Министерство образования и науки Российской Федерации
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Методические указания к лабораторной работе № 9 по физике

Екатеринбург
УрФУ
2012

УДК 531.15:531.53 (076.5)

Составители: В. Б. Демин, В. П. Левченко, К. А. Шумихина, А. Г. Волков

Научный редактор – д-р физ.-мат. наук, проф. А. А. Повзнер

Изучение законов вращательного движения на маятнике Обербека : методические указания к лабораторной работе № 9 по физике / сост. В. Б. Демин, В. П. Левченко, К. А. Шумихина, А. Г. Волков. – Екатеринбург : УрФУ, 2012. – 19 с.

Теоретическая часть содержит общие сведения о механике вращательного движения, основных законах динамики, некоторых характеристиках, в частности моменте силы и моменте инерции. Экспериментальная часть включает описание лабораторной установки, конкретных задач, методик измерений и обработки результатов. Приведена форма отчета.

Указания предназначены для студентов всех специальностей всех форм обучения.

Рис. 5. Прил. 2.

Подготовлено кафедрой физики

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основное уравнение вращательного движения имеет вид

$$\vec{M} = I\vec{\varepsilon}, \tag{1}$$

где $\vec{M}$ – суммарный момент всех внешних сил относительно оси вращения;

I – момент инерции тела относительно этой же оси;

$\vec{\varepsilon}$ – угловое ускорение тела.

Момент силы $\vec{F}$, действующей на тело относительно оси вращения, определяется по формуле

$$M = lF_{\perp}, \tag{2}$$

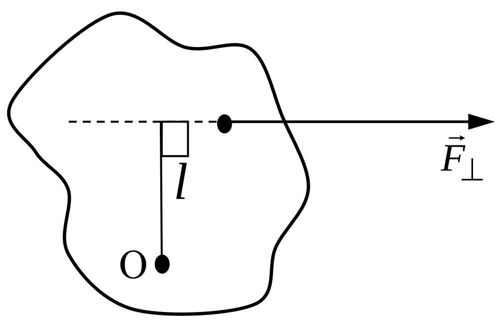


Рис. 1. Пример определения момента силы

где $F_{\perp}$ – проекция силы $\vec{F}$ на плоскость, перпендикулярную к оси вращения; l – плечо силы – кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы (рис.1).

Момент инерции материальной точки относительно оси вращения равен произведению массы m точки на квадрат расстояния r до этой оси:

$$I = mr^2. \tag{3}$$

Вычисление момента инерции твердого тела относительно оси вращения проводится по формуле

$$I = \int r^2 dm = \int \rho \cdot r^2 dV,$$

где dm и dV – элемент массы и объема тела, находящийся на расстоянии r от оси вращения; ρ – плотность тела в месте расположения элемента dV.

Если тело однородно, т. е. его плотность ρ одинакова по всему объему, то

$$I = \rho \int r^2 dV. \tag{4}$$

Момент инерции твердого тела зависит от распределения массы относительно оси вращения и является величиной аддитивной. Он определяет инертность твердого тела при вращении.

Вычисление момента инерции твердого тела произвольной формы относительно некоторой оси вращения представляет собой довольно громоздкую в математическом отношении задачу. Экспериментально его можно определить различными методами. Один из этих методов рассматривается в настоящей лабораторной работе.

2. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ И ВЫВОД ОСНОВНЫХ ФОРМУЛ

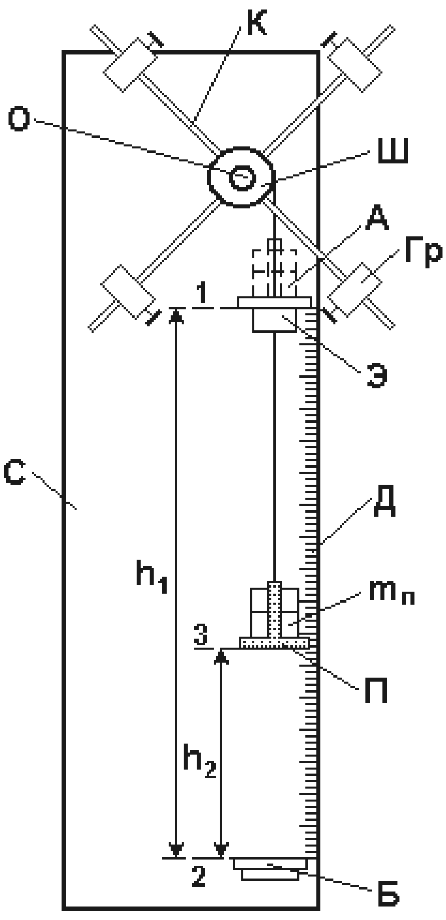


Рис. 2. Эскиз установки

На рис. 2 схематически изображен так называемый маятник Обербека, с помощью которого можно изучать законы вращательного движения. Маятник Обербека состоит из вертикальной стойки C со шкалой D, в верхней части которой крепятся крестовина K и шкив $Ш$, жестко насаженные на горизонтальную ось O, закрепленную на двух подшипниках.

На шкив намотана тонкая нить, один конец которой укреплен на шкиве, а к другому привязана платформа $П$ известной массы m_0, служащая для размещения перегрузков массой m_n каждый. Шкив с крестовиной могут свободно вращаться вокруг оси O. На крестовине надеты 4 цилиндра *Гр*.

Момент инерции установки можно изменить, перемещая одинаковые цилиндрические грузы *Гр* вдоль стержней крестовины.

Платформа $П$ перед началом опытов помещается на площадку A, удерживаемую в горизонтальном положении электромагнитом $Э$.

Внизу на стойке укреплена горизонтальная финишная площадка $Б$, служащая размыкателем электрической цепи установки, управляющей работой электромеханического секундомера.

Уравнение вращательного движения маятника (1) в проекциях на ось OZ (рис. 3) имеет вид

$$M - M_{\text{тр}} = I\varepsilon, \tag{5}$$

где M – момент силы натяжения $\vec{T}_1$ нити; $M_{\text{тр}}$ – момент сил трения, действующих на ось маятника со стороны подшипников; I – момент инерции маятника относительно оси вращения; ε – угловое ускорение маятника.

Поскольку масса нити мала и нить практически нерастяжима, натяжение нити одинаково во всех точках ($T_1 = T_2 = T$) и ускорение всех элементов нити одинаково. Момент силы натяжения нити равен

$$M = rT. \tag{6}$$

В этой формуле r – плечо силы T, равное радиусу шкива.

Силу натяжения T нити найдем из второго закона Ньютона для опускающегося груза, записанного в проекциях на ось OY:

$$mg - T = ma,$$

откуда

$$T = m\,(g - a), \tag{7}$$

где a – ускорение опускающегося груза;

g – ускорение свободного падения;

m – масса опускающегося груза, равная в общем случае

$$m = m_0 + N \cdot m_n.$$

Здесь m_0 – масса платформы;

m_n – масса одного перегрузка;

N – число перегрузков массы m_n, установленных на платформе.

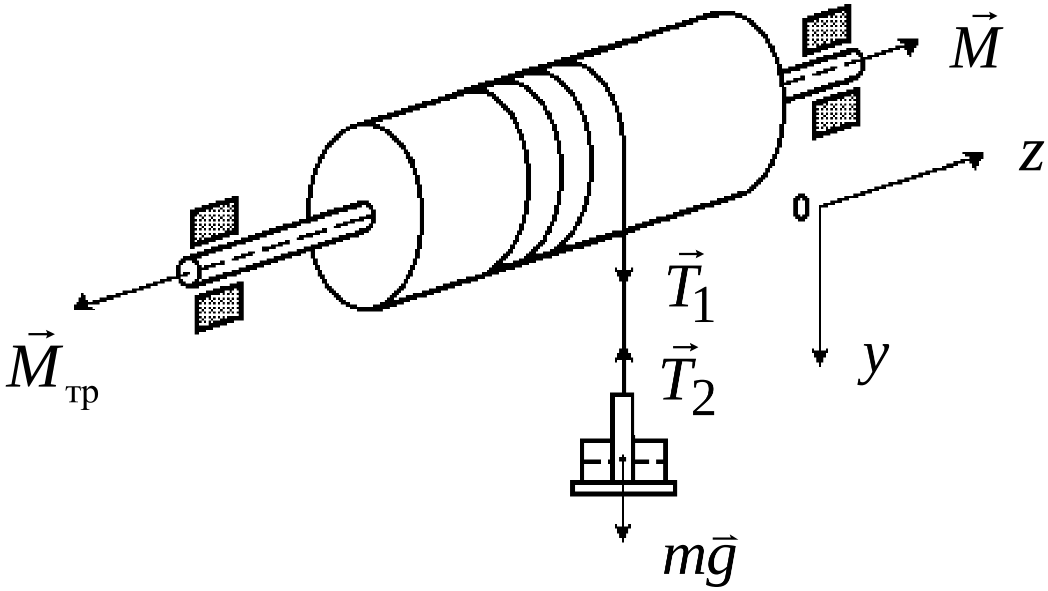


Рис. 3. Схема распределения сил

Поскольку действующие на тела системы силы можно считать постоянными, вращение шкива маятника и поступательное движение опускающегося груза можно считать равноускоренными, следовательно, ускорение a опускающегося груза можно найти из уравнения равноускоренного движения $h_1 = at^2 / 2$, если измерено время t опускания груза с высоты h_1 (рис. 2):

$$a = \frac{2h_1}{t^2}. \tag{8}$$

Подставив выражение (8) в (7), а затем формулу (7) в (6), получим

$$M = r \cdot m \cdot (g - \frac{2h_1}{t^2}).$$

Выражая радиус r шкива через его диаметр $d (r = d / 2)$, имеем

$$M = \frac{md}{2}(g - \frac{2h_1}{t^2}). \tag{9}$$

Модуль ε углового ускорения вращающейся системы связан с модулем a тангенциального ускорения внешних точек шкива соотношением $\varepsilon = a / r = 2a / d$. Следовательно,

$$\varepsilon = \frac{4h_1}{dt^2}. \tag{10}$$

Задача 1. *Проверка основного закона динамики вращательного движения*

В этой задаче предлагается определить графически момент инерции I_0 шкива и крестовины без цилиндров и момент $M_{тр}$ сил трения, убедившись предварительно в линейной зависимости $M = f(\varepsilon)$.

Изменяя массу m опускающегося груза и соответственно время t его опускания, можно варьировать величины углового ускорения ε и момента M силы натяжения нити. С учетом знаков проекций векторов на ось OZ (рис. 3) и в соответствии с формулами (1) и (5) выполняется следующая зависимость:

$$M = M_{тр} + I_0\varepsilon.$$

По графику этой зависимости при неизмененных I_0 и $M_{тр}$ можно найти их значения.

1. С помощью линейки *Д*, укрепленной на стойке прибора, измерить высоту h_1 опускания груза.

2. Намотать нить плотно, виток к витку в один слой на шкив, вращая крестовину против часовой стрелки так, чтобы платформа *П* (рис. 2) находилась на столике *А*, а нить была ***натянута и расположена вертикально.***

3. Нажать на правую пусковую кнопку электросекундомера. Одновременно с включением секундомера опускается стартовый столик *А* и груз начинает падение. После удара груза о финишную площадку *Б* происходит автоматическая остановка секундомера, показания которого необходимо внести в табл. П. 2.

4. Повторить операции 2–3 еще 2 раза. Найти среднее значение времени падения.

5. Проделать операции 2–3 с другими грузами (по 3 раза с каждым грузом):

$$m_0 + m_n\ ;\ m_0 + 2m_n\ ;\ m_0 + 3m_n\ ;\ m_0 + 4m_n.$$

6. Усреднить время опускания грузов, рассчитать ε по формуле (10), M – по формуле (9) и внести их значения в табл. П. 2.

7. На компьютере (или миллиметровой бумаге) построить график $M(\varepsilon)$ (рис. 4). По графику определить момент инерции I_0 шкива и крестовины без цилиндров (тангенс угла наклона прямой) и момент $M_{\text{тр}}$ силы трения (начальная ордината)[1].

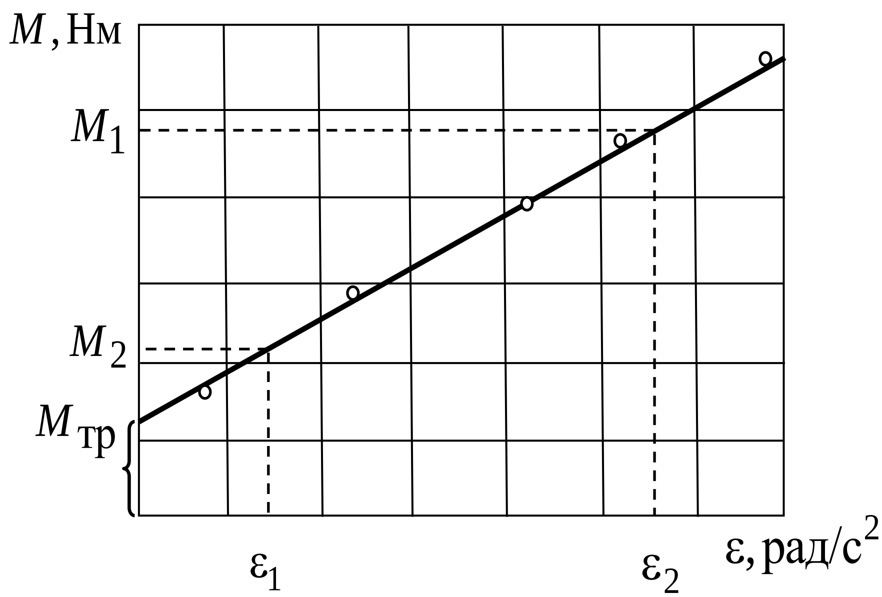


Рис. 4. Примерный вид графика функции $M(\varepsilon)$

Задача 2. *Определение момента инерции системы четырех цилиндров, симметрично расположенных относительно оси вращения*

[1] При построении графика на компьютере, рекомендуется использование метода наименьших квадратов.

Получим формулу для расчета момента инерции системы. Когда опускающийся груз находится в крайнем верхнем положении *1* (рис. 2), энергия системы «шкив – крестовина – опускающийся груз» определяется лишь потенциальной энергией этого груза:

$$W = mgh_1 . \qquad (11)$$

В крайнем нижнем положении *2* (рис. 2) потенциальная энергия груза равна нулю, и энергия системы определяется ее кинетической энергией

$$W_2 = \frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} , \qquad (12)$$

где I – момент инерции маятника;

ω – угловая скорость шкива в момент времени t;

v – линейная скорость груза в положении 2.

Пройдя путь h_1, груз не останавливается, так как шкив и крестовина продолжают вращаться по инерции, а после удара о площадку *Б* поднимается на некоторую высоту h_2 (положение *3*, рис. 2). Энергия W_3 системы в этом положении определяется потенциальной энергией груза на высоте h_2:

$$W_3 = mgh_2 . \qquad (13)$$

Механическая энергия системы не сохраняется в силу того, что в ней действуют неконсервативные силы трения: $W_3 < W < W_1$. Превращение механической энергии системы равно работе сил трения.

Полагая, что $M_{тр}$ = const (на самом деле $M_{тр} \neq$ const, особенно в начале движения – из-за застоя), имеем:

$$W_2 - W_1 = -M_{тр}\varphi_1 , \qquad (14)$$

$$W_3 - W_2 = -M_{тр}\varphi_2 , \qquad (15)$$

где φ_1 и φ_2 – угловые пути, пройденные вращающейся частью маятника соответственно за время опускания и подъема груза и связанные с соответствующими числами оборотов N_1 и N_2 шкива и высотами h_1 и h_2 соотношениями:

$$\varphi_1 = 2\pi N_1 = 2\pi \frac{h_1}{\pi d} = \frac{2h_1}{d}; \qquad \varphi_2 = 2\pi N_2 = \frac{2h_2}{d} \quad . \tag{16}$$

Сложив выражения (14) и (15), получим

$$-W_1 + W_3 = -M_{\text{тр}}(\varphi_1 + \varphi_2)\,. \tag{17}$$

Подставив формулы (11), (13) и (16) в уравнение (17), имеем

$$-mgh_1 + mgh_2 = -\frac{2M_{\text{тр}}}{d}(h_1 + h_2)\,,$$

откуда

$$M_{\text{тр}} = \frac{mgd}{2} \cdot \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 + h_2)}\,. \tag{18}$$

Подставив (11) и (12) в (14), получим

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} - mgh_1 = -M_{\text{тр}}\varphi_1. \tag{19}$$

Движение груза между положениями *1* и *2*, как уже отмечалось, равноускоренное, следовательно, $v = at; h_1 = at^2/2$, откуда $v = \frac{2h_1}{t}$ и $\omega = \frac{4h_1}{td}$.

Заменяя в формуле (19) $M_{\text{тр}}$, v, W и φ_1 соответствующими выражениями, находим момент инерции вращающейся системы

$$I = \frac{md^2}{4}\left[\frac{gh_2t^2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1\right].$$

Во всех практических случаях единицей можно пренебречь по сравнению с первым слагаемым в квадратных скобках, тогда

$$I = \frac{md^2}{4} \cdot \frac{gh_2t^2}{h_1(h_1 + h_2)}\,. \tag{20}$$

Таким образом, для определения I необходимо экспериментально определить m, d, t, h_1 и h_2.

1. На крестовине укрепить четыре одинаковых цилиндра массой m_1 каждый на равных расстояниях от оси вращения. Рекомендуется следующая последовательность установки: одну пару стержней располагают горизонтально, надевают на них два цилиндра на некотором расстоянии от оси вращения, добиваются равновесия системы и закрепляют цилиндры. Линейкой измеряют расстояние $2R$ (рис. 5).

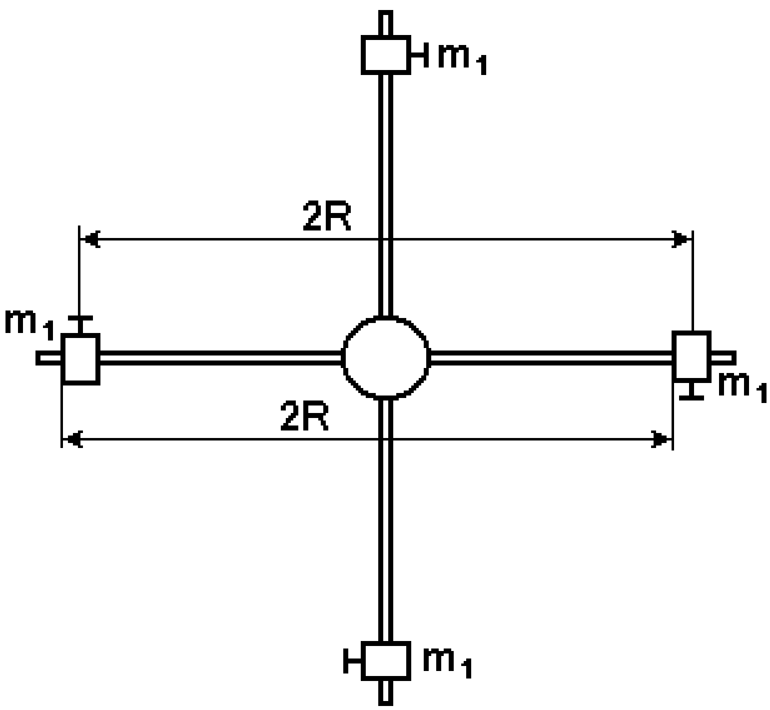


Рис. 5. Схема расположения цилиндров на крестовине

Затем поворачивают крестовину на 90°, на таком же расстоянии устанавливают еще два цилиндра.

2. Установить на платформе несколько перегрузов (три или четыре), намотать нить на шкив, вращая его против часовой стрелки, и измерить время t движения платформы до ее удара о площадку $Б$.

3. Не останавливая вращения крестовины, определить по линейке $Д$, укрепленной на стойке C, высоту h_2, до которой поднимается платформа (отсчет h_2 вести по нижнему основанию платформы).

4. Повторить опыт еще 4 раза, ***не меняя числа*** перегрузков на платформе. Результаты измерений занести в табл. П. 3.

5. По формуле (20) рассчитать момент инерции I вращающейся системы и, используя найденное в предыдущей задаче значение момента инерции I_0 шкива и крестовины, определить момент инерции I_1 четырех цилиндров относительно оси вращения.

6. Рассчитать теоретическое значение момента инерции системы четырех цилиндров относительно оси вращения, считая их материальными точками, по формуле $I_2 = 4m_1R^2$, где m_1 – масса каждого цилиндра, укрепленного на крестовине; R – расстояние от оси вращения до центра масс каждого цилиндра. Полученный теоретический результат сравнить с экспериментальным значением.

ПРИЛОЖЕНИЕ

УРАЛЬСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра физики

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе №9

«Изучение законов вращательного движения на маятнике Обербека»

Студент(ка)______________________________

Группа__________________________________

Преподаватель___________________________

Дата____________________________________

1. Расчетные формулы:

1.1. Момент силы натяжения нити

$$M = \frac{<d> m}{2}\left(g - \frac{2h_1}{<t>^2}\right),$$

где $<d>$ – ____;

$m=m_0+Nm_п$ – ____;

N = 0, 1, 2, 3, 4 (число перегрузков); h_1 – ______________________________;

g – ____;

$<t>$ – ____.

1.2. Угловое ускорение маятника

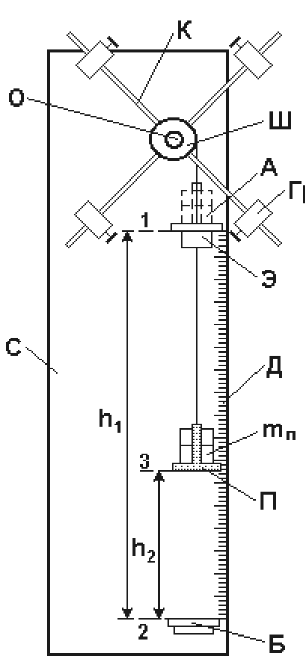
$$\varepsilon = \frac{4h_1}{<d> \cdot <t>^2}.$$

1.3. Момент инерции маятника (используется в задаче 2)

$$\langle I \rangle = \frac{m <d>^2 g <t>^2 <h_2>}{4h_1(h_1 + <h_2>)},$$

где $m=m_0+Nm_п$; $<h_2>$ – ____.

2. Эскиз установки.



3. Средства измерений и их характеристики.

Таблица П. 1

Наименование средства измерения и его номер	Предел измерения или номинальное значение	Цена деления шкалы	Предел основной погрешности, $\theta_{осн}$
Маятник Обербека: -линейная шкала -электросекундомер			
Штангенциркуль или линейка			

Установка № …

4. Результаты измерений.

Задача 1. *Определение момента инерции* I_0 *вала и крестовины без цилиндров и момента сил трения*

4.1. Массы платформы m_0 перегрузков m_n и их погрешности приводятся в таблице, прилагаемой к установке:

m_0 = ... г ; Δ_{m_0} = ... г;

$m_п$ = … г ; $\Delta_{mп}$ = ... г .

4.2. Измерение высоты опускания груза:

h_1 = ... см ; Δ_{h_1} = 0,5 см.

4.3. Измерение диаметра шкива (диаметр шкива и погрешность Δ_d могут быть заданы преподавателем): $\langle d \rangle$ = ... мм; $\Delta_{\langle d \rangle}$ = ... мм.

4.4. Измерение времени опускания груза, расчет ε и M.

Таблица П. 2

Масса опускающегося груза, г	m_o	$m_1 = m_o + m_n$	$m_2 = m_o + 2m_n$	$m_3 = m_o + 3m_n$	$m_4 = m_o + 4m_n$
Время опускания груза t , с					
$\langle t \rangle$, с					
Угловое ускорение ε, рад/с^2					
Момент силы натяжения M, Н·м					

4.5. Построение графика $M(\varepsilon)$ (прилагается к отчету), определение I_0 и $M_{тр}$:

I_0 = ;

$M_{тр}$ = ;

Примечание. Расчет I_0 и $M_{тр}$ может быть выполнен с использованием метода наименьших квадратов (МНК).

4.6. Расчет границ погрешностей результатов измерений.

а) если использовался метод МНК (обработка результатов на компьютере)

$\varepsilon_{I_0} =$; $\varepsilon_{M_{тр}} =$.

б) если метод МНК не использовался, доверительные границы случайных погрешностей рассчитываются по формулам

$\varepsilon_{I_0} = t_{P,n} \cdot S_{<I_0>} =$; $\varepsilon_{Mтр} = t_{P,n} \cdot S_{<Mтр>}, =$,

где средние квадратические отклонения $S_{<I_0>}$ и $S_{<Mтр>}$ задаются преподавателем, $t_{P,n}$ – коэффициент Стьюдента при доверительной вероятности P = 0,95 и числе наблюдений n (в нашем случае n = 3).

Неисключенными систематическими погрешностями пренебрегаем. Следовательно,

$$\Delta_{I_0} = \varepsilon_{I_0};$$

$$\Delta_{Mтр} = \varepsilon_{Mтр}.$$

4.7. Окончательные результаты:

$$I_0 = \left(\langle I_0 \rangle \pm \Delta_{I_0}\right) = (\ \dots\ \pm \dots\ ) \quad кг·м^2, \quad P = 0{,}95;$$

$$M_{тр} = \left(\langle M_{тр} \rangle \pm \Delta_{M_{тр}}\right) = (\ \dots\ \pm \dots\ ) \quad Н·м, \quad P = 0{,}95.$$

4.8. Выводы.

Задача 2. *Определение момента инерции системы четырех цилиндров, симметрично расположенных относительно оси вращения*

4.9. Измерение массы цилиндра m_1 (приводится в таблице, прилагаемой к установкам) и массы m падающего груза:

$$m_1 = \ \ldots\ \text{г}; \qquad \Delta_{m1} = \ \ldots\ \text{г}.$$

$$m = m_0 + N{\cdot}m_\text{п} \ \text{(рекомендуется } N = 4).$$

4.10. Измерение расстояния R от оси вращения до центра тяжести цилиндра на крестовине:

$$R = \ \ldots\ \text{см}; \qquad \Delta_R = 1{,}1\sqrt{\theta^2_\text{осн} + \theta^2_\text{отс}} = \ \ldots\ \text{см}.$$

4.11. Измерение времени t опускания груза и высоты h_2 его подъема.

Таблица П. 3

№ п/п	t_i, с	$t_i - \langle t\rangle$, с	$(t_i - \langle t\rangle)^2$, с^2	h_{2i}, см	$h_{2i} - \langle h_2\rangle$, см	$(h_{2i} - \langle h_2\rangle)^2$, см^2

$$\langle t\rangle = \ldots\ \text{с}; \ \sum_{i=1}^{n}(t_i - \langle t\rangle)^2 = \ \ldots\ \text{с}^2;$$

$$\langle h_2\rangle = \ldots\ \text{см}; \ \sum_{i=1}^{n}(h_{2i} - \langle h_2\rangle)^2 = \ \ldots\ \text{см}^2.$$

Средние квадратические отклонения $S_{\langle t\rangle}$ и $S_{\langle h_2\rangle}$:

$$S_{\langle t\rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(t_i - \langle t\rangle)^2}{n(n-1)}} = \ \ldots\ \text{с}; \quad S_{\langle h_2\rangle} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(h_{2i} - \langle h_2\rangle)^2}{n(n-1)}} = \ \ldots\ \text{см}.$$

Доверительные границы случайных погрешностей (P = 0,95):

$$\varepsilon_t = t_{P,n}S_{\langle t\rangle} = \ \ldots\ \text{с}; \qquad \varepsilon_{h_2} = t_{P,n}S_{\langle h_2\rangle} = \ \ldots\ \text{см}.$$

Границы систематической и полной погрешности:

$$\theta_t = \theta_{\text{осн}} = \ldots \quad \text{с}; \qquad \theta_{h_2} = \theta_{\text{осн}} = 0{,}5 \ \text{см};$$

$$\Delta_t = \sqrt{\theta_t^2 + \varepsilon_t^2} = \ldots \quad \text{с}; \quad \Delta_{h_2} = \sqrt{\theta_{h_2}^2 + \varepsilon_{h_2}^2} = \ldots \quad \text{см}.$$

4.12. Вычисление момента инерции $< I >$ крестовины с четырьмя цилиндрами по формуле п. 1.3:

$< I > =$ ____ $=$ кг·м².

4.13. Расчет момента инерции $< I_1 >$ четырех цилиндров:

$$< I_1 > \ = \ < I > - < I_0 > \ = \ldots \qquad \text{кг·м}^2.$$

4.14. Вычисление границы относительной погрешности определения *I*:

$$\gamma_I = \frac{\Delta_I}{\langle I \rangle} = \sqrt{\frac{(2h_1 + h_2)^2}{(h_1 + h_2)^2}\left(\frac{\Delta_{h1}}{h_1}\right)^2 + \frac{\Delta_{h1}^2}{(h_1 + h_2)^2} + \left(\frac{\Delta_{h2}}{h_2}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta_t}{t}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_m}{m}\right)^2},$$

где $\Delta_m = 0{,}2$ г.

$$\gamma_I = \sqrt{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad} = \quad .$$

4.15. Граница абсолютной погрешности определения I равна

$$\Delta_I = \gamma_I < I > \ = \ldots \qquad \text{кг·м}^2.$$

4.16. Граница относительной погрешности результата измерения момента инерции I_1 четырех цилиндров вычисляется по формуле

$$\gamma_{I_1} = \frac{\Delta_{I_1}}{< I_1 >} = \sqrt{\left(\frac{\Delta_{I_0}}{\langle I_0 \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_I}{\langle I \rangle}\right)^2} = \ldots$$

4.17. Граница абсолютной погрешности результата измерения равна

$$\Delta_{I_1} = \gamma_{I_1} < I_1 > \; = \ldots \quad \text{кг·м}^2.$$

4.18. Окончательный результат:

$$I_1 = \left(\langle I_1 \rangle \pm \Delta_{I_1}\right) = (\ \ldots\ \pm \ldots\ ) \quad \text{кг·м}^2, \quad P = 0{,}95.$$

4.19. Вычисление теоретического значения момента инерции четырех цилиндров относительно оси вращения в предположении, что они являются материальными точками:

$$I_2 = 4 m_1 R^2 = \quad \ldots \quad \text{кг·м}^2.$$

где m_1 – масса цилиндра; R – расстояние от оси вращения до центра тяжести цилиндра, расположенного на крестовине.

4.20. Сравнение результата I_2 с полученным из опыта I_1 и оценка относительной погрешности, возникающей при допущении, что цилиндры являются материальными точками:

$$\delta = \left[\frac{< I_1 > - I_2}{< I_1 >}\right] \cdot 100\ \%. = \quad \ldots$$

4.21. Выводы.

Учебное издание

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАЯТНИКЕ ОБЕРБЕКА

Составители: **Демин** Владимир Борисович
Левченко Виталий Петрович
Шумихина Кямаля Арифовна
Волков Аркадий Германович

Редактор *В. И. Новикова*
Компьютерный набор *Н. Н. Суслиной*

Подписано в печать «   »   20   г. Формат 60×84 1/16.
Бумага писчая. Плоская печать. Усл. печ. л. 1,1.
Уч.-изд. л. 0,8. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел УрФУ
620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19
E-mail: rio@ustu.ru

Отпечатано в типографии Издательско-полиграфического центра УрФУ
620000, Екатеринбург, ул. Тургенева, 4
Тел.: +7 (343) 350-56-64, 350-90-13
Факс: +7 (343) 358-93-06
E-mail.: press.info@usu.ru