

Московский энергетический институт  
/технический университет/  
Волжский филиал

Кафедра общетехнических дисциплин

Лабораторная работа № I

Изучение динамики поступательного и вращательного движения на "машине Атвуда".

Волжский 2001

# Лабораторная работа № I.

Изучение динамики поступательного и вращательного движения на "машине Атвуда".

## I. Цель работы.

Определение ускорения поступательного движения грузов на машине Атвуда, момента сил трения в подшипниках.

Лабораторная установка <sup>в термометрической установке</sup> /система/ состоит из двух грузов одинаковой массы  $m$ , закрепленных на концах легкой нерастяжимой нити, перекинутой через блок /рис. I/.

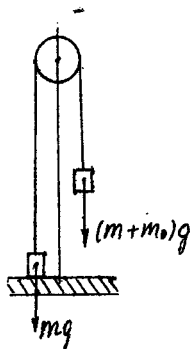


Рис. I.

Рассмотрим 4 варианта состояния системы.

Вариант I. Массы правого и левого грузов равны между собой. Силы натяжения, создаваемые правым и левым грузами одинаковы и противоположны.

$$F_1 = F_2 = mg$$

Система неподвижна. Ускорение  $a_1 = 0$ .

Вариант 2. На правый груз помещают перегрузок  $m_0$ . Масса блока и сила трения на оси блока не учитываются. Возникает дополнительная сила

$$F_0 = m_0 g \quad /1/$$

Эта сила приводит систему в движение с ускорением  $a_2$ . Согласно второму и третьему законам Ньютона, движение грузов системы общей массой  $(2m + m_0)$  вызывает противодействующую силу

$$F'_0 = (2m + m_0) a_2 \quad /2/$$

Приравнявая /1/ и /2/ определяем ускорение

$$a_2 = \frac{m_0 g}{2m + m_0} \quad /3/$$

Вариант 3. Учет влияние момента инерции блока  $J_\delta$  на движение системы. Согласно основному закону динамики вращательного движения момент силы  $M_\delta$  на блоке равен:

$$M_\delta = J_\delta \cdot \epsilon \quad /4/$$

где  $\epsilon$  - угловое ускорение вращения блока, равное

$$\epsilon = \frac{a_3}{R_\delta} \quad a_3 = \epsilon \cdot R_\delta \quad /5/$$

где  $a_3$  - линейное ускорение движения грузов

В то же время момент силы  $M_0$  можно представить как

$$| M_0 = F_0 \cdot R_0 \quad |8/$$

где  $F_0$  - сила, вызванная противодействием блока,  
 $R_0$  - радиус шкива /внешний радиус блока/

Решая совместно /4/, /5/, /6/, получим

$$F_0 = \frac{\alpha_3}{R_0^2} J_0 \quad |7/$$

Сила противодействия  $F_0$  со стороны блока вызвана за счет ускорения  $\epsilon$  вращения блока.

Уравнение действующей силы  $F_0$  равно сумме противодействующих сил

$$F_0 = F_0' + F_0 \quad , \text{ то есть}$$

$$m_0 g = (2m + m_0) \alpha_3 + \frac{J_0 \alpha_3}{R_0^2}$$

Ускорение системы с учетом влияния момента инерции блока

$$\alpha_3 = \frac{m_0 g}{2m + m_0 + J_0/R_0^2} \quad |8/$$

Вариант 4. Учет момент трения в подшипниках блока.

$$M_{тр} = F_{тр} R_0 \quad \text{или} \quad F_{тр} = \frac{M_{тр}}{R_0} \quad ,$$

где  $F_{тр}$  - сила трения, приведенная к нити.

Уравнение действующей и противодействующих сил примет вид

$$F_0 = F_0' + F_0 + F_{тр} \quad \text{или}$$

$$m_0 g = (2m + m_0 + J_0/R_0^2) \alpha_4 + M_{тр}/R_0$$

Отсюда ускорение движения грузов

$$\alpha_4 = \frac{m_0 g - M_{тр}/R_0}{2m + m_0 + J_0/R_0^2} \quad |9/$$

Для определения  $M_{тр}$  подбирается такой минимальный перегрузок  $m'$ , при котором начнется перемещение грузов в установке Атвуда. В этом случае момент сил трения определяется по формуле

$$M_{тр} = m' g R_0 \quad |10/$$

Момент инерции блока  $J_0$  в формулах /8/, /9/ равен

$$J_0 = \frac{m_0 R_0^2}{2} \quad |11/$$

где  $m_0$  - масса блока

Фактическое ускорение движения грузов  $a_p$  определяется экспериментально, исходя из кинематического уравнения движения

$$h = \frac{a_p \tau^2}{2}$$

Откуда

$$\left[ a_p = \frac{2h}{\tau^2} \right. \quad /12/$$

где  $h$  - высота, с которой опускается правый груз,  
 $\tau$  - время опускания груза

### 3. Описание экспериментальной установки.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 2. На вертикальной стойке I закреплены два кронштейна 2 и 4. На кронштейне 2 закреплен блок 5. Через блок перекинута нить малой массы с грузами 6 на концах. На кронштейне 2 закреплен также электромагнитный тормоз 7, с помощью которого производится остановка системы. Напряжение на электромагнит поступает с отдельного блока питания. Кронштейн 4 - площадка с амортизатором для гашения удара груза после опускания с заданной высоты. Кронштейн может перемещаться и фиксироваться на любом уровне стойки I. Положение правого груза определяется координатой его нижнего торца по шкале 8. Путь, пройденный правым грузом, определяется по разности начального и конечного положения нижнего торца груза. Время движения груза измеряется электронным секундомером. Для подключения блока питания и секундомера на стойке I имеется колодка с гнездами "БП" и "Сек.". Кнопка 3 служит для управления электромагнитным тормозом и секундомером. Кнопка имеет два положения: I - тормоз включен, секундомер выключен; II - тормоз выключен, секундомер включен.

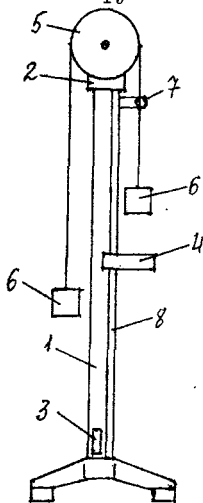


Рис. 2.

#### 4. Порядок выполнения работы.

1. Установить кронштейн с ограничительной площадкой на выбранной высоте  $h$ .
  2. Убедиться, что система находится в безразличном равновесии. Положить на правый груз перегрузок массой  $m_0$  /по указанию преподавателя/.
  3. Подключить к установке блок питания, соединив два гнезда на блоке с гнездами "БП" на колодке установки.
  4. Подключить к установке электронный секундомер, соединив два гнезда на секундомере с гнездами "Сек." на колодке установки.
  5. Подключить блок питания и секундомер к сети 220 В. Включить электропитание секундомера, установив тумблер на лицевой панели в положение "Вкл."
  6. Установить груз с перегрузком в исходное положение, подняв их вверх до упора, предварительно отключив тормоз нажатием клавиши 3 /положение II/.
  7. Включить тормоз нажатием клавиши 3 /положение I/.
  8. Нажатием кнопки "Сброс" на секундомере установить показания индукторов на ноль.
  9. Привести систему в движение, установив клавишу 3 в положение II: тормоз отключается, а секундомер начинает отсчет времени.
  10. В момент касания грузом опорной площадки - установить клавишу 3 в положение I: секундомер останавливается.
- Для определения времени движения груза  $t$  показание секундомера умножить на коэффициент  $K=2$ . Полученный результат занести в таблицу.
11. Повторить измерения 5 раз, выполнив пункты 6, 7, 8, 9, 10.
  12. Выключить секундомер, установив тумблер на лицевой панели в нижнее положение.
  13. Отключить блок питания и секундомер от сети.
  14. Определить минимальный перегрузок  $m'$ , при котором начинается перемещение грузов.

5. Данные установки и таблица результатов измерений.

Масса каждого из грузов  $m = 120$  г

Масса перегрузка  $m_0 = 3-12$  г /по указанию преподавателя/

Ускорение свободного падения  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>

Масса блока  $m_5 = 109,7$  г

Радиус блока  $R_5 = 70$  мм

<i>N</i> замера	$\tau$ , с	
1		
2		
3		
4		
5		
Средн.		

6. Обработка результатов измерения.

1. Вычислить момент инерции блока  $J_B$  по формуле /11/.
2. Вычислить момент трения  $M_{тр}$  в блоке по формуле /10/.
3. Вычислить ускорения  $a_2, a_3, a_4$  по формулам /3/, /8/, /9/.
4. Вычислить среднее время опускания груза  $\bar{\tau}$ , используя замеры в таблице.

5. Вычислить фактическое ускорение  $a_f$  по формуле /12/.

6. Сравнить ускорения  $a_2, a_3, a_4, a_f$  и проанализировать результаты.

7. Определить результирующую погрешность  $\Delta\tau$  в установленном порядке.

8. Рассчитать погрешности косвенного измерения  $\delta a_f$  и  $\Delta a_f$  по формулам

$$\delta a_f = 2\delta\tau = 2 \frac{\Delta\tau}{\bar{\tau}}, \quad \Delta a_f = \delta a_f \cdot a_f$$

9. Записать результат  $a_f$  с учетом погрешности и с указанием на доверительную вероятность.

7. Контрольные вопросы.

1. Сформулировать закон сохранения механической энергии для прямолинейного и вращательного движения.
2. Сформулировать второй закон Ньютона для прямолинейного движения и его аналог для вращательного движения.
3. Почему  $a_2, a_3, a_4, a_f$  различаются между собой?
4. Где сильнее натяжение нити - справа или слева при различных вариантах движения системы? Почему?
5. Как влияет  $m_B$  на ускорение системы?
6. В каких единицах измеряются:  $a, \varepsilon, J_B, M_{тр}$ .
7. Напишите кинематическое уравнение движения груза.
8. Какая система называется замкнутой?
9. Дайте определение консервативных и диссипативных сил.

Литература.

- I. Деллаф А.А. Курс физики. М., Высшая школа, 20  
стр. 24-29, 44, 61.