

Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ДИНАМІКИ НА МАШИНІ АТВУДА

Теорія методу та описання експериментальної установки

Машина Атвуда призначена для дослідження законів руху тіл у полі земного тяжіння. Експериментальна установка (рис.1.1) складається з вертикального стояка (1), на верхньому кінці якого закріплено горизонтальну вісь, навколо якої може вільно обертатися легкий блок (5). Через блок перекинута тонка нитка, до кінців якої підвішені тягарці (2) рівних мас m . Якщо на один із тягарців покласти вантаж масою m_0 , то система тягарців виходить із рівноваги і починає прискорено рухатись.

Поступальний рух тягарців і вантажу можна описати за допомогою другого закону Ньютона. Так, для тягарця з вантажем закон Ньютона у проекції на вертикальну вісь можна записати так:

$$(m + m_0)g - T_1 = (m + m_0)a. \quad (1.1)$$

Застосувавши закон Ньютона для тягарця, отримаємо:

$$mg - T_2 = -ma \quad (1.2)$$

У рівняннях (1.1) та (1.2) враховано, що завдяки нерозтяжності нитки прискорення обох тягарців $|a_1| = |a_2| = a$ рівні за абсолютним значенням. Різниця сил натягу ниток T_1 і T_2 створює момент сил, який діє на блок радіуса r . При обертанні блока на нього діє також гальмуючий момент сил тертя M_T . Тоді, застосовуючи основний закон динаміки обертального руху для опису руху блока, отримаємо:

$$(T_1 - T_2)r - M_T = I(a/r), \quad (1.3)$$

де I – момент інерції блока.

З рівнянь (1.1) – (1.3) випливає

$$a = \frac{r(m_0gr - M_T)}{I + (2m + m_0)r^2}. \quad (1.4)$$

Отримана формула значно спрощується у такому випадку, коли можна знехтувати силами тертя при обертанні блока, а також його масою. Тоді

$$a = \frac{m_0g}{2m + m_0}. \quad (1.5)$$

З виразів (1.4) та (1.5) випливає, що при $m_0gr \gg M_T$ рух тягарців відбувається рівноприскорено, а прискорення a за невеликої маси вантажу m_0 виявляється значно меншим за значення g і може бути порівняно просто визначене при вимірах часу проходження тягарцем відстані h :

$$a = 2h / t^2 \quad (1.6)$$

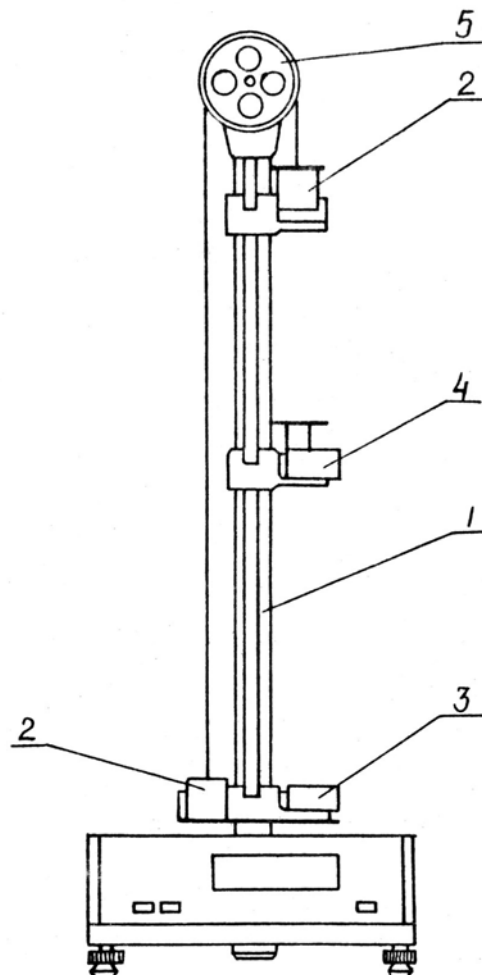


Рис.1.1

Час руху тягарця у даній роботі вимірюється електронним секундоміром, що приводиться у дію при проходженні тягарцем оптичної осі першого фотодатчика /, закріпленого на кронштейні, який можна переміщувати вздовж стояка і фіксувати у будь-якому положенні. Відлік часу припиняється при проходженні тягарцем оптичної осі другого фотодатчика (3), закріпленого на нижньому нерухомому кронштейні. Висота падіння тягарця, яка дорівнює відстані між оптичними осями фотодатчиків, визначається за шкалою, нанесеною на стояку експериментальної установки.

Завдання 1. Визначення прискорення поступального руху тягарця на машині Атвуда

Як було вказано раніше, прискорення тягарця може бути визначене безпосередньо за формулою (1.6), але при цьому необхідно враховувати, що час руху звичайно вимірюється дуже неточно через велику систематичну похибку вимірювань, пов'язану з несинхронним рухом тягарця при вмиканні та вимиканні відліку часу. Для виключення часу несинхронного вмикання секундоміра τ треба виміряти час t_1 опускання тягарця з висоти h_1 та час t_2 опускання тягарця з висоти h_2 . Тоді, використовуючи (1.6), отримаємо:

$$h_1 = \frac{a(t_1 + \tau)^2}{2}; \quad h_2 = \frac{a(t_2 + \tau)^2}{2}.$$

Виключивши із записаних рівностей час τ , отримаємо:

$$a = \frac{2(\sqrt{2h_1} - \sqrt{2h_2})^2}{(t_1 - t_2)^2}. \quad (1.7)$$

Якщо під час виконання експерименту є можливість визначити час t опускання тягарця для кількох значень висоти h , то можна побудувати графік залежності $\sqrt{h} = f(t)$.

Визначивши висоту h з формули (1.6) з врахуванням часу несинхронного вмикання секундоміра τ , отримаємо:

$$\sqrt{h} = \frac{\sqrt{a}(t + \tau)}{2}. \quad (1.8)$$

Як видно з формули (1.8), графік залежності $\sqrt{h} = f(t)$ повинен являти собою пряму лінію (рис.1.2), за кутовим коефіцієнтом $K_a = \frac{\sqrt{a}}{2}$ якого визначається прискорення руху тягарця.

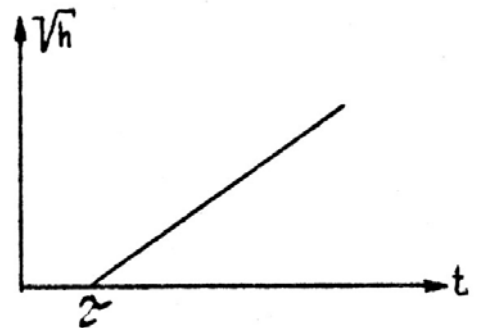


Рис.1.2

Екстраполюючи отриману залежність до перетину з віссю абсцис, можна визначити час несинхронності τ (рис.1.2).

Порядок виконання роботи

1. Переконавшись у тому, що нитка з тягарцями знаходиться у стані байдужої рівноваги, звести систему до початкового положення, опустивши лівий тягарець на гумову підставку, а кронштейн з верхнім фотодатчиком зафіксувати у такому положенні, щоб нижній кінець правого тягарця знаходився безпосередньо над оптичною віссю фотодатчика. Відмітити положення кронштейна за шкалою (значення y_1).

2. Натиснути кнопку "Сеть". При цьому засвічуються лампочки фотоелектричних датчиків та шкала цифрової індикації часу, а також вмикається фрикційне гальмо, яке утримує систему тягарців у початковому положенні.

3. Відмітити положення нижнього кронштейна з фотодатчиком за шкалою (значення y_2).

4. Натиснути кнопку "Сброс". При цьому на шкалі цифрової індикації часу повинні з'явитись нульові покази. На правий тягарець покласти вантаж масою m_0 .

5. Натиснути кнопку "Пуск" і утримувати її у натисненому положенні. При цьому вимикається фрикційне гальмо, система тягарців починає рухатись і за сигналом першого фотоелектричного датчика починається відлік часу. В момент проходження правим тягарцем оптичної осі другого фотодатчика відлік часу припиняється, після чого слід негайно відпустити кнопку "Пуск". Час руху тягарця, зафіксований секундоміром, та висоту падіння тягарця $h = y_1 - y_2$ занести до таблиці 1.1

Таблиця 1.1

№ досліду	y_1 , мм	y_2 , мм	h , м	t , с	\sqrt{h} , м ^{1/2}

6. Натиснувши кнопку "Пуск", повернути систему до початкового положення, відпустити кнопку "Пуск" і натиснути кнопку "Сброс".

7. Повторити вимірювання за пп.5, б для 5-6 положень першого фотодатчика, відповідно змінюючи початкове положення тягарців.

8. Після закінчення експерименту зняти вантаж і відключити установку тумблером "Сеть".

Обробка результатів вимірювань

1. Побудувати графік залежності $\sqrt{h} = f(t)$ і визначити кутовий коефіцієнт K_a .
2. Використовуючи знайдене значення K_a , визначити прискорення руху тягарців за формулою $a = 2K_a^2$.
3. Оцінити похибку результатів вимірювання (за вказівкою викладача).

Контрольні запитання

1. Визначити момент сили та момент імпульсу відносно деякої точки та осі.
2. Записати основний закон динаміки обертального руху.
3. Записати формулу, яка визначає момент інерції. Від чого залежить момент інерції?
4. Розказати про призначення та конструкцію машини Атвуда.
5. Вивести формулу для визначення прискорення руху тягарців.
6. Як експериментально визначити прискорення руху тягарців?
7. Чому графік залежності $\sqrt{h} = f(t)$ може не проходити через початок координат?
8. Як експериментально визначити момент інерції блока машини Атвуда?
9. Як експериментально визначити момент сил тертя у машині Атвуда?