Козловская Евгения Петровна
Шаблий Петр Федорович
Рыппо Виталий Леонидович

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

«Изучение динамики поступательного движения твердого тела по наклонной плоскости»

Цель работы: экспериментальное определение работы силы трения при скольжении груза по наклонной плоскости

Методика эксперимента

Внешним трением называется взаимодействие между соприкасающимися телами, препятствующее их относительному перемещению. Если соприкасающиеся тела неподвижны друг относительно друга, говорят о трении покоя. Если же происходит относительное перемещение этих тел, то в зависимости от характера их относительного движения говорят о трении скольжения, качения или верчения.

Рассмотрим брусок массы m_1, находящийся на наклонной плоскости с углом наклона α (рис. 1).

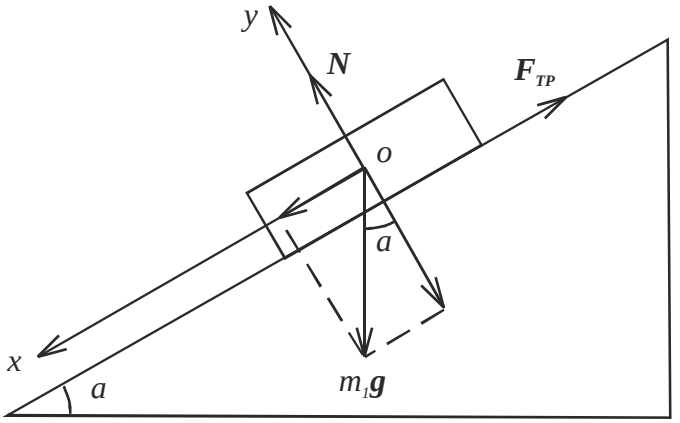

Рис. 1

На брусок действуют: сила тяжести $m_1\boldsymbol{g}$, сила реакции опоры $\boldsymbol{N}$ и сила трения $\boldsymbol{F}_{TP}$ (здесь и далее жирным шрифтом обозначены векторные величины, обыкновенным – их модули). В состоянии покоя бруска:

$$m_1\boldsymbol{g} + \boldsymbol{N} + \boldsymbol{F}_{TP.ПОК} = 0, \quad (1)$$

где $\boldsymbol{F}_{TP.ПОК}$ - сила трения покоя.

В проекции на оси x,y уравнение (1) имеет вид

$$\begin{cases} m_1 g \sin\alpha - F_{\text{ТР·ПОК}} = 0 \\ N - m_1 g \cos\alpha = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Отсюда следует

$$F_{\text{ТР·ПОК}} = m_1 g \sin\alpha. \quad (3)$$

В момент начала соскальзывания бруска сила трения покоя принимает значение, равное силе трения скольжения:

$$F_{\text{ТР.ПОК}} = F_{\text{ТР.СК}}. \quad (4)$$

Согласно закону Амонта и Кулона, установленному опытным путем:

$$F_{TP.CK} = \mu N, \quad (5)$$

где μ – коэффициент трения скольжения.

Учитывая (2), имеем

$$F_{TP.CK} = \mu m g \cos\alpha \cdot \quad (6)$$

Тогда из уравнений (3)-(6) получаем

$$\mu = tg\alpha, \quad (7)$$

где μ - коэффициент трения, определяющий предельный угол равновесия тела на

наклонной плоскости. Обозначим этот угол через α_0.

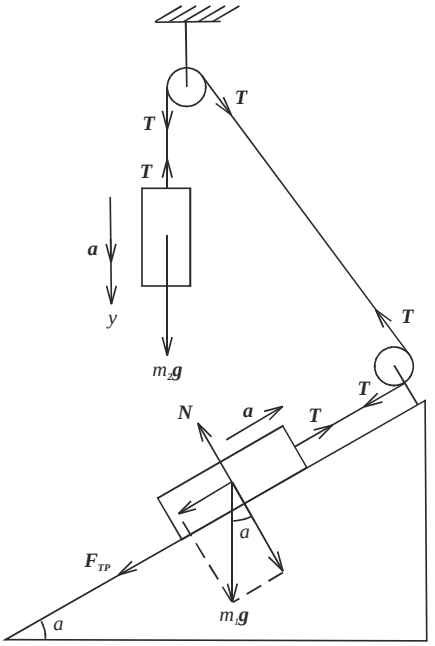

Рис. 2

Рассмотрим движение бруска массы m_1 вверх по наклонной плоскости (рис. 2). Для этого к бруску привяжем невесомую и нерастяжимую нить, другой конец которой перекинем через два неподвижных блока и прикрепим к грузу массы m_2.Кроме указанных выше сил на бруски действует также сила натяжения нити $\boldsymbol{T}$.

На длине пути ℓ брусок массы m_1 , двигаясь с начальной нулевой скоростью, приобретает скорость υ. Зная эту скорость и длину пути ℓ, можно, пользуясь теоремой об изменении кинетической энергии тела, определить работу, совершаемую силой трения.

Согласно этой теореме работа всех сил, приложенных к телу, идет на изменение его кинетической энергии при перемещении из начального положения в конечное:

$$W_{K2} - W_{K1} = A_{mg} + A_N + A_T + A_{TP}, \qquad (8)$$

где $W_{K2} = \frac{m_1 \upsilon^2}{2}, W_{K1} = 0$ - кинетические энергии бруска m_1; $A_{mg} = -m_1 g \ell \sin\alpha$ - работа силы тяжести; $A_N = 0$ - работа силы реакции опоры; $A_T = T\ell$ - работа силы натяжения нити; A_{TP} - работа силы трения.

Для груза массы m_2 второй закон Ньютона в проекции на ось y имеет вид

$$m_2 a = m_2 g - T, \qquad (9)$$

где a – ускорение грузов m_1 и m_2.

Зная высоту h и время спуска t груза m_2, можно определить его ускорение

$$h = \frac{at^2}{2} \qquad \text{или} \qquad a = \frac{2h}{t^2}. \qquad (10)$$

Скорость бруска m_1 в конце пути ℓ равна

$$\upsilon = at. \qquad (11)$$

С учетом (9)-(11) уравнение (8) принимает вид

$$m_1 \frac{2h^2}{t^2} = -m_1 g\ell \sin\alpha + A_{\text{ТР}} + \left(m_2 g - m_2 \frac{2h}{t^2} \right)\ell \qquad (12)$$

Отсюда следует, учитывая $\ell = h$, экспериментальное значение работы сила трения

$$A_{\text{ТР}} = \frac{2\ell^2}{t^2}(m_1 + m_2) + (m_1 \sin\alpha - m_2)g\ell . \qquad (13)$$

Теоретическое значение работы силы трения с учетом (6) равно

$$A_{\text{ТР}}^{\text{ТЕОР}} = F_{TP.CK}\,\ell \cos 180^0 = -\mu m_1 g\ell \cos\alpha . \qquad (14)$$

Описание экспериментальной установки

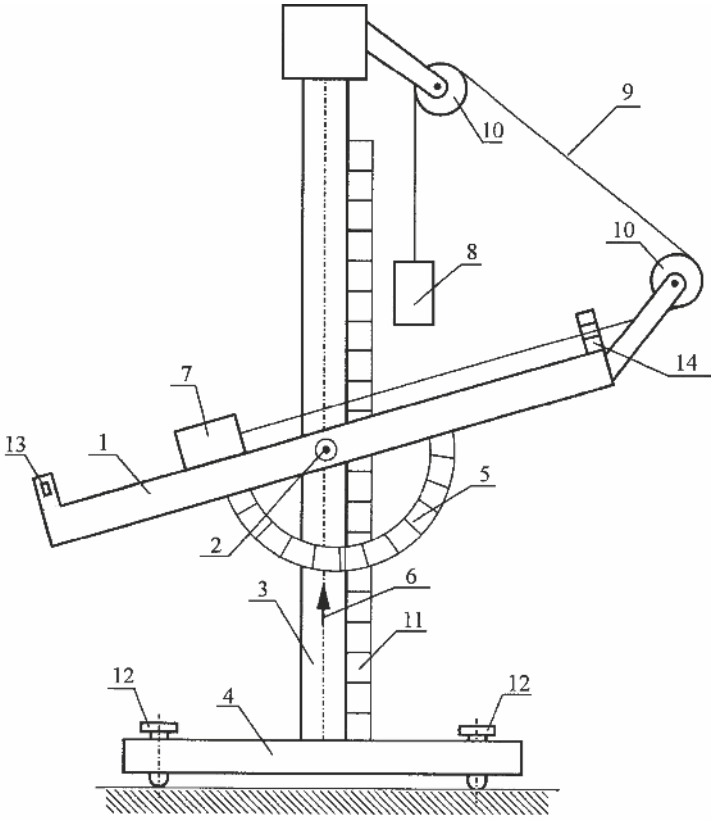

Рис. 3

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3. Наклонная плоскость 1 изготовлена из трубы прямоугольного сечения, которая с помощью винтового зажима 2 крепится на вертикальной стойке 3, жестко связанной с массивной опорой 4. Наклонная плоскость 1 может поворачиваться относительно горизонтальной оси и фиксироваться зажимом 2. Угол наклона наклонной плоскости к горизонту определяется по угловой шкале 5 с помощью стрелки 6, закрепленной на стойке 3. Брусок 7 связан нитью 9 с грузом 8. Связь бруска и груза посредством нити осуществляется с помощью системы блоков 10. На стойке 3 закреплена вертикальная линейка 11 с миллиметровой шкалой, служащая для измерения перемещения груза 8. Регулировочные винты 12 служат для установки опоры 4 в горизонтальном положении. Захват 13 предназначен для удержания системы грузов в исходном состоянии и для ее запуска. Стопор 14 служит для ограничения движения грузов.

Порядок выполнения работы

1. Поставьте на наклонную плоскость брусок массы m_1. Медленно увеличивайте угол при основании наклонной плоскости и определите такое его значение, при котором брусок начинает соскальзывать. Значение этого угла α_0 занесите в табл. 1. Проделайте этот опыт 5 раз.

Таблица 1

n	α_0	$<\alpha_0>$	$<\mu>$
1			
2			
3			
4			
5			

2. Установите наклонную плоскость под углом α (в пределах $15^0 \le \alpha \le 30^0$) и закрепите ее с помощью винтового зажима 2.

3. Поставьте на наклонную плоскость брусок массы m_1 и свяжите его нитью через систему блоков с грузом массы m_2.

4. Приведите систему грузов в начальное положение. Для этого сместите брусок массы m_1 налево так, чтобы он был закреплен в захвате 13.

5. Измерьте начальное положение y_1 нижнего торца груза массы m_2 по шкале линейки 11. Приведите систему грузов в движение нажатием на захват 13. Движение начинается с одновременным включением секундомера, который выключается при достижении бруска массы m_1 верхнего положения на наклонной плоскости. Затем измерьте конечное положение y_2 нижнего торца груза массы m_2 по шкале линейки 11.

6. Запишите следующие параметры установки: $m_1 =$ *кг;* $m_2 =$ *кг;* $\alpha =$ ^{0}; $y_1 =$ *м;* $y_2 =$ *м;* $\ell = h = y_1 - y_2 =$ *м.*

7. Проведите 10 раз опыт по измерению времени движения бруска массы m_1 по наклонной плоскости. Данные занесите в табл. 2.

Таблица 2

n	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	$<t>$
t, c											

Обработка результатов измерений

Обработку результатов и построение графиков выполнять, используя программу Exel.

1. Заполните таблицы 1,.2. Рассчитайте $<\alpha_0>$, $<\mu> = tg<\alpha_0>$, $<t>$.
2. По формуле (13) рассчитайте экспериментальное значение $\langle A_{TP} \rangle$

$$\langle A_{TP} \rangle = \frac{2\ell^2}{\langle t \rangle^2}(m_1 + m_2) + (m_1 \sin\alpha - m_2) g\ell .$$

3. Рассчитайте стандартную (среднеквадратичную) погрешность S_{ATP}

$$S_{ATP} = 2\sqrt{\left(\frac{S_\ell}{\ell}\right)^2 + \left(\frac{S_t}{\langle t\rangle}\right)^2},$$

где

$$S_\ell = 1\ мм,\ \ S_t = \sqrt{\frac{\sum_i \left(t_i - \langle t\rangle\right)^2}{n(n-1)}},$$

где n – число измерений.

4. Окончательный результат представьте в виде $A_{TP} = \langle A_{TP}\rangle \pm t_{n-1,P} S_{ATP}$, где $t_{n-1,P}$ - коэффициент Стьюдента, значение которого берется из справочной таблицы.
5. Рассчитайте по (14) теоретическое значение работы силы трения.
6. Сравните полученные значения $\langle A_{TP}\rangle$ и A_{TP}^{TEOP} и сделайте вывод..

Контрольные вопросы

1. В чем состоит различие между понятиями энергии и работы? Какие существуют виды механической энергии? Дайте их определения.
2. Для каких систем справедлив закон сохранения механической энергии и как он формулируется?
3. Приведите примеры консервативных и диссипативных сил.
4. Объясните методику определения работы силы трения. Выведите формулы (13) и (14).