

Группа Р3110  
Студент Бавыкин Роман Алексеевич  
Преподаватель Коробков Максим Петрович

К работе допущен \_\_\_\_\_  
Работа выполнена \_\_\_\_\_  
Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 1.04 ИССЛЕДОВАНИЕ РАВНОУСКОРЕННОГО ВРАЩЕТЕЛЬНОГО 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) Многократное измерение времени прохождения кареткой определенного пути, с различными массами каретки и расстояниями до грузов крестовины;
  - 2) Расчет для каждого набора параметров среднего времени, ускорения, углового ускорения, момента силы и их погрешностей;
  - 3) Нанести на график точки зависимостей  $M(\varepsilon)$ , найти коэффициенты линейных зависимостей  $M(\varepsilon)$  МНК и построить графики этих линейных зависимостей;
  - 4) Нанести на график точки зависимостей  $I(R^2)$ , найти коэффициенты линейных зависимостей  $I(R^2)$  МНК и построить графики этих линейных зависимостей;
3. Объект исследования.

Маятник Обербека
4. Метод экспериментального исследования.

Многократные прямые измерения, нахождение коэффициентов зависимостей методом наименьших квадратов
5. Рабочие формулы и исходные данные.
$$ma = mg - T; \quad a = \frac{2h}{t^2}; \quad \varepsilon = \frac{2a}{d}; \quad T = m(g - a);$$
$$M = \frac{md}{2}(g - a); \quad I\varepsilon = M - M_{\text{тр}}; \quad I = I_0 + 4m_{\text{yt}}R^2$$
6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	Электронный	0 – 15с	0,01с

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

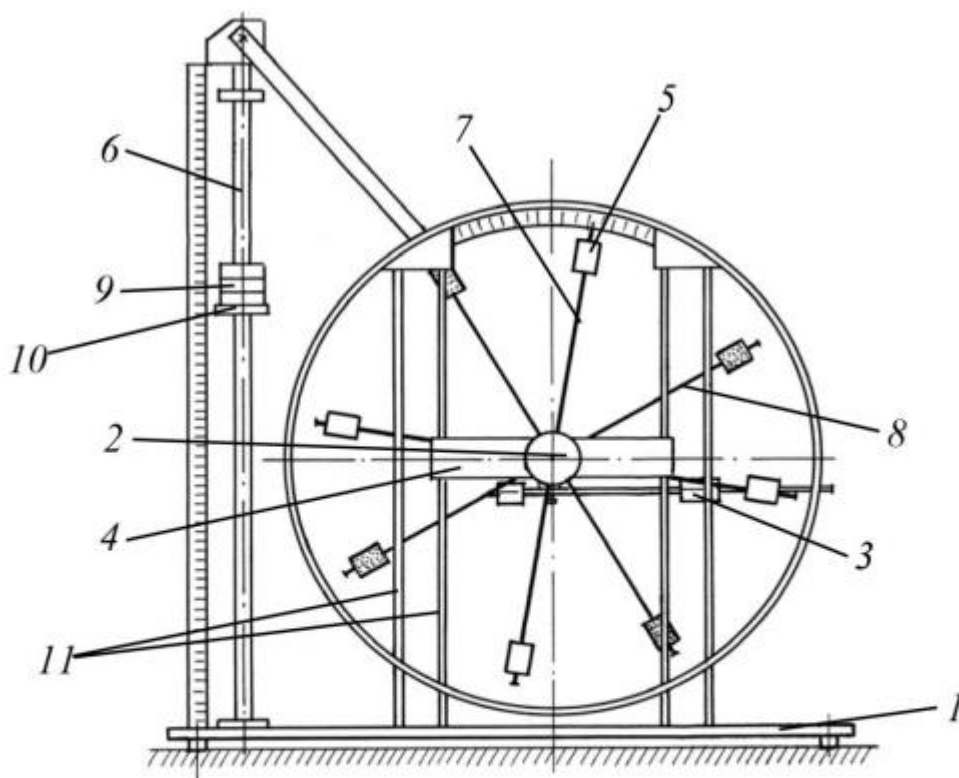


Рис. 2. Стенд лаборатории механики (общий вид):

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).

Таблица 1

Таблица 1. Протокол измерений времени падения груза при разной массе груза и разным положении утяжелителей на крестовине

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1. риска	2. риска	3. риска	4. риска	5. риска	6. риска
$m_1$	<del>5,19</del> 5,13	6,31	<del>7,15</del> 6,75	7,91	9,06	9,85
	<del>5,19</del> 5,19	6,62	<del>6,78</del> 6,78	7,81	8,75	10,10
	<del>5,19</del> 4,87	6,41	<del>7,15</del> 7,15	7,69	8,79	10,16
	<del>5,19</del> 5,063	6,447	6,895	7,803	<del>8,861</del> 8,861	10,037
$m_2$	3,78	4,88	<del>4,93</del> 4,93	5,50	6,10	7,25
	3,69	4,93	<del>4,87</del> 4,87	5,56	6,37	7,00
	3,60	5,31	<del>4,94</del> 4,94	5,53	6,27	7,40
	3,690	5,040	4,913	5,530	6,247	7,217
$m_3$	3,03	2,38	<del>3,56</del> 3,56	4,50	5,78	5,88
	2,87	3,56	<del>3,56</del> 3,56	4,81	5,87	5,90
	3,09	3,47	<del>4,00</del> 4,00	4,62	5,88	6,03
	2,977	3,470	3,940	4,643	5,843	5,937
$m_4$	2,49	2,78	<del>3,43</del> 3,43	3,82	4,50	5,25
	2,66	2,94	<del>3,25</del> 3,25	3,85	4,31	4,97
	2,69	3,21	<del>3,19</del> 3,19	3,97	4,97	4,9
	2,613	2,977	3,290	3,880	4,593	5,240

Бавыкин Р.А. 27.10.20

$$t_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

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

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

Таблица 2

Величина	Масса груза, г	Положение утяжелителей					
		1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
a	$m_1$	0.054608	0.033687	0.029462	0.022992	0.017808	0.013897895
	$m_2$	0.102819	0.055115	0.057993	0.04578	0.035878	0.026881577
	$m_3$	0.155902	0.11627	0.090185	0.064933	0.041002	0.039723061
	$m_4$	0.204993	0.158004	0.129341	0.092996	0.066355	0.055114638
$\varepsilon$	$m_1$	2.374254	1.464636	1.280978	0.999631	0.774247	0.604256315
	$m_2$	4.470411	2.396289	2.521435	1.990444	1.559924	1.16876422
	$m_3$	6.77834	5.055234	3.921099	2.823192	1.782703	1.727089605
	$m_4$	8.912727	6.869732	5.623522	4.043307	2.88499	2.396288628
M	$m_1$	0.049312	0.049418	0.049439	0.049472	0.049498	0.049517677
	$m_2$	0.098135	0.098618	0.098589	0.098713	0.098813	0.098903958
	$m_3$	0.146397	0.146999	0.147395	0.147778	0.148142	0.148161004
	$m_4$	0.194203	0.195154	0.195734	0.19647	0.197009	0.19723648

Расчет коэффициентов I и  $M_{тр}$  зависимости  $M = M_{тр} + I\varepsilon$  методом наименьших квадратов.

Для каждого положение утяжелителей расстояние между осью вращения и центром тяжести считается по формуле  $R = l_1 + (n-1)l_0 + \frac{1}{2}b$

Таблица 3

Величина	Номер риски					
	1	2	3	4	5	6
$M_{тр}$	-0.00205	0.02399	0.01061	0.00261	-0.00048	0.00138
R	0.077	0.102	0.127	0.152	0.177	0.202
$R^2$	0.005929	0.010404	0.016129	0.023104	0.031329	0.040804
I	0.022021	0.024974	0.033619	0.048901	0.070752	0.08281

Определение значения  $I_0$  и  $m_{ут}$  на основе найденных значений I и  $R^2$  методом наименьших квадратов.

$I_0 = 0,007$ ;  $m_{ут} = 0,472$ ;

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

Погрешность среднего значения времени  $\Delta t$  для первого значения  $t_{ср}$ :

$$S_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = 0,098; \quad \Delta \bar{t} = t_{\alpha, n} S_{\bar{t}} = 4,3 \cdot 0,098 = 0,42; \quad \Delta t = \sqrt{\Delta_{\bar{t}}^2 + \left(\frac{2}{3} \Delta_{\text{ин}}\right)^2} = 0,42$$

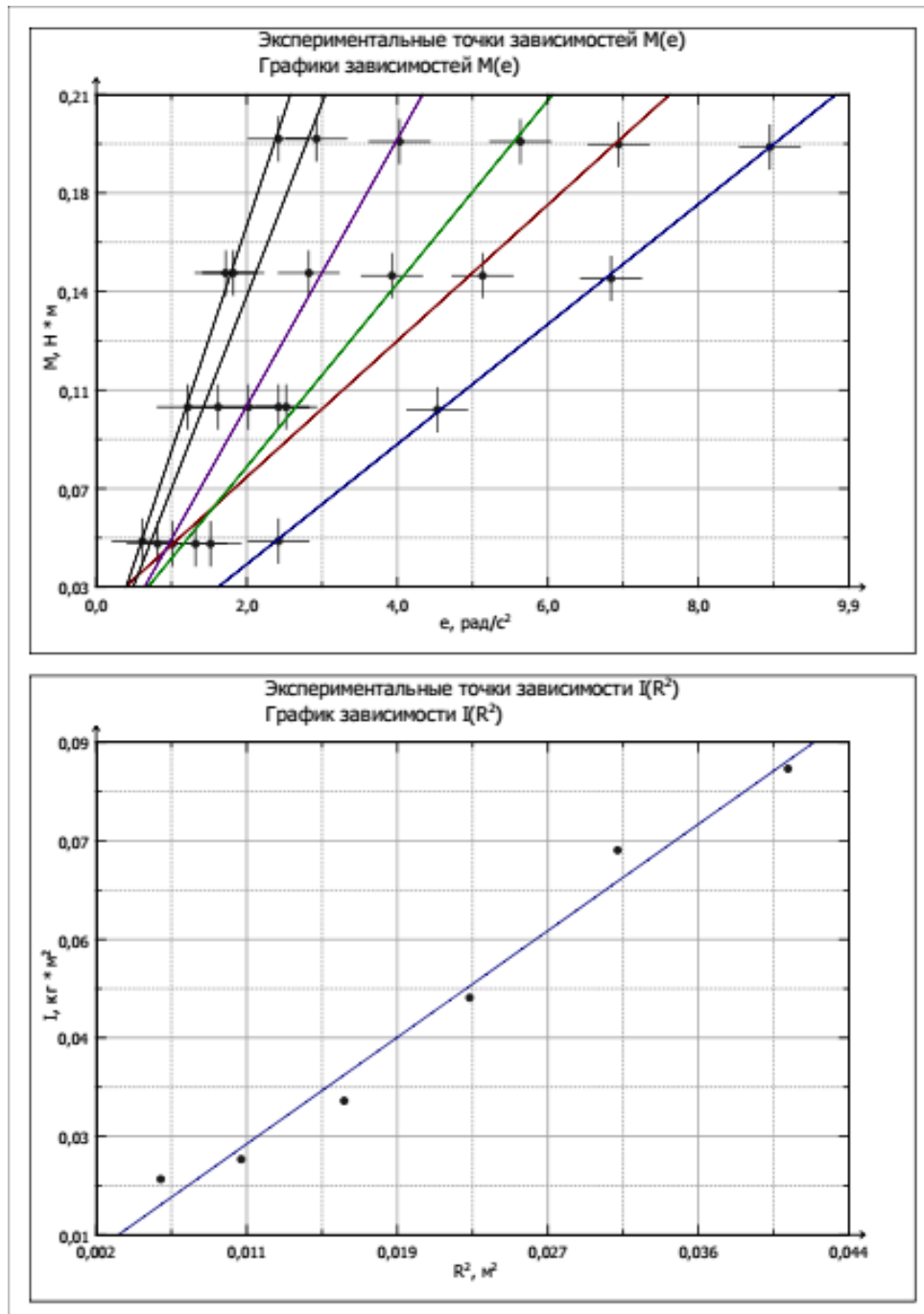
$$\varepsilon = \frac{\Delta t}{\bar{t}} 100\% = 8,3\%$$

Погрешности для первых значений  $\Delta a, \Delta \varepsilon, \Delta M$  были рассчитаны с помощью формулы:

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a} \Delta a\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \Delta c\right)^2 + \dots}, \quad \Delta a = 0,009, \quad \Delta \varepsilon = 0,4, \quad \Delta M = 0,008$$

Погрешности  $\Delta m_{ут} = 0,008$ ;  $\Delta I_0 = 0,001$

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



## 12. Окончательные результаты.

- 1) Экспериментальные точки зависимостей  $M(\varepsilon)$  и графики зависимостей  $M(\varepsilon)$ ;
- 2) Экспериментальные точки зависимостей  $I(R^2)$  и графики зависимостей  $I(R^2)$ ;
- 3)  $m_{\text{ут}} = 0,472 \pm 0,008 \text{ кг}$ ,  $\alpha = 0,95$
- 4)  $I_0 = 0,007 \pm 0,001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $\alpha = 0,95$

## 13. Выводы и анализ результатов работы.

Анализируя полученные графики, можно увидеть, что зависимость момента силы от угловой скорости, при постоянном моменте инерции является линейной. Небольшое отклонение экспериментальных точек от графика объясняется наличием случайной погрешности. При изменении момента инерции меняется угол наклона графика.

Зависимость момента инерции от квадрата расстояния между осью вращения и центром тяжести груза, судя по графику, является линейной. Незначительное отклонение экспериментальных точек от графика обусловлено наличием случайной погрешности.