

Группа М3102 К работе допущен _____
Студент Лопатенко Георгий Валентинович Работа выполнена _____
Преподаватель Тимофеева Э.О. Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.02

Характеристики источника тока

1. Цель работы:

Исследовать характеристики источника тока.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

- Получить данные измерений (построить экспериментальную выборку);
- Исследовать зависимость полной, полезной мощностей и мощности потерь и падения напряжения во внешней цепи и КПД источника от силы тока в цепи;
- Найти значения параметров источника: электродвижущей силы и внутреннего сопротивления, оценить их погрешности.

3. Объект исследования:

Цепь, собранная на стенде СЗ-ЭМ01. Контур с исследуемым источником тока и регулируемым внешним сопротивлением.

4. Метод экспериментального исследования:

Условные прямые измерения значений силы тока и напряжения на участке цепи.

5. Рабочие формулы и исходные данные:

1)

2) Момент инерции крестовины с утяжелителями по МНК:
$$I = \frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})(M_i - \bar{M})}{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_i - \bar{\varepsilon})^2}$$

3) Абсолютная погрешность с учетом погрешности приборов:
$$\Delta x = \sqrt{(\overline{\Delta x})^2 + \left(\frac{2}{3}\Delta_{ux}\right)^2}$$

4) Погрешность косвенного значения:
$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2}; z = f(x_1, x_2)$$

Δ_{ux} – погрешность прибора, $\overline{\Delta x}$ – случайная погрешность (доверительный интервал)

5) Относительная погрешность:
$$\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

6. Измерительные приборы:

№	Наименование	Измерение	Используемый диапазон	$\Delta_{и}$
1	Амперметр	сила тока	$[0, 2 \cdot 10^{-2}]$ А	$5 \cdot 10^{-5}$ А

2	Вольтметр	падение напряжения участка	[0, 20] В	$5 \cdot 10^{-3}$ В
---	-----------	----------------------------	-----------	---------------------

7. Схема установки:

Груз подвешен на нерастяжимой невесомой нити, которая перекинута через неподвижный блок и намотана на ступицу крестовины. В ступице закреплены четыре спицы, на каждой из которых размещен груз-утяжелитель (грузы идентичны и находятся на одинаковом расстоянии от оси вращения крестовины). Момент инерции системы крестовина-утяжелители искусственно изменяется при выставлении расстояния от грузов до ступицы.

8. Результаты прямых измерений и их обработки:

Таблица 1. Время падения для различных значений расстояний, масс раскручивающего груза

	Положение утяжелителей отн. оси вращения (риски), м					
Масса груза	0.057(1)	0.082(2)	0.107(3)	0.132(4)	0.157(5)	0.182(6)
	Время $t_{\text{падения}}$, с					
m_1 0.267 кг (1 шайба)	4,87	5,80	6,51	7,81	9,69	10,88
	4,71	5,84	6,95	7,93	9,88	10,52
	4,90	5,90	6,83	7,88	9,93	10,90
	$4,83 \pm 0,25$	$5,85 \pm 0,13$	$6,76 \pm 0,57$	$7,87 \pm 0,15$	$9,83 \pm 0,31$	$10,77 \pm 0,53$
m_2 0.487 кг (2 шайбы)	3,54	4,25	4,85	6,10	7,16	7,54
	3,58	4,22	4,82	6,37	7,08	7,77
	3,64	4,26	4,82	6,13	6,90	7,86
	$3,59 \pm 0,13$	$4,24 \pm 0,05$	$4,83 \pm 0,04$	$6,20 \pm 0,37$	$7,05 \pm 0,33$	$7,72 \pm 0,41$
m_3 0.707 кг (3 шайбы)	2,95	3,40	4,05	4,90	5,44	6,30
	3,00	3,33	4,64	4,82	5,18	6,30
	2,97	3,58	4,20	5,07	5,65	6,44
	$2,97 \pm 0,06$	$3,44 \pm 0,32$	$4,29 \pm 0,76$	$4,93 \pm 0,32$	$5,42 \pm 0,58$	$6,35 \pm 0,21$
m_4 0.927 кг (4 шайбы)	2,53	2,90	3,89	4,31	4,76	5,33
	2,61	2,88	3,99	4,21	4,85	5,48
	2,66	3,00	4,12	4,30	4,65	5,52
	$2,60 \pm 0,16$	$2,93 \pm 0,16$	$4,00 \pm 0,29$	$4,27 \pm 0,14$	$4,75 \pm 0,25$	$5,44 \pm 0,25$

9. Результаты косвенных измерений:

Таблица 2. Ускорение раскручивающего груза при разных условиях

	Положение утяжелителей отн. оси вращения (риски), м					
Масса груза	0.057(1)	0.082(2)	0.107(3)	0.132(4)	0.157(5)	0.182(6)

0,0225	0,0274	0,0577	0,0611	0,0695	0,0969
Момент силы трения $M_{\text{тр}} = M - I\varepsilon, \text{ Н} \cdot \text{м}$					
0,0016	0,0139	-0,0257	0,0055	0,0189	0,0104
Расстояние от оси до утяжелителя в квадрате $R^2, \text{ м}^2$					
0,0059	0,0104	0,0161	0,0231	0,0313	0,0408

Расчет по МНК значений $m_{\text{ут}}$ и I_0 :

$$m_{\text{ут}} = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})(I_i - \bar{I})}{4 \sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2} = 0,4946 \text{ кг}; \text{ тогда сумма моментов инерции стержней крестовины, момента}$$

инерции ступицы и собственных центральных моментов инерции утяжелителей будет равна:

$$I_0 = \bar{I} - 4m_{\text{ут}}\bar{R}^2 = 0,01427 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad \Delta I_0 = 0,00076 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

10. Расчет погрешностей измерений:

Расчет погрешности для прямых измерений времени к таблице 1:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{t_{\alpha,n}^2}{N \cdot (N-1)} \sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2 + \left(\frac{2}{3} \Delta_{\text{ух}}\right)^2} \quad (t_{\alpha,n} = 4.30265, \alpha = 0.95); \quad \Delta t_1 = 0.25396 \text{ с}$$

Расчет погрешности косвенного значения ускорения груза к таблице 2:

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial a}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial a}{\partial t} \Delta t\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{2}{t^2} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{4h}{t^3} \Delta t\right)^2}; \quad a = \frac{2h}{t^2}; \quad \Delta a_1 = 0,0062 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Расчет погрешности косвенного значения углового ускорения крестовины к таблице 3:

$$\Delta \varepsilon = \sqrt{\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial h} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial d} \Delta d\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{4}{t^2 d} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{8h}{t^3 d} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{4h}{t^2 d^2} \Delta d\right)^2}; \quad \varepsilon = \frac{4h}{t^2 d}; \quad \Delta \varepsilon_1 = 0,2716 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$$

Расчет погрешности косвенного значения момента силы натяжения нити к таблице 4:

$$\Delta M = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial t^2} \Delta h\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial t^3} \Delta t\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial t^2} \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial t^2} \Delta m\right)^2}; \quad \Delta M_1 = 0,00066 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\Delta m_{\text{ут}} = 0,0045 \text{ кг}$$

11. Графики:

График 1. Зависимость $M(\varepsilon)$. Аппроксимирующие прямые для каждой риски.

График 2. Зависимость $I(R^2)$. Аппроксимирующая прямая и аналитически полученная зависимость.

12. Окончательные результаты:

Доверительные интервалы первых значений к ускорению груза:

$$a = (0.0600 \pm 0.0062) \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_a = 10.3\% \quad \alpha = 0.95$$

к угловому ускорению:

$$\varepsilon = (2.6092 \pm 0.2716) \frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \quad \varepsilon_\varepsilon = 10.4\% \quad \alpha = 0.95$$

и к моменту силы натяжения нити:

$$M = (0.0599 \pm 0.0007) \text{ Н} \cdot \text{м} \quad \varepsilon_M = 1.1\% \quad \alpha = 0.95$$

Значения $m_{\text{ут}}$ и I_0 с погрешностями:

$$m_{\text{ут}} = (0,4946 \pm 0,0045) \text{ кг} \quad \varepsilon_{m_{\text{ут}}} = 0,9\% \quad \alpha = 0.95$$

$$I_0 = (0,0143 \pm 0,0008) \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad \varepsilon_{I_0} = 5,6\% \quad \alpha = 0.95$$

13. Выводы и анализ результатов работы:

После построения экспериментальной выборки были рассчитаны необходимые параметры и значения для проверки зависимости момента инерции от масс грузов-утяжелителей на спицах вращающейся крестовины. Также экспериментально подтверждена теория динамики вращения - был проверен основной закон, связывающий угловое ускорение с моментами сил трения и натяжения нити. Были получены доверительные интервалы для некоторых характеристик динамики вращения, построены соответствующие графики.

Измерения: