

Группа Р3111

К работе допущен

Студент Ляо Ихун

Работа выполнена

Преподаватель Сорокина Елена Константиновна Отчет принят _____

_____ **Рабочий протокол и отчет по лабораторной
работе №3**

1. Цель работы.

Проверка основного закона динамики вращения.

Проверка зависимости момента инерции от положения масс относительно оси вращения.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

- 1) Списать или сфотографировать данные об установке на рабочем месте.
- 2) Ознакомиться с лабораторным стендом . 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 $h_1 = 700\text{мм}$ до отметки $h_2 = 0$. При этом $h = h_1 - h_2 = 700\text{мм}$. 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.

3. Объект исследования.

- 1) Зависимость между скоростью каретки и количеством шайб.
- 2) Зависимость между скоростью каретки и положением грузов.

4. Метод экспериментального исследования.

Изменять положение груза от 6-ого положения на 1-ое положение, положить соответственно 1,2 и 3 шайб, и измерить скорость падения каретки.

5. Рабочие формулы и исходные данные.

1. Ускорение движения: $a = \frac{2h}{t^2}$
 2. Угловое ускорение: $\varepsilon = \frac{2a}{d}$
 3. Сила натяжения нити: $T = m(g - a)$
 4. Момент этой силы: $M = \frac{md}{2}(g - a)$
 5. Момент силы трения: $I\varepsilon = M - M_{тр}$
 6. В соответствии с теоремой Штейнера момент инерции крестовины зависит от расстояния между центрами грузов и осью вращения по формуле :
 $= I_0 + 4m_{уг}R^2$, где I_0 сумма моментов инерции стержней крестовины, момента инерции ступицы и собственных центральных моментов инерции утяжелителей.
- 1) Детлаф А. А., Яворский Б. М. Курс физики.— 8-е изд., стер. — М. : Издательский центр "Академия", 2009 .
 - 2) Курепин В.В., Баранов И.В. Обработка экспериментальных данных: Методические указания к лабораторным работам. – СПб, 2003.—57 с.

6. Измерительные приборы.

№ п/п	Наименование	Тип прибора	Используемый диапазон	Погрешность прибора
----------	--------------	----------------	--------------------------	------------------------

2	Цифровой секундомер	-	-	0,01с
---	---------------------	---	---	-------

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

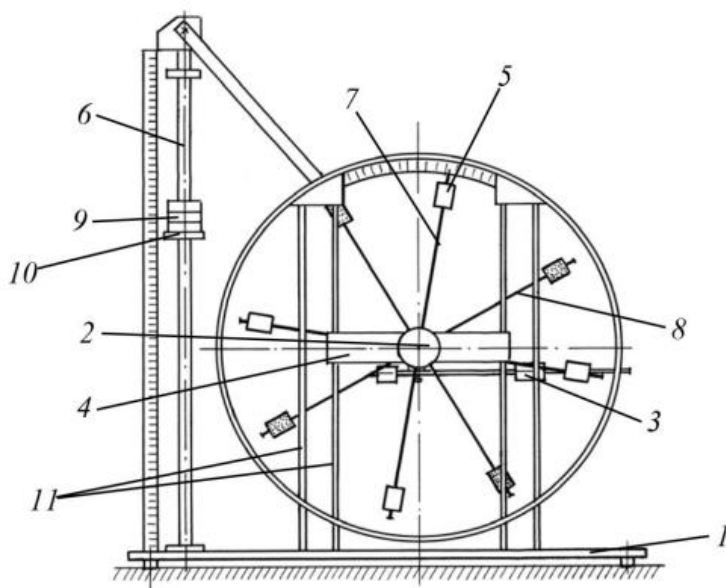


Рис. 2. Стенд лаборатории механики (общий вид):

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.

Масса каретки	(47,0±0,5)г
Масса шайбы	(220±0,5)г
Масса грузов на крестовине	(408,8±0,5)г
Расстояние первой риски от оси	(57,0±0,5)мм
Расстояние между рисками	(25,0±0,2)мм
Диаметр ступицы	(46,0±0,5)мм
Диаметр груза на крестовине	(40,0±0,5)мм
Высота груза на крестовине	(40,0±0,5)мм

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

Измерение времени:

Масса груза, г	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
$m_1=220\text{г}$	4,65 с	5,41 с	6,44 с	7,40 с	8,57 с	9,56 с
	4,57 с	5,40 с	6,34 с	7,50 с	8,44 с	9,69 с
	4,68 с	5,37 с	6,40 с	5,59 с	8,56 с	9,56 с
	4,63 с	5,39 с	6,39 с	7,46 с	8,52 с	9,60 с
$m_2=440\text{г}$	3,37 с	4,00 с	4,72 с	5,28 с	5,87 с	6,85 с
	3,22 с	3,82 с	4,72 с	5,22 с	6,06 с	6,84 с
	3,29 с	3,92 с	4,60 с	5,19 с	5,97 с	6,91 с
	3,29 с	3,91 с	4,68 с	5,23 с	5,97 с	6,87 с
$m_3=660\text{г}$	2,72 с	3,12 с	3,68 с	4,25 с	5,00 с	5,65 с
	2,66 с	3,15 с	3,59 с	4,22 с	4,93 с	5,53 с
	2,78 с	3,22 с	3,69 с	4,25 с	4,91 с	5,41 с
	2,72 с	3,16 с	3,65 с	4,24 с	4,95 с	5,53 с
$m_4=880\text{г}$	2,22 с	2,78 с	3,25 с	3,60 с	4,22 с	4,65 с
	2,31 с	2,75 с	3,19 с	3,69 с	4,13 с	4,75 с
	2,19 с	2,72 с	3,25 с	3,72 с	4,16 с	4,68 с
	2,24 с	2,75 с	3,23 с	3,67 с	4,17 с	4,69 с

Обработки:

1) Рассчитаем ускорение груза:

При условии, в котором применяем 1 риск и 1 шайб:

$$\text{Ускорение } a_1 = \frac{2h}{t_1^2} = \frac{2 \cdot 0.7}{4.63^2} = 0.065 \text{ м/с}^2$$

Другие также и чтобы удобно показать результат, положим все результат в таблице.

Ускорение m/c^2	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
$m_1=220г$	0,065	0,048	0,034	0,005	0,019	0,015
$m_2=440г$	0,129	0,092	0,064	0,051	0,039	0,030
$m_3=660г$	0,189	0,140	0,105	0,078	0,057	0,046
$m_4=880г$	0,279	0,185	0,134	0,103	0,081	0,064

2) Рассчитаем угольное ускорение:

При условии, в котором применяем 1 прис и 1 шайб:

$$\text{Угольное ускорение } \varepsilon_1 = \frac{2a}{d} = \frac{2*0.065}{4.6*10^{-2}} = 2,83 \text{ rad/c}^2$$

Другие также и чтобы удобно показать результат, положим все результаты в таблице

Угольное ускорение rad/c^2	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
$m_1 = 220г$	2,83	2,09	1,48	1,09	0,83	0,62
$m_2 = 440г$	5,61	4,00	2,78	2,22	1,70	1,30
$m_3 = 660г$	8,22	6,09	4,57	3,39	2,48	2,00
$m_4 = 880г$	12,13	8,04	5,83	4,48	3,52	2,78

3) Рассчитаем момент силы натяжения инти:

При условии, в котором применяем 1 прис и 1 шайб:

$$\text{Момент силы натяжения инти } M = \frac{m_1 d (g - a_1)}{2} = \frac{0.22 * 0.046 (9.80 - 0.065)}{2} = 0.0493 \text{ Н*м}$$

Другие также и чтобы удобно показать результат, положим все результаты в таблице

Момент силы Н*м	Положение утяжелителей					
	1.риска	2.риска	3.риска	4.риска	5.риска	6.риска
m_1 = 220г	0.0493	0.0493	0.0494	0.0495	0.0495	0.0495
m_2 = 440г	0.0979	0.0982	0.0985	0.0987	0.0988	0.0989
m_3 = 660г	0.1459	0.1466	0.1472	0.1476	0.1479	0.1481
m_4 = 880г	0.1927	0.1946	0.1956	0.1963	0.1967	0.1971

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

1) Из формы $M = M_{TP} + I\varepsilon$ рассчитаем I и M_{TP} по МНК для каждого положения:

1 Риски:

Среднее значение укоряющего ускорения: $\bar{\varepsilon} = 7,20 \text{ rad/c}^2$

Среднее значение Момент силы: $\bar{M} = 0,12 \text{ Н * м}$

Из формы $I = \frac{\sum(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(M_i - \bar{M})}{\sum(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}$ получим: $I = 0,016 \text{ кг*м}^2$

И $M_{TP} = \bar{M} - I\bar{\varepsilon}$ получим : $M_{TP} = 0,010 \text{ Н*м}$

Для других положений также. Все результаты:

Для 1 риска: $M = 0,016\varepsilon + 0,010$

Для 2 риска: $M = 0,024\varepsilon - 0,0006$

Для 3 риска: $M = 0,033\varepsilon + 0,003$

Для 4 риска: $M=0,043\varepsilon+0,002$

Для 5 риска : $M=0,055\varepsilon+0,005$

Для 6 риска: $M=0,068\varepsilon + 0,009$

- 2) Для каждого положения утяжелителей найти расстояние между осью О вращения и центром С утяжелителя по формуле: $R = l_1 + (n - 1)l_0 + \frac{1}{2}b$:

Для 1 риска: $R_1 = 77mm$

Для 2 риска: $R_2 = 102mm$

Для 3 риска: $R_3 = 127mm$

Для 4 риска: $R_4 = 152mm$

Для 5 риска: $R_5 = 177mm$

Для 6 риска: $R_6 = 202mm$

- 3) Объединить значения R , R^2 и I в таблицу и на основе этой таблицы в координатах I (ордината) - R^2 (абсцисса) отметить экспериментальные точки зависимости $I(R^2)^{\wedge}$:

Расстояние между осью и центром С утяжелителя в квадрат м ²	$R_1^2 = 5,9 * 10^{-3}$	$R_2^2 = 10,4*10^{-3}$	$R_3^2 = 16,1*10^{-3}$	$R_4^2 = 23,1*10^{-3}$	$R_5^2 = 31,3*10^{-3}$	$R_6^2 = 40,8*10^{-3}$
Момент инерции I кг*м ²	0,016	0,024	0,033	0,043	0,055	0,068

- 4) На основе найденных значений I и R^2 с помощью МНК определить значения I_0 и $m_{уг}$, а также их погрешности ΔI_0 и $m_{уг}$ (Погрешность в 10.). В соответствии с формулой $I = I_0 + 4m_{уг}R^2$ величина I_0 – свободное слагаемое в линейной зависимости $I(R^2)$, $m_{уг}$ – четверть от углового коэффициента наклона этой зависимости.

Способ как в 2), поэтому здесь не повторять, результат:

$$I = 1.48R^2 + 0.008$$

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

1) Для первого среднего значения:

$$S_{t_{cp}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{cp} - \bar{t})^2}{n(n-1)}} = 0,033 \text{ с}$$

$$\Delta_{t_{cp}} = S_{t_{cp}} * t_{a*n} = 0,033 * 4,3 = 1,42 \text{ с}$$

$$\text{Обсолютная погрешность: } \Delta_t = \sqrt{S_{t_{cp}}^2 + (\frac{2}{3} \Delta_n)^2} = 0,03 \text{ с}$$

$$\text{Относительная погрешность: } \varepsilon_t = \frac{\Delta_t}{t_{cp}} * 100\% = 0,6\%$$

$$t = (4,63 \pm 0,03) \text{ с}; \varepsilon_t = 0,6\%; a = 0,95$$

2) Для 1 риска и 1 груза :

Погрешность для ускорения:

$$a = \frac{2h}{t^2} \Rightarrow \ln a = \ln 2 + \ln h - 2 \ln t$$

Относительная погрешность а: $\varepsilon_a =$

$$\sqrt{(\frac{1}{h} \Delta_h)^2 + (-\frac{2}{t} \Delta_t)^2} * 100\% = 2.9\%$$

$$\text{Абсолютная погрешность : } \Delta_a = \frac{\bar{a} \varepsilon_a}{100} = 1.86 * 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

Для погрешностей ε и М также:

Для ε :

$$\text{Относительная погрешность: } \varepsilon_\varepsilon = 3.0\%$$

$$\text{Абсолютная погрешность: } \Delta_\varepsilon = 0.085 \text{ рад/с}^2$$

Для М:

$$\text{Относительная погрешность: } \varepsilon_M = 0.7\%$$

$$\text{Абсолютная погрешность: } \Delta_M = 3.64 * 10^{-4} \text{ Н*м}$$

для 1 риску 1 груза:

$$a = (0.065 \pm 0.00186) \text{ м/с}^2; \varepsilon_a = 2.9\%; a = 0.95$$

$$\varepsilon = (2.83 \pm 0.085) \text{ рад/с}^2; \varepsilon_\varepsilon = 3.0\%; a = 0.95$$

$$M = (0.0493 \pm 0.000364) \text{ Н*м}; \varepsilon_M = 0.7\%; a = 0.95$$

3) Погрешность для формулы: $I = 1.48R^2 + 0.008$

$$\text{Параметр } D = \sum (R_i^2 - \bar{R}^2)^2 = 0.000866 \text{ м}^4$$

$$\text{Параметр } \sum d_i^2 = 0.0000035 \text{ кг}^2 * \text{м}^4$$

СКО:

$$S_{4m_{yr}}^2 = \frac{1}{D} \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 0,001 \text{ кг}^2$$

$$S_{I_0}^2 = \left(\frac{1}{n} + \frac{(\bar{R}^2)^2}{D} \right) \frac{\sum d_i^2}{n-2} = 6,03 * 10^{-7} \text{ кг}^2 * \text{м}^4$$

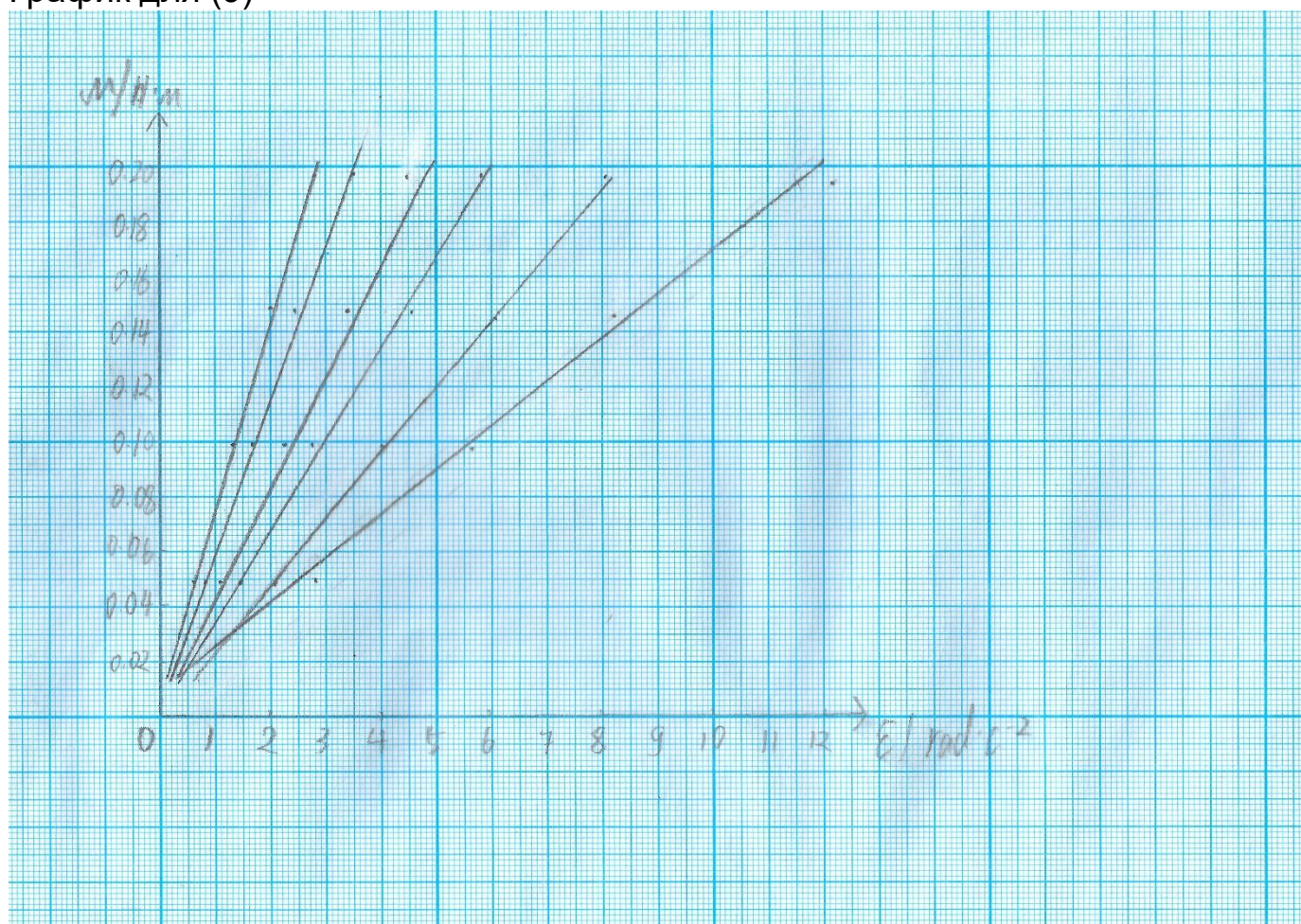
Погрешность:

$$\Delta_{4m_{yr}} = 0,063 \text{ кг}^2$$

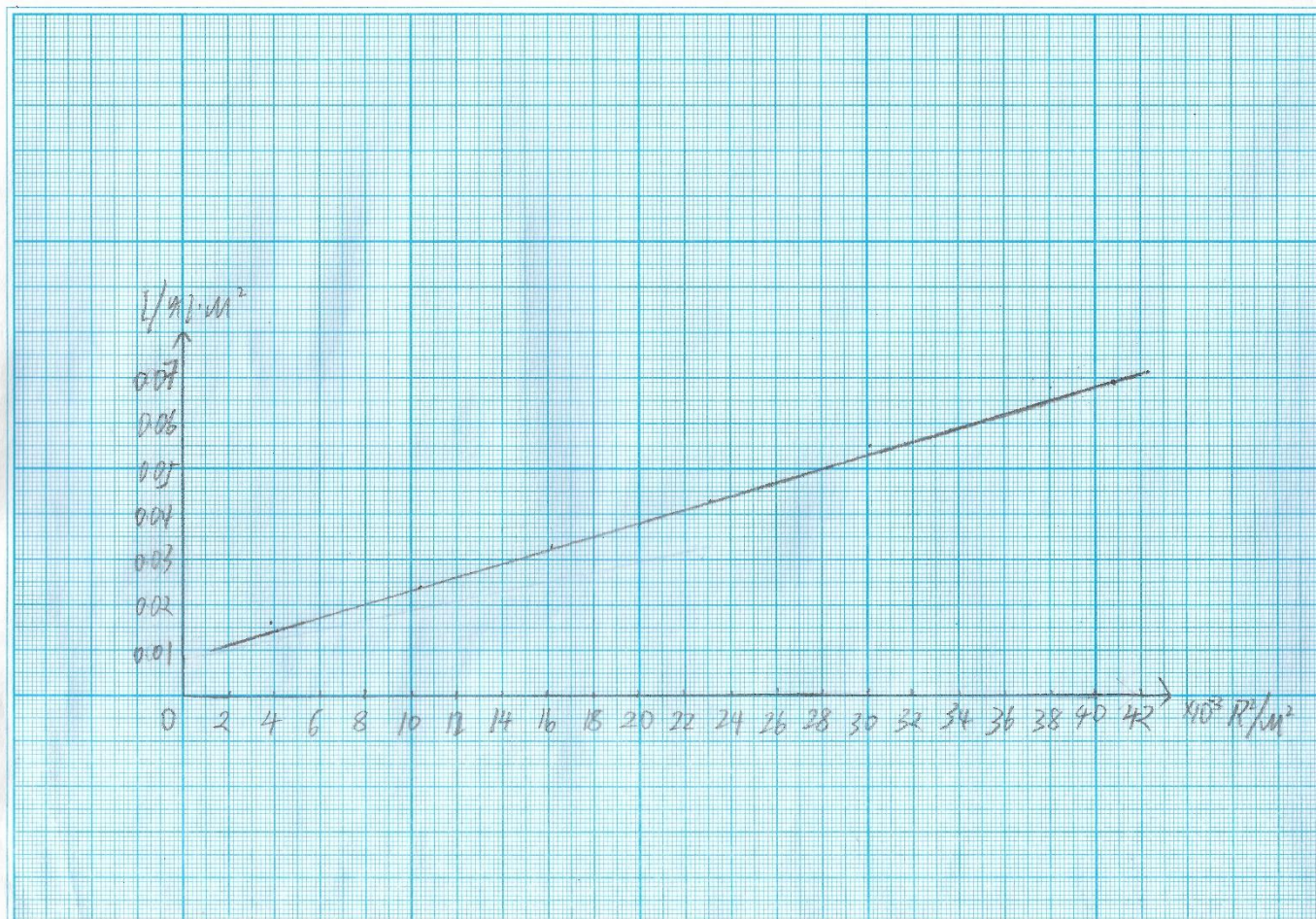
$$\Delta_{I_0} = 0,0016 \text{ кг}^2 * \text{м}^4$$

11. Графики

График для (9)



Для (11):



12. Вывод и анализ результат:

Для всех положений результаты:

Для 1 риска: $M=0,016\varepsilon+0,010$

Для 2 риска: $M=0,024\varepsilon-0,0006$

Для 3 риска: $M=0,033\varepsilon+0,003$

Для 4 риска: $M=0,043\varepsilon+0,002$

Для 5 риска : $M=0,055\varepsilon+0,005$

Для 6 риска: $M=0,068\varepsilon + 0,009$

Отношение между I и R^2 : $I = 1.48R^2 + 0.008$

$\Rightarrow I_0 = 0.008 \text{ кг}^2 \cdot \text{м}^4$ и $m_{\text{уг}} = 0.37 \text{ кг}$

Мы можем видеть что все погрешности мень чем 5%, и все выражения совпадают с графиками. Значит что отчет верен. Но есть такой проблема что выражение: $M=0,024\varepsilon-0,0006$ не возможно, потому что $M_{\text{тр}}$ должен быть положительным.