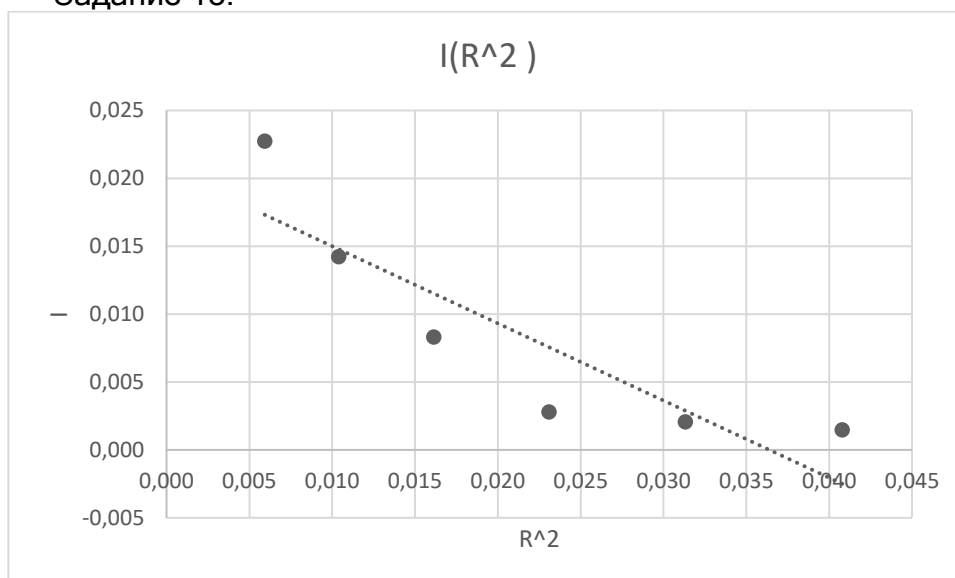
Задание 9:



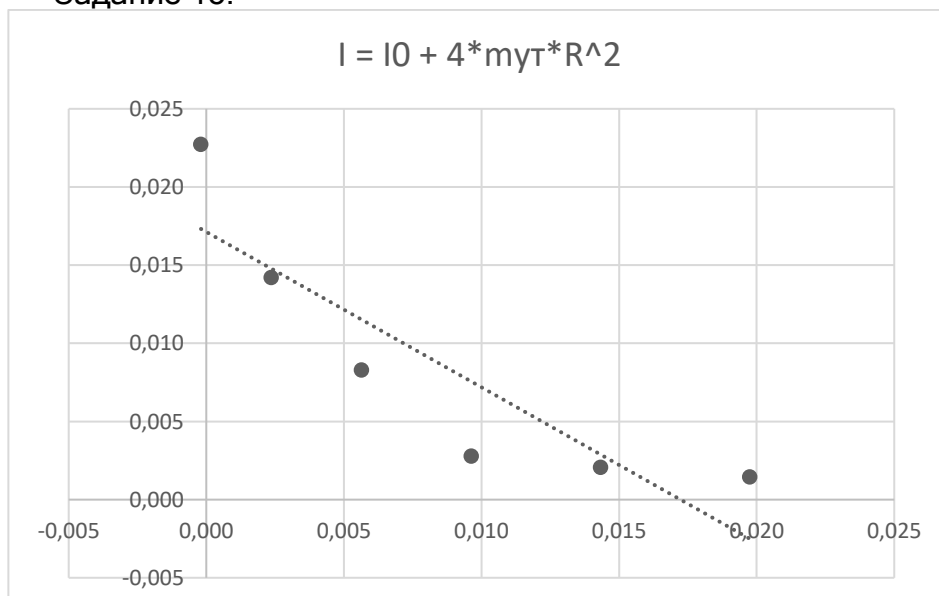
Задание 11:



Задание 13:



Задание 15:



12. Окончательные результаты.

$$I_0 = - 0,00358 \text{ кг/м}^2$$

$$m_{\text{ут}} = 0,142984 \text{ кг}$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В ходе лабораторной работы вычислили ускорение, угловое ускорение, моменты силы и моменты инерции тела с различными характеристиками. Проверили основной закон динамики вращения и удостоверились в том, что момент инерции зависит от положения масс относительно оси вращения.

14. Дополнительные задания.

15. Выполнение дополнительных заданий.

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