

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗАННЫХ ТЕЛ

1. Цель работы: освоить метод экспериментального определения кинематических и динамических параметров движения связанных тел.

2. Подготовка к работе

Прочитать в учебниках следующие параграфы: [1] – §§ 3.4, 4.1 – 4.3; [2] – §§ 11 – 13, 16 – 19. Для выполнения работы студент должен: а) знать законы динамики поступательного и вращательного движения и закон сохранения энергии; б) уметь пользоваться измерительными приборами; в) знать порядок выполнения работы, методику проведения измерений на установке; г) уметь рассчитывать погрешности измерений.

3. Выполнение работы

3.1. Описание лабораторной установки

Экспериментальная установка состоит из стойки с укрепленным на ней с помощью подшипника шкива и столика, жестко связанного со шкивом. Шкив и столик имеют общую ось вращения (рис. 8.1). На шкив наматывается нить. Ко второму концу нити, перекинутой через неподвижный блок, подвешивается груз массой m . Опускаясь с высоты h , груз приводит во вращательное движение шкив со столиком. В работе

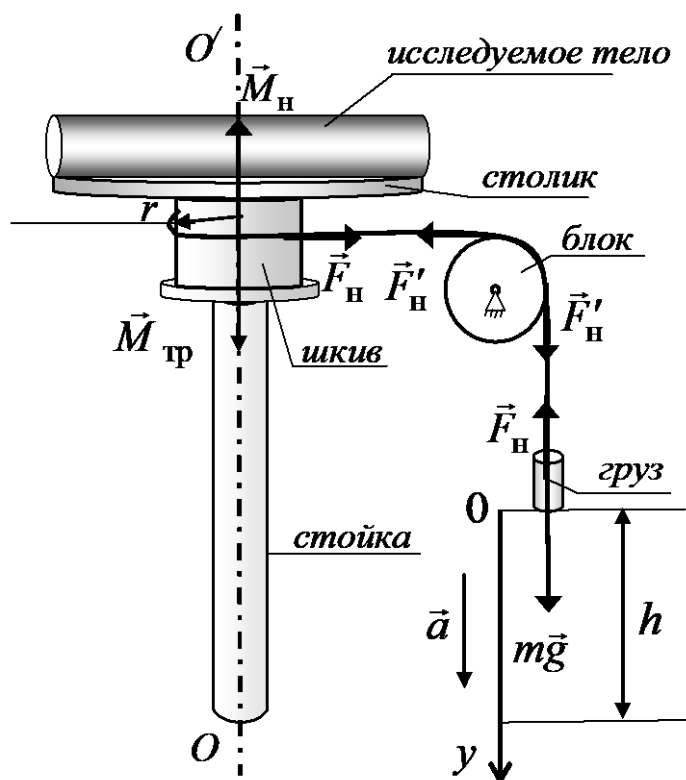


Рис. 8.1. Схема экспериментальной установки

изучается движение системы связанных тел – груза и шкива со столиком.

3.2. Методика измерений и расчёта

При равноускоренном движении груза массой m уравнение для координаты y будет иметь вид

$$y = \frac{at^2}{2}, \quad (8.1)$$

где a – ускорение груза; t – время его движения с высоты h до пола.

Расчётные формулы для конечной скорости груза

$$v = \frac{2h}{t} \quad (8.2)$$

и его ускорения

$$a = \frac{2h}{t^2}. \quad (8.3)$$

Расчётные формулы для кинематических характеристик вращательного движения столика со шкивом:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2h}{rt}; \quad (8.4)$$

$$\varepsilon = \frac{a_{\tau}}{r} = \frac{2h}{rt^2}; \quad (8.5)$$

$$\varphi = \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{h}{r}, \quad (8.6)$$

где ω – угловая скорость столика со шкивом в конце его ускоренного вращения; ε – угловое ускорение столика со шкивом; φ – угол поворота шкива радиуса r за время движения груза.

За время ускоренного движения груза массой m столик со шкивом сделает N оборотов:

$$N = \frac{\varphi}{2\pi}. \quad (8.6)$$

Модуль силы натяжения нити, связывающей шкив с грузом массой m , равен

$$F_H = m(g - a). \quad (8.7)$$

В конце движения груз имеет скорость v , импульс $P = mv$; кинетическую энергию $E_{\text{кгр}} = mv^2/2$; начальная потенциальная энергия груза $E_{\text{п}} = mgh$.

Уравнение динамики вращательного движения столика со шкивом имеет вид:

$$\vec{M}_{\text{н}} + \vec{M}_{\text{тр}} = J\vec{\varepsilon}, \quad (8.8)$$

где $\vec{M}_{\text{н}} = [\vec{r}\vec{F}_{\text{н}}]$ – момент силы натяжения нити; $M_{\text{тр}}$ – момент силы трения; J – момент инерции шкива со столиком; ε – их угловое ускорение.

В проекции на ось вращения OO' уравнение (8.8) записывается в виде

$$M_{\text{н}} - M_{\text{тр}} = J\varepsilon, \quad (8.9)$$

откуда момент инерции J столика со шкивом равен

$$J = \frac{M_{\text{н}} - M_{\text{тр}}}{\varepsilon}. \quad (8.10)$$

Момент силы натяжения нити равен

$$M_{\text{н}} = mr(g - a), \quad (8.11)$$

где m – масса груза; a – его ускорение; r – радиус шкива.

Момент силы трения $M_{\text{тр}}$ можно определить экспериментально подбором минимальной массы груза m_0 , при которой его движение будет равномерным ($a = 0$). Уравнение движения (8.7) груза для этого случая имеет вид $F_{\text{HO}} = m_0 g$.

Момент этой силы равен

$$M_{\text{тр}} = M_{\text{HO}} = m_0 gr. \quad (8.12)$$

Кинетическая энергия вращения столика в конце ускоренного вращения равна

$$E_{\text{кст}} = \frac{J\omega^2}{2}. \quad (8.13)$$

Работа момента сил трения за время ускоренного вращения столика будет определяться

$$A_{\text{тр}} = M_{\text{тр}}\varphi. \quad (8.14)$$

Момент импульса столика в конце ускоренного вращения равен

$$L = J\omega. \quad (8.15)$$

3.3. Измерение кинематических характеристик

3.3.1. Намотайте на шкив нить, перекиньте её через блок и к свободному концу нити прикрепите груз. С помощью масштабной рейки задайте высоту h груза над полом (во всех опытах эта величина должна быть одинаковой). Отпуская груз, одновременно включите секундомер. Выключите его, когда груз достигнет пола. Опыт повторить 5 раз. Данные измерений и вычислений кинематических величин по формулам (8.2) – (8.6) занесите в табл. 8.1.

Таблица 8.1

*Измеренные и рассчитанные характеристики движения груза
и столика со шкивом*

№ п/п	t , с	$\langle t \rangle$, с	υ , м/с	a , м/с ²	ω , с ⁻¹	ε , с ⁻²	φ , рад	N , об
1								
2								
3								
4								
5								
$r =$ м			$m =$ кг			$h =$ м		

3.3.2. Штангенциркулем измерьте диаметр шкива и вычислите его радиус $r = d/2$. Определите массу груза m .

3.3.3. Положите на столик какое-либо исследуемое тело (стержень или диск). Повторите измерения времени. Вычислите кинематические характеристики груза и столика с телом. Результаты занесите в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Измеренные и рассчитанные характеристики движения груза, столика со шкивом и исследуемым телом

№ П/П	t , с	$\langle t \rangle$, с	v , м/с	a , м/с ²	ω , с ⁻¹	ε , с ⁻²	φ , рад	N , об
1								
2								
3								
4								
5								

3.4. Расчет динамических характеристик

3.4.1. Занесите результаты вычислений в табл. 8.3. Значения ускорения a и скорости v выпишите из табл. 8.1 и 8.2.

3.4.2. По формуле (8.12) рассчитайте момент силы трения $M_{\text{тр}}$ для каждого опыта;

3.4.3. По формуле (8.10) рассчитайте момент инерции столика со шкивом J_1 (значение углового ускорения ε_1 возьмите из табл. 8.1) и системы столик со шкивом – тело J_2 . Момент инерции исследуемого тела $J_{\text{тела}}$ находится как разность J_2 и J_1 :

$$J_{\text{тела}} = J_2 - J_1.$$

Таблица 8.3

*Результаты расчёта динамических характеристик
поступательного движения груза*

Условия опытов	Характеристики	a	$F_{\text{н}}$	v	P	$E_{\text{кгр}}$	$E_{\text{п}}$
		м/с ²	Н	м/с	кг·м/с	Дж	Дж
Без тела на столике							
С телом на столике							

Рассчитайте теоретическое значение момента инерции тела:

– для стержня $J_{\text{теор}} = \frac{1}{12} m_{\text{ст}} l^2$, (8.12)

где $m_{\text{ст}}$ – масса стержня; l – его длина;

– для диска $J_{\text{теор}} = \frac{1}{2} m_{\text{д}} R^2$, (8.13)

где $m_{\text{д}}$ – масса диска; R – его радиус.

3.4.4. По формуле (8.13)–(8.15) рассчитайте приобретенную кинетическую энергию в конце вращения $E_{\text{к}}$, работу момента силы трения $A_{\text{тр}}$, момент импульса системы тел L . Занесите результаты вычислений в табл. 8.4.

3.5. Сделайте вывод.

