

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

© Уральский федеральный
университет, 2012

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основное уравнение вращательного движения имеет вид

$$\vec{M} = I\vec{\varepsilon}, \quad (1)$$

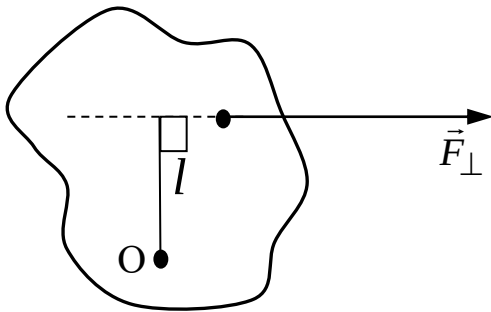
где $\vec{M}$ – суммарный момент всех внешних сил относительно оси вращения;

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

$$M = lF_{\perp}, \quad (2)$$



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).

Рис. 1. Пример определения момента силы

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

$$I = mr^2. \quad (3)$$

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

$$I = \rho \int r^2 dV. \quad (4)$$

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

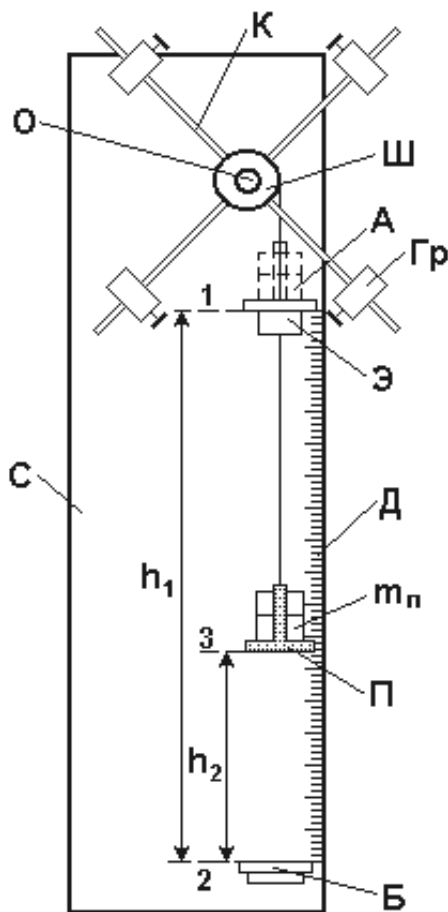


Рис. 2. Эскиз установки

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 Π перед началом опытов помещается на площадку A , удерживаемую в горизонтальном положении электромагнитом $\mathcal{E}$.

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

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

$$M - M_{\text{тр}} = I\varepsilon, \quad (5)$$

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

$$M = rT. \quad (6)$$

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

$$T = m(g - a), \quad (7)$$

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.

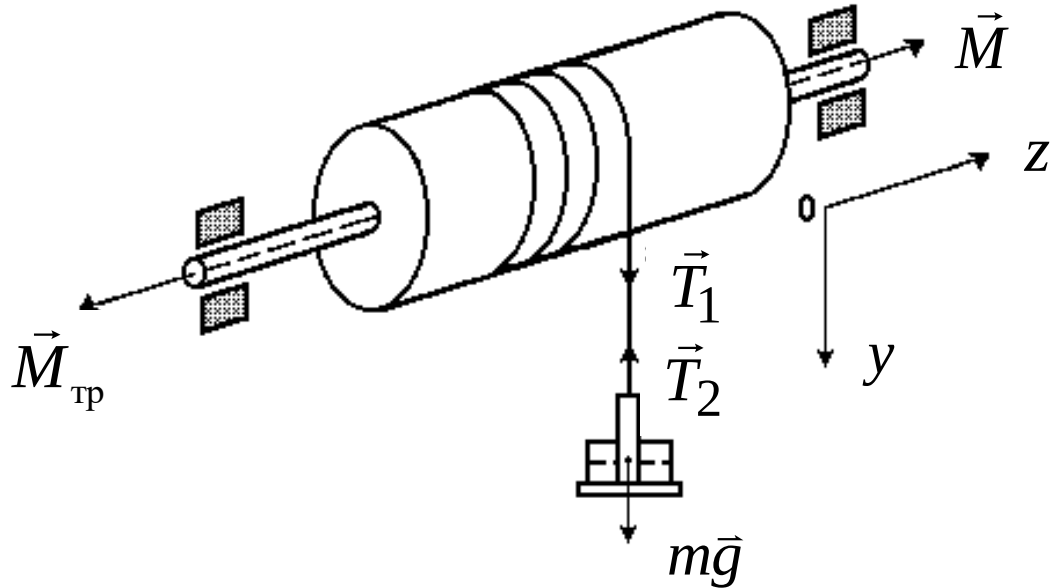


Рис. 3. Схема распределения сил

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):

$$a = \frac{2h_1}{t^2}. \quad (8)$$

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

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

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

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

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

$$\varepsilon = \frac{4h_1}{dt^2}. \quad (10)$$

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 $M_{\text{тр}}$ 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:

$$M = M_{\text{тр}} + I_0\varepsilon.$$

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

1. С помощью линейки D , 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 Π (рис. 2) находилась на столике A , а нить была **натянута и расположена вертикально**.

3. Нажать на правую пусковую кнопку электросекундомера. Одновременно с включением секундомера опускается стартовый столик A и груз начинает падение. После удара груза о финишную площадку B 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. Прodelать 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 (величина, пропорциональная углу наклона прямой) и момент $M_{\text{тр}}$ силы трения (начальная ордината)¹.

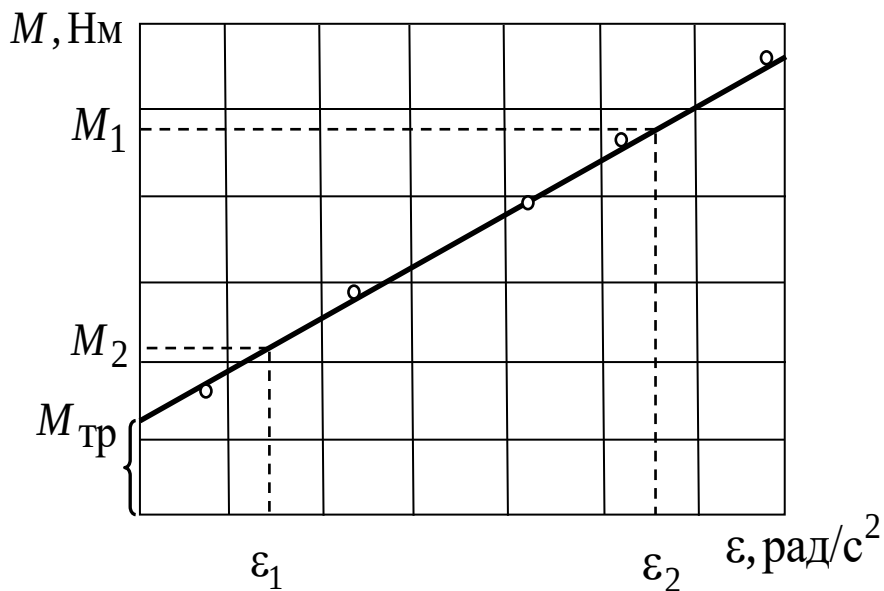


Рис. 4. Примерный вид графика функции $M(\varepsilon)$

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:

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

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

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

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 B 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 :

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

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

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

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

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:

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

Сложив выражения (14) и (15), получим

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

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

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

откуда

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

Подставив (11) и (12) в (14), получим

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

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

$$I = \frac{md^2}{4} \left[\frac{gh_2 t^2}{h_1(h_1 + h_2)} - 1 \right].$$

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

$$I = \frac{md^2}{4} \cdot \frac{gh_2 t^2}{h_1(h_1 + h_2)}. \quad (20)$$

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).

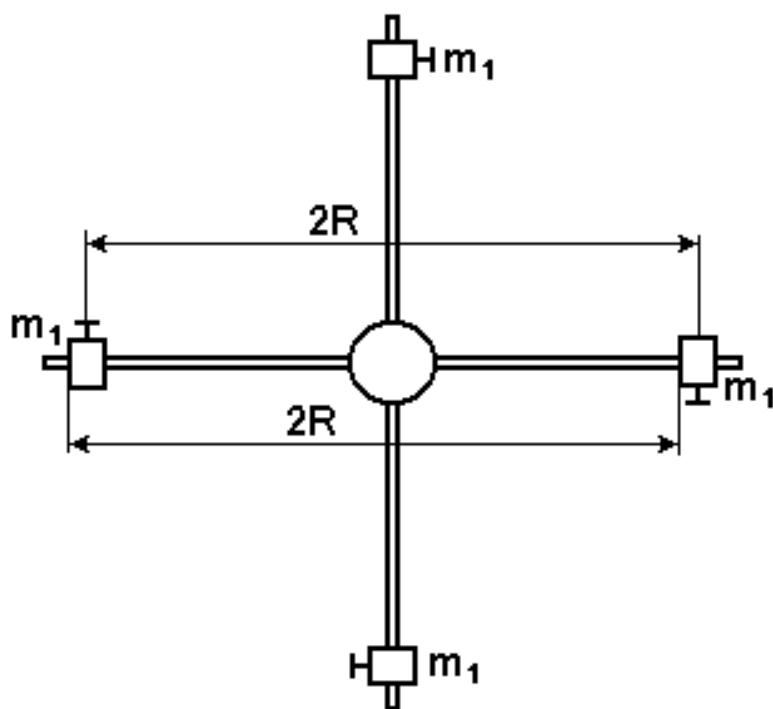


Рис. 5. Схема расположения цилиндров на крестовине

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 B .

3. Не останавливая вращения крестовины, определить по линейке D , 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* перегрузов 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

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

где $\langle d \rangle$ – _____;

$m = m_0 + Nm_n$ – _____;

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

g – _____;

$\langle t \rangle$ – _____.

1.2. Угловое ускорение маятника

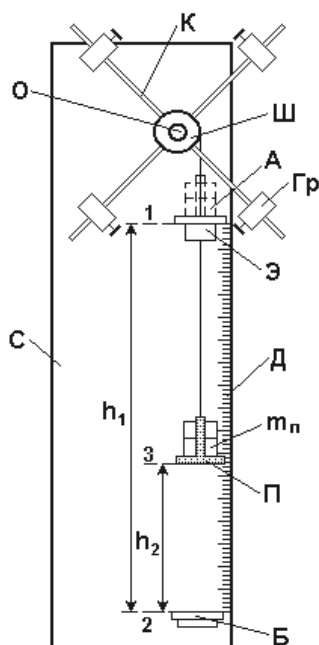
$$\varepsilon = \frac{4h_1}{\langle d \rangle \cdot \langle t \rangle^2}.$$

1.3. Момент инерции маятника (используется в задаче 2)

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

где $m = m_0 + Nm_n$; $\langle h_2 \rangle$ – _____.

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, $\theta_{\text{осн}}$
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:

$$m_0 = \dots \text{ г}; \quad \Delta_{m_0} = \dots \text{ г};$$

$$m_{\text{п}} = \dots \text{ г}; \quad \Delta_{m_{\text{п}}} = \dots \text{ г}.$$

4.2. Измерение высоты опускания груза:

$$h_1 = \dots \text{ см}; \quad \Delta_{h_1} = 0,5 \text{ см}.$$

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

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

Таблица П. 2

Масса опускающегося груза, г	m_0	$m_1 = m_0 + m_n$	$m_2 = m_0 + 2m_n$	$m_3 = m_0 + 3m_n$	$m_4 = m_0 + 4m_n$
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 $M_{тр}$.

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)

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

$$\varepsilon_{M_{тр}} = \quad .$$

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

$$\varepsilon_{I_0} = t_{P,n} \cdot S_{\langle I_0 \rangle} = \quad ;$$

$$\varepsilon_{M_{тр}} = t_{P,n} \cdot S_{\langle M_{тр} \rangle}, = \quad .$$

где средние квадратические отклонения $S_{\langle I_0 \rangle}$ и $S_{\langle M_{тр} \rangle}$ 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,

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

$$\Delta_{M_{тр}} = \varepsilon_{M_{тр}} .$$

4.7. Окончательные результаты:

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

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

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:

$$m_1 = \dots \text{ г}; \quad \Delta_{m1} = \dots \text{ г}.$$

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

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

$$R = \dots \text{ см}; \quad \Delta_R = 1,1 \sqrt{\theta_{\text{осн}}^2 + \theta_{\text{отс}}^2} = \dots \text{ см}.$$

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

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

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

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

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

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

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

Границы систематической и полной погрешности:

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

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

4.12. Вычисление момента инерции $\langle I \rangle$ крестовины с четырьмя цилиндрами по формуле п. 1.3:

$$\langle I \rangle = \underline{\hspace{10cm}} = \text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

4.13. Расчет момента инерции $\langle I_1 \rangle$ четырех цилиндров:

$$\langle I_1 \rangle = \langle I \rangle - \langle I_0 \rangle = \dots \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4.14. Вычисление границы относительной погрешности определения I :

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

где $\Delta_m = 0,2 \text{ г}$.

$$\gamma_I = \sqrt{\hspace{15cm}} = \dots$$

4.15. Граница абсолютной погрешности определения I равна

$$\Delta_I = \gamma_I \langle I \rangle = \dots \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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

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

4.17. Граница абсолютной погрешности результата измерения равна

$$\Delta_{I_1} = \gamma_{I_1} \langle I_1 \rangle = \dots \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

4.18. Окончательный результат:

$$I_1 = (\langle I_1 \rangle \pm \Delta_{I_1}) = (\dots \pm \dots) \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad P = 0,95.$$

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

$$I_2 = 4m_1 R^2 = \dots \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

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:

$$\delta = \left[\frac{\langle I_1 \rangle - I_2}{\langle I_1 \rangle} \right] \cdot 100 \% = \dots$$

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