

Группа М3217

К работе допущен _____

Студент Бессонов Борис

Работа выполнена 17.10.23

Преподаватель Тимофеева Эльвира Олеговна

Отчет принят _____

**Рабочий протокол и отчет по
лабораторной работе №1.04**

Исследование равноускоренного вращательного 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. Измерение времени падения груза при разной массе груза и разном положении утяжелителей на крестовине.
2. Расчёт ускорения груза, углового ускорения крестовины и момента силы натяжения нити.
3. Расчёт момента инерции крестовины с утяжелителями и момента силы трения.
4. Исследование зависимости момента силы натяжения нити от углового ускорения. Проверка основного закона динамики вращения.
5. Исследование зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения. Проверка теоремы Штейнера.

3. Объект исследования.

Вращательное движение маятника Обербека с привязанным к нему грузом в зависимости от массы груза и момента инерции маятника (расстоянию от центра до утяжелителей).

4. Метод экспериментального исследования.

1. Списать или сфотографировать данные об установке на рабочем месте.

2. Ознакомится с лабораторным стендом (см. рис. 2). Отвернуть рукоятку 2 сцепления крестовин, так чтобы передняя крестовина вращалась независимо от задней.
 3. Положение каждого утяжелителя на крестовине задается номером риски (канавки на спице), по которой выравнивается грань утяжелителя, ближайшая к оси вращения. Установить все утяжелители на первую риску.
 4. Установить в качестве подвешенного груза каретку 10 с одной шайбой 9. Остальные три шайбы 9 закрепить наверху трубчатой направляющей 6. Измерить три раза время прохождения кареткой из неподвижного положения пути от отметки $h_1 = 700$ мм до отметки $h_2 = 0$. При этом $h = h_1 - h_2 = 700$ мм. Массу m_1 каретки с одной шайбой и результаты измерения времени t_1, t_2, t_3 занести в соответствующие ячейки таблицы 1.
 5. Не изменяя положение утяжелителей крестовины повторить п. 4 для каретки с двумя шайбами (масса m_2), тремя шайбами (масса m_3) и четырьмя шайбами (масса m_4).
 6. Повторить измерения пп. 4,5 при положении утяжелителей на второй, третьей, ..., шестой рисках.
5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. Среднее арифметическое:

$$\bar{t} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

2. Абсолютная погрешность прямого измерения:

$$\Delta t = t_{\alpha, N} \cdot \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (t_i - \langle t \rangle_N)^2}$$

3. Ускорение груза, падающего с высоты h за время t :

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

4. Угловое ускорение крестовины:

$$\varepsilon = \frac{2a}{d}$$

5. Момент силы натяжения нити:

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

6. Абсолютная погрешность косвенного измерения:

$$\Delta_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta_{x_n}\right)^2}$$

7. Угловый коэффициент линейной зависимости $y(x)=a+bx$:

$$b = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

8. Свободный член линейной зависимости $y(x)=a+bx$:

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

9. Погрешность углового коэффициента:

$$d_i = y_i - (a + bx_i)$$

$$D = \sum (x_i - \bar{x})^2$$

$$\Delta b = t_{\alpha, N} \cdot \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{D(n-2)}}$$

10. Погрешность свободного члена:

$$\Delta a = t_{\alpha, N} \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{D}\right) \frac{\sum d_i^2}{n-2}}$$

11. Расстояние от центра крестовины до центра утяжелителя:

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

где l_1 — расстояние до первой риски от центра, n — номер риски, l_0 — расстояние между соседними рисками, b — размер утяжелителя вдоль спицы.

$l_1 = (57 \pm 0.5)$ мм

$l_0 = (25 \pm 0.)$ мм

$b = (40 \pm 0.)$ мм

12. Диаметр ступицы: $d = (46.0 \pm 0.5)$ мм

13. Высота сброса груза:

$$h = (700 \pm 0.5)$$
 мм

14. Коэффициент Стьюдента для $\alpha = 0.95$, $N = 3$: $t_{0.95,3} = 4.3$

15. Ускорение свободного падения в Санкт-Петербурге:

$$g = 9.82 \text{ м/с}^2$$

16. Второй закон Ньютона: $ma = mg - T$

m — масса груза, создающего натяжение нити

a — ускорение груза, создающего натяжение нити

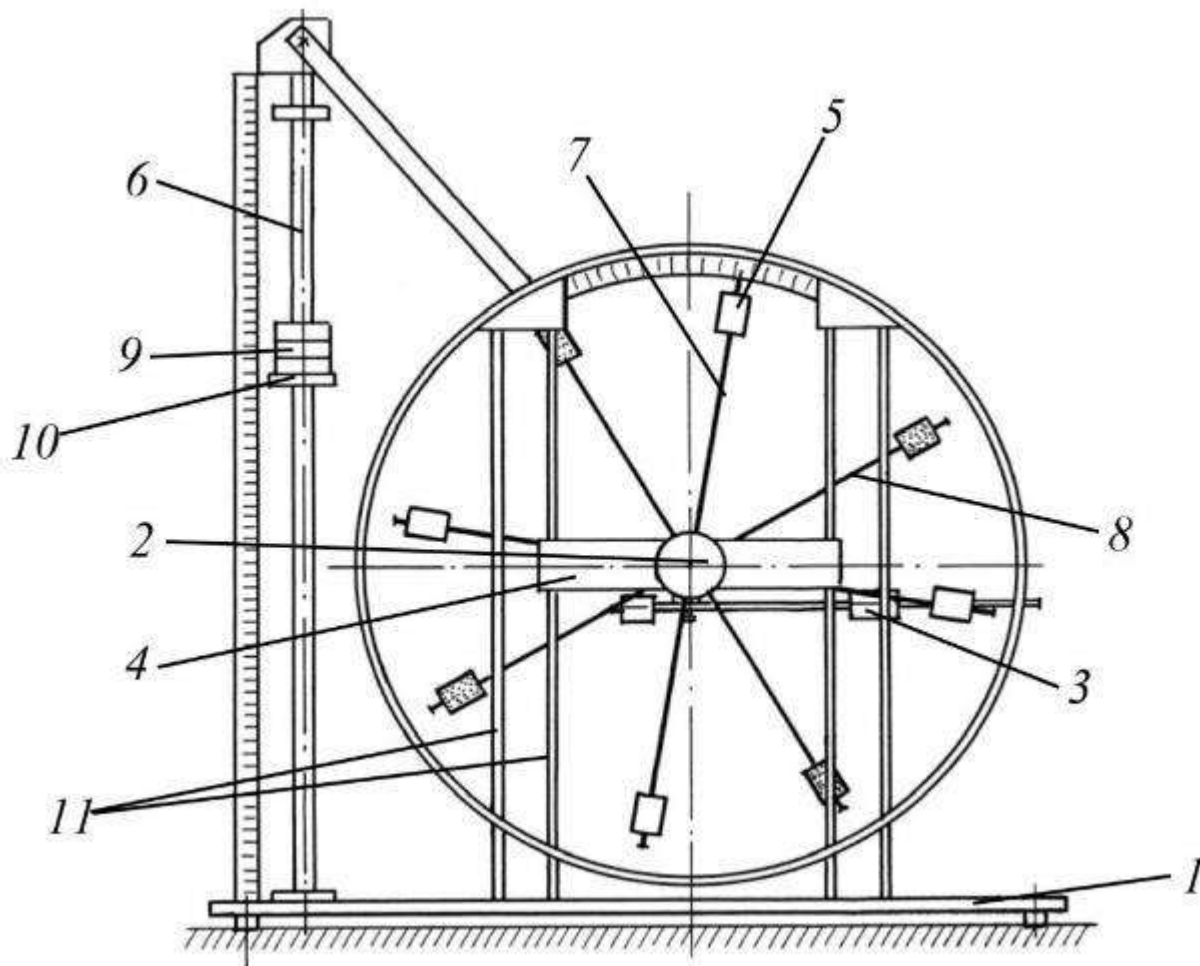
g — ускорение свободного падения

T — сила натяжения нити

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
1	Секундомер	цифровой	0-15 с	10 мс
2	Линейка	аналоговый	0-700 мм	0.5 мм

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



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	Положение утяжелителей					
	1 риска	2 риска	3 риска	4 риска	5 риска	6 риска
0.27	5,12	5,85	6,92	8,15	9,5	11,02
	4,97	5,93	6,8	7,87	9,39	10,92
	4,83	5,92	6,77	8,02	9,47	10,79
	4,9	5,9	6,83	8,01	9,45	10,91
0.49	3,27	4,02	4,63	5,3	6,55	6,65
	3,53	4,13	4,77	5,62	6,48	6,78
	3,26	3,95	4,55	5,43	6,48	6,47
	3,35	4,03	4,65	5,45	6,50	6,63
0.71	2,71	3,08	3,63	4,43	5,18	5,37

	2,38	3	3,72	4,25	4,93	5,17
	2,71	3,12	3,86	4,38	4,9	6,19
	2,60	3,07	3,74	4,35	5,00	5,58
0,93	2,23	2,73	3,06	3,8	4,63	5,22
	2,2	2,85	3,15	3,67	4,23	4,5
	2,3	2,7	3,06	3,73	4,39	4,85
	2,24	2,76	3,09	3,73	4,42	4,86

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

Вычисленное ускорение a груза, угловое ускорение ε крестовины и момент M силы натяжения нити с помощью формул:

Масса груза, г	t_{cp} , с	a , м/с ²	ε , с ⁻²	M , Н*м
0,27	4,96	0,06	2,54	0,06
	5,90	0,04	1,75	0,06
	6,83	0,03	1,30	0,06
	8,01	0,02	0,95	0,06
	9,45	0,02	0,68	0,06
	10,91	0,01	0,51	0,06
0,49	3,35	0,12	5,42	0,11
	4,03	0,09	3,75	0,11
	4,65	0,06	2,82	0,11
	5,45	0,05	2,05	0,11
	6,50	0,03	1,44	0,11
	6,63	0,03	1,38	0,11
0,71	2,60	0,21	9,00	0,16
	3,07	0,15	6,46	0,16
	3,74	0,10	4,35	0,16
	4,35	0,07	3,22	0,16
	5,00	0,06	2,43	0,16
	5,58	0,04	1,95	0,16
0,93	2,24	0,28	12,13	0,20
	2,76	0,18	7,99	0,21
	3,09	0,15	6,38	0,21
	3,73	0,10	4,38	0,21
	4,42	0,07	3,12	0,21
	4,86	0,06	2,58	0,21

Номера рисок	1	2	3	4	5	6
R	0,077	0,102	0,127	0,152	0,177	0,202
R2	0,005929	0,010404	0,016129	0,023104	0,031329	0,040804
I	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07

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

$$t_{cp}(m=0,27, \text{ риска 1}) = \frac{5,12 + 4,92 + 4,83 + 4,9}{4} = 4,96$$

$$t_{cp}(m=0,27, \text{ риска 2}) = \frac{5,85 + 5,93 + 5,92 + 5,9}{4} = \sim 5,9$$

$$t_{cp}(m=0,27, \text{ риска 3}) = \frac{6,92 + 6,8 + 6,77 + 6,83}{4} = \sim 6,83$$

$$t_{cp}(m=0,27, \text{ риска 4}) = \frac{8,15 + 7,87 + 8,02 + 8,01}{4} = \sim 8,01$$

$$t_{cp}(m=0,27, \text{ риска 5}) = \frac{9,5 + 9,39 + 9,47 + 9,45}{4} = \sim 9,45$$

$$t_{cp}(m=0,27, \text{ риска 6}) = \frac{11,02 + 10,92 + 10,79 + 10,91}{4} = \sim 10,91$$

По формуле 5, вычислим Δt (коэф. Стьюдента = 4.303) для первого t_{cp}

$\Delta_{ин} = 1$ инструментальная погрешность

$$\Delta t_{cp} = 4.303 \cdot \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - t_{cp})^2} = 0,363$$

$$\Delta t = \sqrt{\Delta t_{cp}^2 + \left(\frac{2}{3} \cdot \Delta_{ин}\right)^2} = \underline{0,758}$$

$\Delta t = 0,758$ – абсолютная

$\varepsilon_x = 15\%$ – относительная

Для а
Доверительный интервал 0,01
Абсолютная погрешность 0,67

Для ε
Доверительный интервал 0,29
Абсолютная погрешность 0,73

Для М
Доверительный интервал ~0,00
Абсолютная погрешность 0,67

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

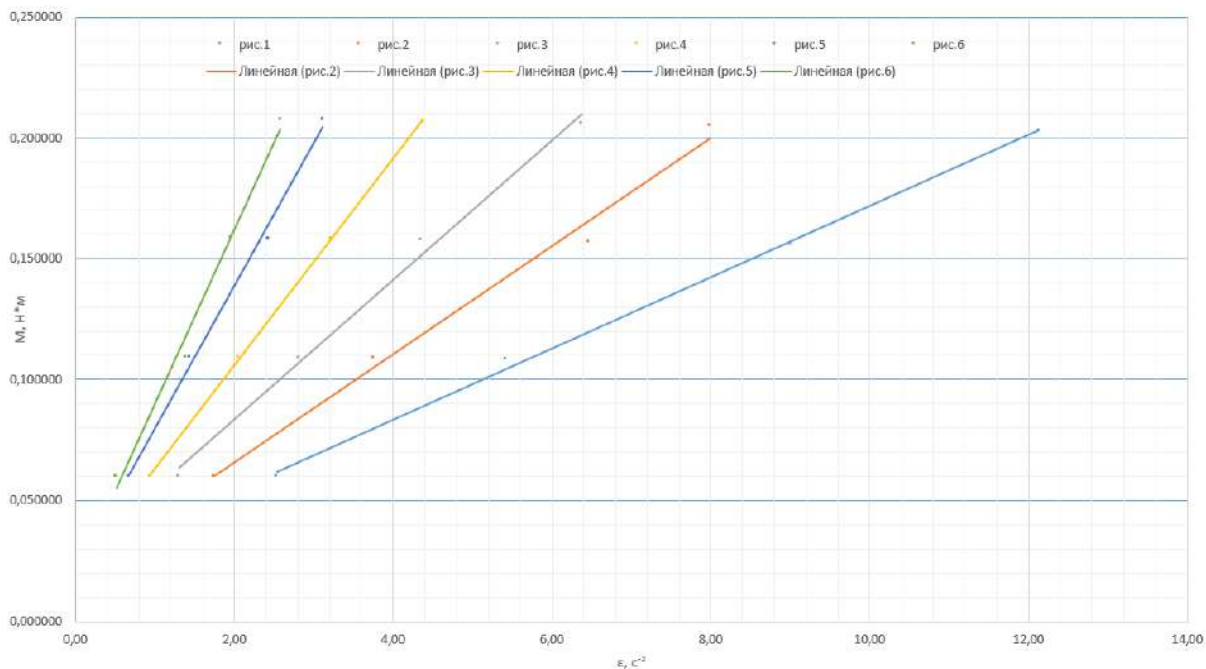


График зависимости М от ε для разных положений утяжелителей

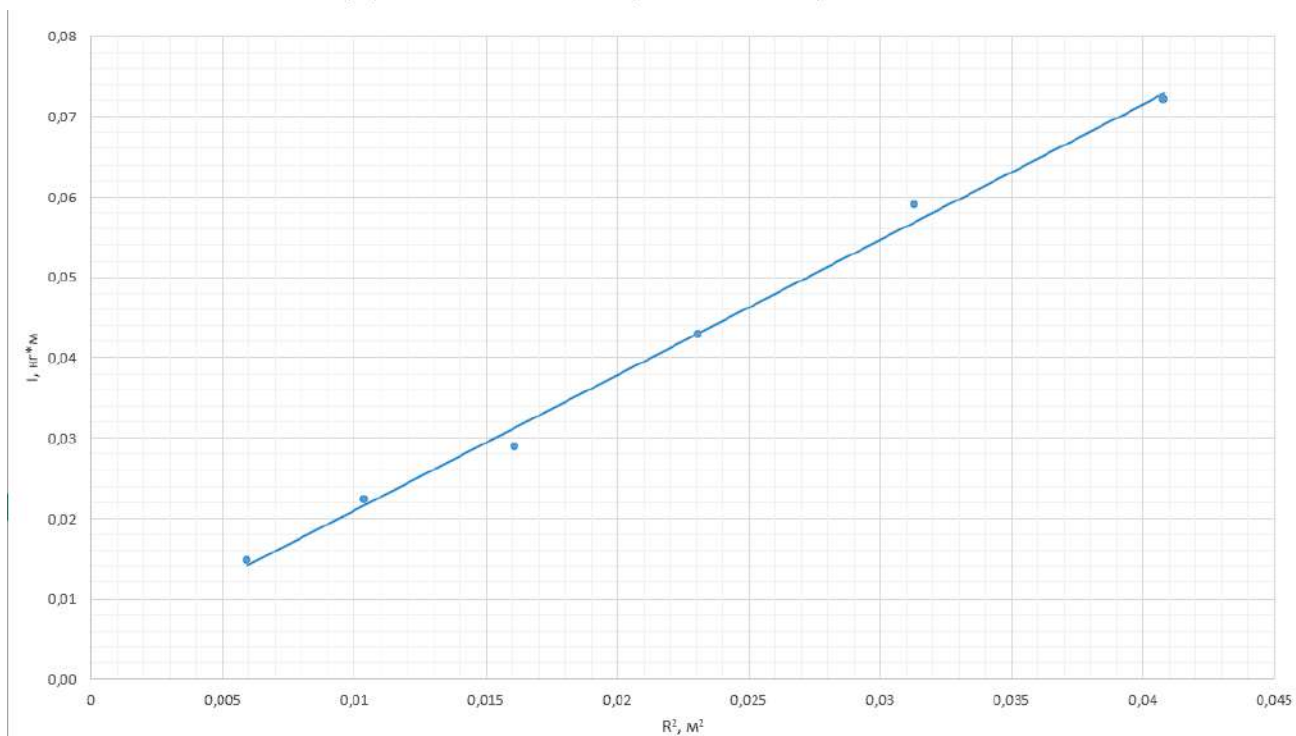


График зависимости момента инерции от положения утяжелителей

По МНК:

$$I_0 = 0,004$$

$$m_{yt} = 0,42$$

12. Окончательные результаты.

$\Delta t = 0,758$ – абсолютная

$\varepsilon_x = 15\%$ - относительная

Для a

Доверительный интервал 0,01

Абсолютная погрешность 0,67

Для ε

Доверительный интервал 0,29

Абсолютная погрешность 0,73

Для M

Доверительный интервал $\sim 0,00$

Абсолютная погрешность 0,67

$$I_0 = 0,004$$

$$m_{yt} = 0,42$$

13. Выводы и анализ результатов работы.

В результате исследования был получен График 1 зависимости $M = I\varepsilon - M_{\text{тр}}$, который лежит в пределах погрешностей экспериментально полученных точек, а с увеличением расстояния между грузиками и осью вращения и, соответственно, увеличением момента инерции I крестовины увеличивается угол наклона графика. Следовательно, проверка основного закона динамики вращения была успешной.

Также мы убедились, что момент инерции крестовины зависит от положения масс относительно оси вращения. На Графике 2 можно увидеть, что зависимость похожа на $I(R^2) = I_0 + 4m_{yt}R^2$

14. Дополнительные задания.

15. Выполнение дополнительных заданий.

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

- Примечание:**
1. Пункты 1-6,8-13 Протокола-отчета **обязательны** для заполнения.
 2. Необходимые исправления выполняют непосредственно в протоколе-отчете.
 3. При ручном построении графиков рекомендуется использовать миллиметровую бумагу.
 4. Приложения 1 и 2 вкладывают в бланк протокола-отчета.