

Работа 2

ИЗУЧЕНИЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАШИНЫ АТВУДА

Цель работы: Определение ускорения грузов при равноускоренном движении.

Введение

Простейшей формой движения является механическое движение, которое заключается в изменении с течением времени положения тел или их частей относительно друг друга. Описание движения тел, не затрагивая вопроса о том, почему тело движется, рассматривается в кинематике. Раздел механики, в котором изучается движение тел в связи с теми причинами, которые обуславливают тот или иной характер его движения, называется динамикой. В основе классической механики лежат три закона динамики, которые сформулировал И. Ньютон в 1687 году. Законы Ньютона, как и все остальные физические законы, возникли в результате обобщения большого количества опытных факторов. Правильность их подтверждается согласием с опытом тех следствий, которые из них вытекают.

Основным уравнением динамики называют второй закон Ньютона, математическая запись которого имеет вид:

$$\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} , \quad (2.1)$$

где $\sum_i \vec{F}_i$ – сумма всех сил, действующих на тело (материальную точку) массой m , \vec{a} – ускорение, приобретаемое под действием данных сил. Материальной точкой называется тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.

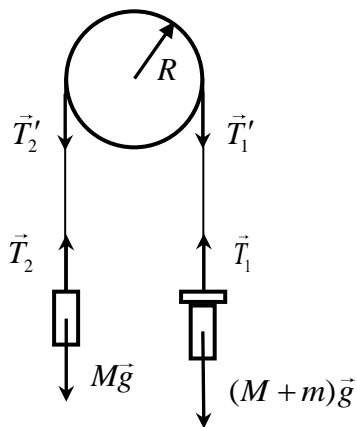


Рис.2.1

Применим основной закон динамики поступательного движения к системе тел, изображенных на рис.2.1. Два груза массами M соединены нитью, перекинутой через неподвижный блок радиуса R и моментом инерции I . Если на один из грузов положить перегрузок массой m , то система придет в движение. На каждый из движущихся грузов действуют две силы: сила тяжести \vec{F}_T , направленная вниз, и сила \vec{T} натяжения нити, направленная

вверх. Тогда основное уравнение динамики для груза 1 с перегрузком имеет вид:

$$(M + m)\vec{g} + \vec{T}_1 = (M + m)\vec{a}_1. \quad (2.2)$$

Аналогичное уравнение может быть записано и для второго груза:

$$M\vec{g} + \vec{T}_2 = M\vec{a}. \quad (2.3)$$

Основное уравнение динамики вращательного движения неподвижного блока имеет вид:

$$\sum_i N_{zi} = I\beta, \quad (2.4)$$

где $\sum_i N_{zi}$ – алгебраическая сумма моментов сил, действующих на блок, относительно оси вращения; β – угловое ускорение.

При движении грузов блок ускоренно вращается по часовой стрелке, следовательно, $T_1' > T_2'$, где \vec{T}_1' и \vec{T}_2' силы, приложенные к ободу блока. Тогда, уравнение (2.4), можно записать в следующем виде

$$T_1'R - T_2'R - N_{mp} = I\beta, \quad (2.5)$$

где N_{mp} – момент силы трения, действующий на блок.

Будем считать, что нить невесомая, нерастяжимая и не скользит по блоку. В силу невесомости нити, согласно третьему закону Ньютона, силы \vec{T}'_1 и \vec{T}'_2 , приложенные к ободу блока, равны по модулю соответственно силам \vec{T}_1 и \vec{T}_2 , но противоположны им по направлению:

$$|\vec{T}_1| = |\vec{T}'_1| \text{ и } |\vec{T}_2| = |\vec{T}'_2|. \quad (2.6)$$

Из нерастяжимости нити также следует, что смещение, а следовательно, скорости и ускорения тел 1 и 2 одинаковы по модулю:

$$|\vec{a}_1| = |\vec{a}_2| = a. \quad (2.7)$$

В отсутствие скольжения нити по блоку, линейное ускорение грузов a равно модулю тангенциального ускорения точек обода блока, и связано с угловым ускорением блока соотношением:

$$a = a_\tau = R\beta. \quad (2.8)$$

Проецируя уравнения (2.2) и (2.3) на ось Oy , направленную вертикально вверх, получим с учетом формул (2.5)-(2.8) систему уравнений:

$$\begin{aligned} -(M+m)g + T_1 &= -(M+m)a, \\ -Mg + T_2 &= Ma, \\ T_1R - T_2R - N_{mp} &= I \frac{a}{R}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Решая данную систему уравнений, получим для ускорения следующее выражение:

$$a = \frac{mg - N_{mp} / R}{2M + m + I / R^2}. \quad (2.10)$$

Если пренебречь моментом сил трения и учесть, что момент инерции блока равен $I = \frac{M_{\text{об}} R^2}{2}$, то ускорение системы грузов можно переписать в виде:

$$a = \frac{mg}{2M + m + M_{\text{об}} / 2}, \quad (2.11)$$

где $M_{\text{об}}$ – масса блока.

Из последнего выражения можно видеть, что грузы будут двигаться равноускоренно, с постоянным ускорением.

Применим теперь для системы грузов на рис.2.1 основные кинематические уравнения движения:

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad (2.12)$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (2.13)$$

где $\vec{r}(t)$ – радиус-вектор материальной точки в момент времени t ; \vec{r}_0 – радиус-вектор начального положения материальной точки; \vec{v}_0 – скорость тела в начальный момент времени.

Спроецируем уравнения (2.12) и (2.13) на ось Oy , направленную вертикально вверх:

$$y = y_0 - v_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad (2.14)$$

$$v = v_0 + at, \quad (2.15)$$

где y_0 – начальная координата, от которой груз начинает свое движение. Тогда, при равноускоренном прямолинейном движении с нулевой начальной скоростью, пройденный грузом путь S за время t можно записать в виде:

$$S = y_0 - y = \frac{at^2}{2}. \quad (2.16)$$

При этом его конечная скорость будет равна

$$v = at, \quad (2.17)$$

или с учетом выражения (2.16):

$$v = \frac{2S}{t}. \quad (2.18)$$

Следовательно, ускорение, с которым будут двигаться равноускоренно грузы под действием перегрузка массой m , равно

$$a = \frac{2S}{t^2}. \quad (2.19)$$

В данной работе проводится сравнение величин ускорения, полученного с помощью динамики движения (2.4), с ускорением,

полученным из кинематических представлений движения грузов (2.19).

Методика выполнения работы

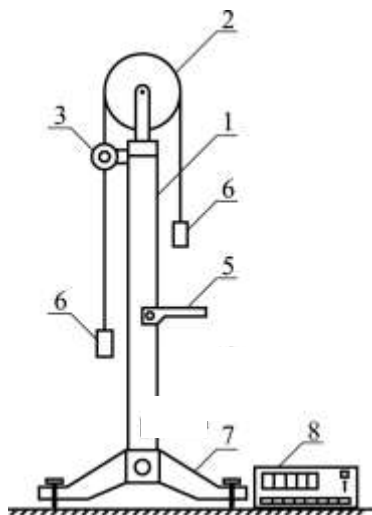


Рис.2.2

Работа выполняется на установке «Машина Атвуда» (рис.2.2). Установка состоит из вертикальной стойки 1 с сантиметровыми делениями, основанием (7) снабженного тремя регулируемыми опорами и блока 2, укрепленного на подшипнике. Через блок перекинута нить с грузами одинаковой массы 6. При измерениях правый груз 6 с перегрузком устанавливается на определенной высоте с координатой y_1 , после чего включается электромагнит 3 и нить, удерживающая грузы, зажимается. Питание электромагнита осуществляется источником постоянного тока 9 через миллисекундомер 8, с помощью которого включается и выключается электромагнит. При выключении электромагнита нить освобождается и включается миллисекундомер. Счет времени прекращается при пересечении правым грузом оптической оси фотодатчика (5) на высоте с координатой y_2 . Считая движение груза равноускоренным, конечная скорость груза v перед прохождением через фотодатчик вычисляется по формуле (2.18), где в данном случае $S = y_1 - y_2$.

Приборы и принадлежности	Технические характеристики
Машина Атвуда со стойкой, двумя грузами и перегрузком	
Миллисекундомер	

Порядок выполнения работы

Задание 1. Определение ускорения движения при равноускоренном движении грузов.

1. Включите установку (миллисекундомер) в цепь переменного тока (~220 В).

2. Отрегулируйте положение машины Атвуда, при помощи регулировочных опор, используя для визуального наблюдения уровень.

3. Перекиньте через шкив нить с двумя грузами (без перегрузков) и убедитесь, что система находится в положение равновесия.

4. Найдите и запишите под таблицей 2.1 массы груза M , перегрузков m и блока M_{bl} .

5. Установите кронштейн с фотодатчиком в нижней части шкалы вертикальной стойки так, чтобы плоскость кронштейна, окрашенная в красный цвет, совпала с одной из рисок шкалы, а правый груз при движении вниз проходил в центре рабочего окна фотодатчика

6. Нажмите кнопку «Сеть» блока миллисекундомера. При этом должно включиться табло индикации и должен сработать фрикцион электромагнитного тормоза.

7. Нажмите кнопки «Пуск», затем «Стоп» и «Сброс».

8. Поместите перегрузок ($m=10$ гр) на правый груз. Установите груз с перегрузком на такой высоте (y_1) от фотодатчика (y_2), чтобы они падали на нее с высоты $S = 25$ см.

9. Нажмите кнопку «Пуск» блока, при этом происходит растормаживание электромагнитного тормоза, грузы приходят в движение и таймер блока начинает отсчет времени. После прохождения грузов через оптический датчик отсчет времени прекратится.

10. Запишите в таблицу 2.1 время движения грузов, показанное на миллисекундомере.

11. Повторите пункты 8-10 три раза.

12. Повторите пункты 8-11 для высот $S = 20, 15$ и 10 см.

13. Прделайте пункты 8-12 для перегрузка массой 20 гр., полученные результаты запишите в таблицу 2.2.

Таблицы 2.1 и 2.2

$S, \text{ см}$	$\tau, \text{ мс}$			$\langle \tau \rangle, \text{ мс}$	$\Delta \tau, \text{ мс}$	$\langle v \rangle, \text{ м/с}$	$\Delta v, \text{ м/с}$
	1	2	3				
25							
20							
15							
10							

$M =$

$m =$

$M_{\text{бл}} =$

Расчетные формулы:

$$\langle \tau \rangle = \frac{\tau_{\text{МАКС}} + \tau_{\text{МИН}}}{2}; \Delta \tau = \frac{\tau_{\text{МАКС}} - \tau_{\text{МИН}}}{2} \text{ или } \Delta \tau_{\text{ПРИБОРН}};$$

$$\langle v \rangle = 2S / \langle \tau \rangle; \Delta v = \langle v \rangle \sqrt{E_s^2 + E_\tau^2};$$

$$E_s = \frac{\Delta S}{S}; \Delta S = \sqrt{\Delta y_1^2 + \Delta y_2^2} = \Delta y \sqrt{2}; E_\tau = \frac{\Delta \tau}{\langle \tau \rangle}.$$

14. Определите время и скорость движения грузов, оцените их погрешности.

15. Постройте график зависимости $v(t)$. По наклону графика определите ускорение движения груза с перегрузком: $a \pm \Delta a$

16. Сравните полученное значение с ускорением, рассчитанным по формуле (2.11).

17. Напишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. Как соотносятся между собой пути, проходимые грузом при равнопеременном движении за последовательные равные промежутки времени?

2. Как связана формула (2.18) со средней скоростью равнопеременного движения?

5. При каком условии ускорения тел, используемых в машине Атвуда, одинаковы по модулю?

6. При каких условиях одинаковы силы натяжения нитей по обе стороны неподвижного блока?

7. Какие величины определяют с помощью прямых измерений в данной лабораторной работе?

8. Можно ли в данной работе движущееся тело считать материальной точкой? Почему?

9. Как на данной установке можно определить мгновенную скорость тела в некоторой точке траектории?

10. Запишите уравнения движения грузов машины Атвуда.

Литература