

ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИЗМЕРЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МАХОВОГО КОЛЕСА И СИЛЫ ТРЕНИЯ В ОПОРЕ»

Танкевич А.Ю., Лукашик А.В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь

Широчин С.В. – ведущий инженер

Чаевский В.В. – канд. физ.-мат. наук, доцент

Аннотация. Проанализирован традиционный подход к выполнению лабораторной работы “Измерение момента инерции махового колеса и силы трения в опоре”, отмечены его основные недостатки, а также предложен и реализован новый подход к ее проведению.

Ключевые слова. Маховое колесо, лабораторная работа, механика, вращательное движение.

Цель работы

Определить момент инерции махового колеса относительно оси с помощью вычислений и экспериментально, используя два подхода (традиционный и оптимизированный) к выполнению лабораторной работы, и сравнить полученные результаты.

Результаты работы

На рисунке 1 показано, что лабораторная установка состоит из махового колеса (1) в виде цилиндра и шкива (2), насаженных на вал (3), который установлен в опорные стойки (4). Один конец нити (5) прикреплен к шкиву, на который она может наматываться, а к другому концу нити подвешен груз (6). Положение груза определяется с помощью вертикальной линейки (7).

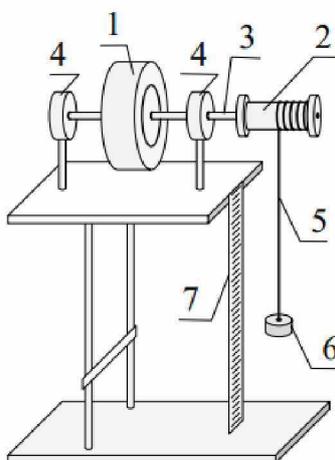


Рисунок 1 – Лабораторная установка

Измерения параметров махового колеса представлены на рисунке 2 и в таблице 1.

Традиционный подход к выполнению эксперимента.

Рисунок 3 показывает, что если намотать нить на шкив, а груз поднять на высоту h_1 от наиболее низкого его положения (когда нить полностью размотана) и отпустить, то груз начнет равноускоренно двигаться вниз. При этом маховое колесо вместе со шкивом будет вращаться вокруг оси. После достижения грузом наиболее низкого положения (при полном сматывании нити со шкива) маховое колесо продолжает вращаться по инерции. Вследствие этого нить начинает наматываться на шкив, а груз двигаться вверх, поднимаясь к моменту первой остановки всей системы на высоту h_2 . На систему действуют внешние силы тяжести, реакции опоры и трения в опорных стойках вала [1]. При движении системы считается, что силы сопротивления воздуха и внутренние неконсервативные силы, а также моменты инерции шкива и вала относительно оси вращения пренебрежимо малы.

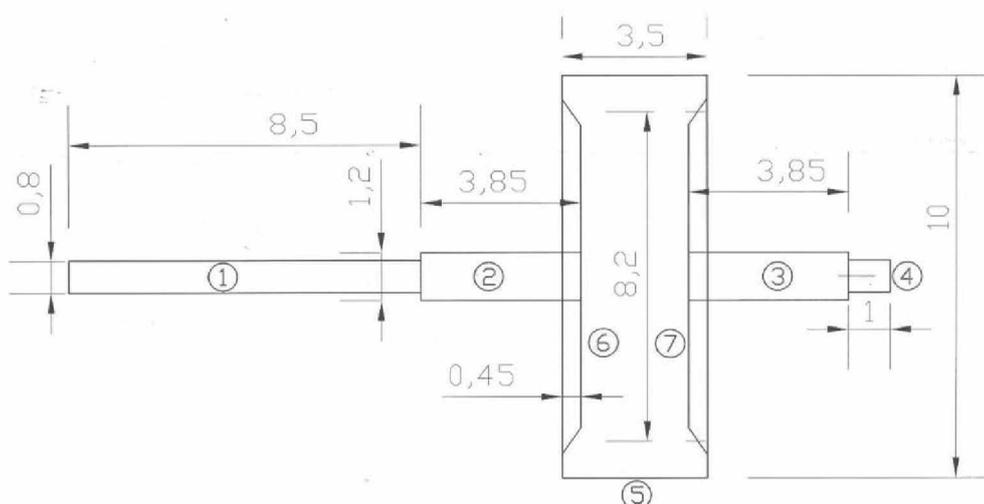


Рисунок 2 – Измерения параметров махового колеса: 1 – цилиндр диаметром 0,8 см; 2 – цилиндр диаметром 1,2 см; 3 – цилиндр диаметром 1,2 см; 4 – цилиндр диаметром 0,8 см; 5 – цилиндр диаметром 10 см; 6 – мнимый цилиндр диаметром 0,45 см; 7 – мнимый цилиндр диаметром 0,45 см.

Таблица 1 – Параметры махового колеса.

	$V_i, \text{ м}^3$	$V, \text{ м}^3$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$r, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$M_i, \text{ кг}$	$M, \text{ кг}$	$I_i, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$	$I, \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
1	$4,27257 \cdot 10^{-6}$	$2,93 \cdot 10^{-4}$	7800	0,004	0,085	0,03332601	1,8785	0,0000002666	0,00237
2	$4,35425 \cdot 10^{-6}$		7800	0,006	0,0385	0,03396313		0,0000006113	
3	$4,35425 \cdot 10^{-6}$		7800	0,006	0,0385	0,03396313		0,0000006113	
4	$5,02655 \cdot 10^{-6}$		7800	0,004	0,01	0,00392071		0,0000000314	
5	0,000274889		7800	0,050	0,035	2,14413699		0,0026801712	
6	$2,37646 \cdot 10^{-6}$		7800	0,041	0,0045	-0,18536371		-0,0001557982	
7	$2,37646 \cdot 10^{-6}$		7800	0,041	0,0045	-0,18536371		-0,0001557982	

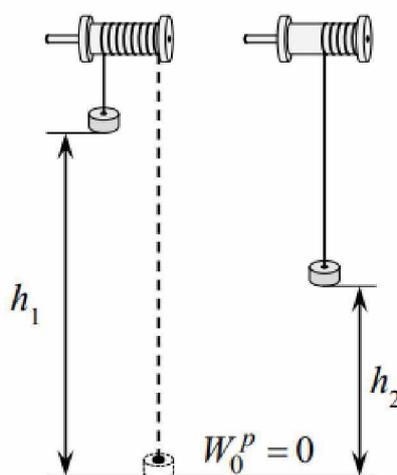


Рисунок 3 – Схематическое изображение эксперимента

Проведя данный эксперимент с грузами различной массы, получаются результаты измерений и значения момента инерции, которые вычисляются по формуле (1) [2] и представлены в таблице 2.

$$I = \frac{md^2}{4} \cdot \left(\frac{gh^2}{h^2(h^2+h^1)} - 1 \right). \quad (1)$$

Таблица 2 – Результаты традиционного подхода к измерению момента инерции махового колеса.

m, кг	h ₁ , м	h ₂ , м	t, с	I, кг·м ²
0,145	0,830	0,560	5,203	0,00185273
0,175	0,835	0,585	4,825	0,00186811
0,205	0,840	0,610	4,283	0,00190445

Оптимизированный подход к выполнению эксперимента.

На рисунке 4 показано, что в новом подходе к конструкции лабораторной установки добавляется столик на высоте 810 мм от верхнего положения груза. На столике установлено устройство измерения времени (частотомер) движения груза, оно запускается вручную при отпускании махового колеса и останавливается в момент достижения грузом столика, т. к. груз нажимает кнопку остановки, которая показана на рисунке 5.

Выполнив данный эксперимент с грузами различной массы, получаются следующие результаты измерений и значения момента инерции, вычисленные по формуле (2) и представленные в таблице 3.



Рисунок 4 – Конструкция лабораторной установки (а), механизм запуска и остановки устройства измерения времени движения груза (б)

$$\begin{cases} m_1gh = \frac{m_1v_1^2}{2} + \frac{I\omega_1^2}{2} + F_{тр1}h \\ m_2gh = \frac{m_2v_2^2}{2} + \frac{I\omega_2^2}{2} + F_{тр2}h \end{cases}, (2)$$

где $v_i^2 = \frac{4h_i^2}{t^2}$; $\omega_i^2 = \frac{4h_i^2}{r^2t^2}$; $F_{тр} = k_{тр}(Mg + m_i(g - a))$, т. к. $m_i \ll M \Rightarrow F_{1тр} \approx F_{2тр}$.

Поэтому, отнимая одно уравнение от второго в формуле (2), получаем:

$$g(m_1 - m_2) = 2h\left(\frac{m_1}{t_1^2} - \frac{m_2}{t_2^2}\right) + I \cdot \frac{2h}{r^2} \left(\frac{1}{t_1^2} - \frac{1}{t_2^2}\right). (3)$$

Предлагаемый в данной работе метод определения момента инерции махового колеса основан на использовании закона изменения полной механической энергии системы в поле силы тяжести. В рассматриваемом случае на систему (груз плюс маховик) действуют внешние консервативные силы тяжести и реакции опоры, а также неконсервативные силы сопротивления воздуха и трения в опорных стойках махового колеса. Данный метод определения момента инерции махового колеса пренебрегает работой силы сопротивления воздуха и работой внутренних неконсервативных сил [2].

Таблица 3 – Результаты нового подхода к измерению момента инерции махового колеса.

m, кг	h, м	t, с	I, кг·м ²
-------	------	------	----------------------

0,145	0,81	5,276	0,002364
0,175	0,81	4,794	
0,205	0,81	4,425	

В оптимизированном методе выполнения лабораторной работы улучшена точность измерений времени по сравнению с использованием в традиционном выполнении работы визуальным определением времени, т. к. использовалось устройство с электронным механизмом определения времени запуска и остановки движения груза. Кроме того, фиксация нижнего положения груза в оптимизированном методе выполнения работы является более точной, т. к. груз фиксируется на столике, а не с помощью визуального определение его положения вертикальной линейкой, как в традиционном подходе. Это устраняет ошибки, связанные с неточным определением положения груза.

Заключение

Таким образом, оптимизированный подход к выполнению лабораторной работы более эффективен по сравнению с традиционным методом. Установка столика и электронного устройства измерения времени движения груза, исключение из эксперимента ненормируемых свойств нити позволило повысить точность результатов выполнения лабораторной работы. Это делает оптимизированный подход более надежным и точным для определения момента инерции махового колеса, что подтверждается более близкими к рассчитанным результатами измерений и вычислений его момента инерции.

Список использованных источников:

1. Лабораторный практикум по физике. Раздел «Механика, колебания и волны» для студ. всех спец. БГУИР / Е.Ф. Андреев [и др.] — Мн. : БГУИР, 2003. – 71 с.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики : учебник / И.В. Савельев. – М. : Изд-во Моск. ун-та : Наука, 1988. – Т. 1.– 288 с.