

Лабораторна робота № 2

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

Теорія методу та опис експериментальної установки

Маятник Обербека, призначений для дослідження законів обертального руху, являє собою циліндричну муфту, у яку вгвинчено під прямим кутом один до одного чотири жорсткі стрижні. По цих стрижнях можна переміщувати і закріплювати у потрібному положенні чотири вантажі однакової маси m_0 , що дозволяє змінювати момент інерції системи. На муфту насаджено два шків (4) різних радіусів r_1 та r_2 , на один з яких намотана тонка нитка з закріпленим на кінці тягарцем (1) маси m . В разі руху тягарця m нитка розмотується, а маятник Обербека прискорено обертається (рис.2.1).

Поступальний рух тягарця m можна описати за допомогою другого закону Ньютона, який у проекції на вертикальну вісь можна записати у вигляді

$$mg - T = ma, \quad (2.1)$$

де T - сила натягу нитки.

Обертальний рух маятника Обербека можна описати за допомогою основного рівняння динаміки обертального руху, яке у проекції на горизонтальну вісь, що збігається з віссю блока, можна записати у вигляді

$$Tr - M_T = I(a/r), \quad (2.2)$$

де I - момент інерції маятника Обербека;
 M_T - момент сил тертя; r - радіус шків.

З рівнянь (2.1) та (2.2) отримаємо прискорення a тягарця m

$$a = \frac{r(mgr - M_T)}{I + mr^2} \quad (2.3)$$

Формулу (2.3) можна спростити у тому випадку, коли маса тягарця m значно менше від маси маятника. За цієї умови маємо:

$$a = r(mgr - M_T) / I \quad (2.4)$$

З виразів (2.3) та (2.4) випливає, що за сталого моменту сил тертя M_T , рух тягарця відбувається рівноприскорено і, отже, прискорення a його руху може бути експериментально визначене при вимірах часу t , за який тягарець проходить відстань h :

$$a = 2h / t^2. \quad (2.5)$$

Час руху тягарця у даній роботі вимірюється електронним секундоміром, який приводиться у дію під час проходження тягарцем оптичної осі верхнього фотодатчика (2), закріпленого біля початкового положення тягарця на спеціальному кронштейні. Відлік часу припиняється у разі проходження тягарцем оптичної осі нижнього фотодатчика (5). Висота падіння тягарця визначається за шкалою,

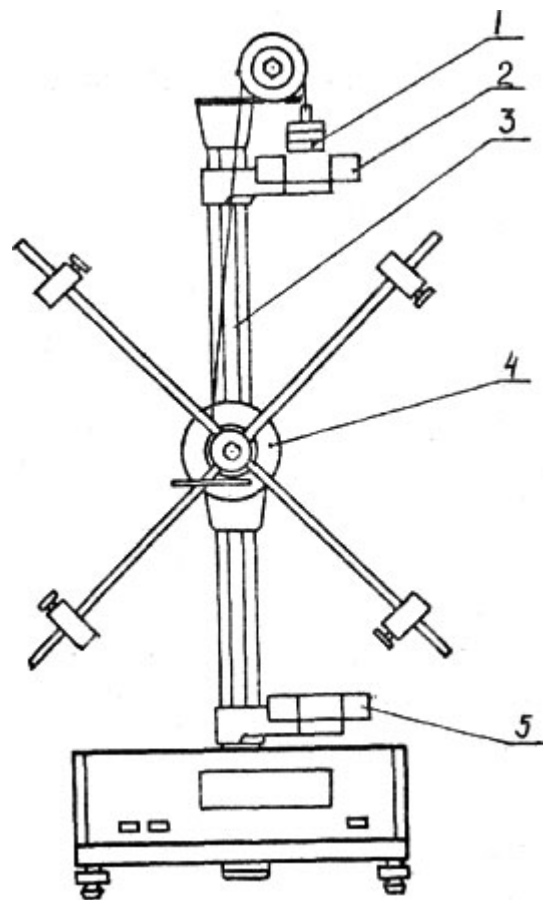


Рис.2.1

нанесеною на стояк (3) експериментальної установки, за різницею положень оптичних осей верхнього та нижнього фотодатчиків.

Завдання 1. Перевірка основного закону динаміки обертального руху та визначення моменту сил тертя маятника Обербека

Як було вказано раніше (2.2), основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла навколо фіксованої осі у випадку маятника Обербека може бути записано у вигляді

$$I\beta = M - M_T, \quad (2.6)$$

де $M = Tr$ - момент сили натягу нитки; $\beta = a/r$ - кутове прискорення. Це означає, що графік залежності $M(\beta)$ повинен являти собою пряму лінію, за кутовим коефіцієнтом K_a якого можна визначити момент інерції I маятника, а по точці перетину графіка з віссю M - момент сил тертя M_T (рис .2. 2).

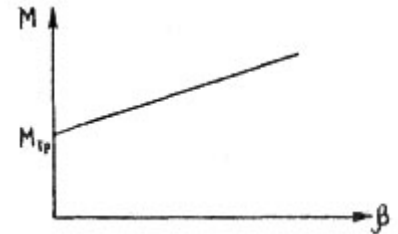


Рис. 2.2

Порядок виконання роботи

1. Встановити вантажі m_0 на однаковій відстані від осі обертання. При цьому маятник повинен знаходитись у стані байдужої рівноваги.
2. Обертаючи маятник проти ходу годинникової стрілки, намотати нитку на шків малого радіуса r_1 , перевівши тягарець m у верхнє положення так, щоб нижній кінець цього тягарця знаходився безпосередньо над оптичною віссю верхнього фотодатчика.
3. Натиснути кнопку "Сеть". При цьому засвічуються лампочки фотоелектричних датчиків та шкала цифрової індикації часу, а також вмикається фрикційне гальмо, яке утримує маятник у заданому положенні.
4. Виміряти відстань h , що її проходить тягарець, як різницю між положеннями оптичних осей верхнього та нижнього фотодатчиків за міліметровою шкалою.
5. Натиснути кнопку "Сброс". При цьому на шкалі цифрової індикації часу повинні з'явитися нульові покази.
6. Натиснути кнопку "Пуск" і утримувати її в натисненому положенні до моменту проходження тягарцем оптичної осі нижнього фотодатчика. Час t руху тягарця, зафіксований секундоміром, радіус шківів r , масу m та висоту h падіння тягарця занести до табл.2.1.
7. Натиснути кнопку "Пуск" і, утримуючи її у натисненому положенні, обернути маятник проти ходу годинникової стрілки до досягнення тягарцем початкового положення, після чого відпустити кнопку "Пуск".
8. Виміряти за пп. 5-7 час t проходження відстані h тягарцем різних мас m , використовуючи шків радіуса r_1 .
9. Повторити вимірювання за пп. 5-8 для шківів більшого радіуса r_2 .
10. Після закінчення експерименту відключити установку тумблером "Сеть".

Обробка результатів вимірювань

- Для кожного виміру обчислити значення кутового прискорення β та моменту сили натягу нитки M :

$$\beta = a / r = 2h / (r \cdot t^2); \quad M = m(g - a) r$$

- Використовуючи отримані результати, побудувати графік залежності моменту сили натягу нитки від кутового прискорення $M(\beta)$ для двох значень радіусів шківів, користуючись яким знайти момент сил тертя та момент інерції системи I .
- Оцінити похибку результатів вимірювань (за вказівкою викладача).

Таблиця 2.1

$r = r_1 =$ (м)							$r = r_2 =$ (м)						
№	$h,$ мм	$m, \text{г}$	$t_1, \text{с}$	$\langle t \rangle,$ с	$\beta,$ $1/\text{с}^2$	$M,$ Н·м	№	$h,$ мм	$m, \text{г}$	$t_1, \text{с}$	$\langle t \rangle,$ с	$\beta,$ $1/\text{с}^2$	$M,$ Н·м

Обробка результатів вимірювань

- Користуючись інструкцією до виконання завдання 1, побудувати в одній системі координат графіки залежностей $M(\beta)$ для виконаних експериментів.
- Зафіксувавши довільне значення кутового прискорення β , за графіками визначити моменти сил натягу нитки M_0 та M_1 , які відповідають зафіксованому значенню β .
- Використовуючи знайдені значення M_0 , M_1 та β , обчислити за (2.7) момент інерції I_B вантажів, які знаходяться на стрижнях маятника Обербека.
- 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. Сформулювати і записати закон збереження моменту імпульсу для системи матеріальних точок.
4. Розказати про призначення та конструкцію маятника Обербека.
5. Як теоретично обчислити момент інерції маятника Обербека?
6. Вивести формулу для визначення прискорення руху тягарця.
7. Як експериментально перевірити основний закон динаміки обертального руху?
8. Як експериментально визначити момент інерції та момент сил тертя маятника Обербека?
9. Як експериментально визначити момент інерції вантажів на стрижнях маятника Обербека?