

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ВИЩОЇ МАТЕМАТИКИ І ФІЗИКИ

## **Методичні вказівки**

до виконання лабораторних робіт  
із навчальної дисципліни «Фізика»

розділ «МЕХАНІКА»

для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки  
денної і заочної форм навчання

ПОКРОВСЬК 2019

УДК 53

М 54

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Фізика», розділ «МЕХАНІКА» для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки денної і заочної форм навчання / [укл. Ю.А. Артеменко, М.М. Власенко]. - Покровськ: ДонНТУ, 2019. - 38 с.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з розділу «МЕХАНІКА» створені з метою кращого засвоєння теоретичного та практичного курсу фізики, набуття студентами навичок експериментальних досліджень та обробки результатів вимірювань.

У кожній роботі вказана мета і завдання, теоретичні відомості, опис експериментальної установки, хід роботи та контрольні запитання.

Укладачі:

Артеменко Ю. А., доц., к.т.н., доц.  
Власенко М. М, доц., к.т.н., доц.

Рецензент

Сергієнко Л. Г., доц., к.т.н., доц.

Відповідальний за випуск  
завідувач кафедри

Медведева М. І., доц., к.ф.-м.н., доц.

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ, протокол №\_\_\_\_.  
від «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_. 2019 р.

Розглянуто на засіданні кафедри вищої математики і фізики, протокол  
№\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2019 р.

ДонНТУ, 2018

## ЗМІСТ

|                                               |    |
|-----------------------------------------------|----|
| Вступ . . . . .                               | 3  |
| Лабораторна робота №1                         |    |
| ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДИХ ТІЛ . . . . .      | 4  |
| Лабораторна робота №2                         |    |
| ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ КІНЕМАТИКИ І ДИНАМІКИ        |    |
| ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ НА МАШИНІ АТВУДА . . . . . | 10 |
| Лабораторна робота №3                         |    |
| ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ЮНГА МЕТОДОМ                |    |
| РОЗТЯГУВАННЯ ДРОТУ . . . . .                  | 16 |
| Лабораторна робота №4                         |    |
| ПРУЖНИЙ ЦЕНТРАЛЬНИЙ УДАР КУЛЬ . . . . .       | 22 |
| Лабораторна робота №5                         |    |
| ВИВЧЕННЯ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ                    |    |
| НА МАЯТНИКУ ОБЕРБЕКА . . . . .                | 27 |
| Лабораторна робота №6                         |    |
| ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА          |    |
| МЕТОДОМ СТРІЧКОВОГО ГАЛЬМА . . . . .          | 33 |
| ЛІТЕРАТУРА . . . . .                          | 38 |

## ВСТУП

Лабораторний практикум є важливою складовою частиною навчального процесу, найефективнішою формою пізнавальної діяльності студентів, оскільки він дає можливість особисто відтворювати і спостерігати більшість явищ, що вивчаються у фізиці, самостійно перевіряти на досліді фізичні закономірності та наслідки з них, а також знайомитися з принципом дії та будовою основних електровимірювальних приладів і найважливішими методами фізичного експерименту. Лабораторний практикум прищеплює навички самостійної дослідницької роботи і технічно грамотного вимірювання фізичних величин, а також унаочнює, поглиблює, розширює і обґрунтовує теоретичний курс предмета. Унаслідок цього здійснюється один з важливих етапів навчання – поєднання теорії з практикою. У цьому навчальному посібнику подано опис лабораторних робіт з механіки. Опис кожної лабораторної роботи включає мету, перелік обладнання, теоретичні відомості, схему установки для проведення експерименту і порядок його виконання, контрольні запитання. Приступаючи до виконання кожного завдання, студент має ознайомитися з метою і порядком виконання лабораторної роботи за матеріалами посібника, вивчити відповідні розділи рекомендованої навчальної літератури та записи на лекціях.

Математична обробка результатів вимірювань, як елемент експерименту, вимагає від студента вмінь і навичок виконання наближених обчислень. Інтерпретація одержаних результатів здійснюється за допомогою теорії, яка була покладена в основу дослідження. Якщо результати досліджень не узгоджуються з теорією, то експеримент треба повторити, проаналізувавши перед цим усі його елементи і послідовність етапів з метою виявлення можливих помилок.

## Лабораторна робота №1

## ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДИХ ТІЛ

Мета роботи – навчитися користуватися вимірювальними інструментами, визначити густину твердого тіла, навчитися розраховувати похибки прямих і непрямих вимірювань.

Прилади й приладдя: електронні ваги, мікромметр, штангенциркуль, вимірюваний циліндричний зразок.

## I. Загальні положення

Густина однорідного тіла – скалярна фізична величина, характеристика речовини, яка кількісно дорівнює масі одиниці об'єму:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Одиниця вимірювання густини в СІ –  $\text{кг/м}^3$ . На практиці часто використовують одиницю густини –  $\text{г/см}^3$ . Співвідношення між одиницями:

$$1 \text{ г/см}^3 = 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

Існують різні методи визначення густини твердих тіл.

1. Метод гідростатичного зважування, в якому тіло спочатку зважують в повітрі, а потім в деякій рідині, густина якої відома. Використовуючи закон Архімеда, розраховують густину тіла.
2. Метод пікнометра, в якому шукану густину визначають за наслідками вимірювання ваги тіла в повітрі і його об'єму за допомогою пікнометра – спеціальної судини з рідиною в яку це тіло занурюється. За підйомом рівня рідини в пікнометрі визначають об'єм тіла.
3. Метод флотації, заснований на тому, що тіло, занурене в рідину, густина якої дорівнює густині тіла, знаходиться в стані байдужої рівноваги. Змінюючи густину рідини (додаванням іншої рідини або зміною температури) до

моменту приведення тіла в зважений стан, вимірюють потім густину цієї рідини (наприклад, ареометром).

4. Метод, заснований на визначенні маси тіла зважуванням, а об'єму – за допомогою розрахунку. Якщо тіло має правильну геометричну форму (паралелепіпед, куля, циліндр і так далі), то об'єм можна розрахувати за геометричними розмірами. Цей метод використовується в даній роботі.

## II. Методика експерименту і обробка результатів вимірювань

Об'єм і густину тіла отримують в результаті непрямих вимірювань, використовуючи прямі вимірювання геометричних розмірів і маси тіла. Маса тіла визначається шляхом зважування на електронних вагах. Якщо тіло має правильну геометричну форму, то вимірюють його лінійні розміри і за відповідною формулою розраховують об'єм. Об'єм циліндра дорівнює:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} . \quad (2)$$

Підставивши (2) в (1), отримаємо формулу для визначення густини:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}, \quad (3)$$

де  $h$  – висота циліндра,  $d$  – його діаметр.

Висоту циліндра вимірюють штангенциркулем, а діаметр – мікрометром. Для урахування не цілком правильної форми тіла повторні вимірювання лінійних розмірів необхідно провести в різних місцях зразка. Значення густини знаходять за формулою (3), підставляючи середні значення діаметра і висоти:

$$\bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n} \quad (4)$$

$$\bar{h} = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \quad (5)$$

При багаторазовому вимірюванні однієї й тієї ж величини повна похибка прямого вимірювання містить приладову  $\Delta x_{\text{пр}}$  і випадкову  $\Delta x_{\text{вип}}$  похибку вимірювання. Визначається вона таким чином:

$$\Delta x = \sqrt{x_{\text{пр}}^2 + x_{\text{вип}}^2}$$

Випадкові похибки вимірювань висоти і діаметра циліндра дорівнюють відповідно:

$$\Delta h_{\text{вип}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{h}}, \quad (6)$$

де

$$S_{\bar{h}} = \sqrt{\frac{(h_1 - \bar{h})^2 + (h_2 - \bar{h})^2 + \dots + (h_n - \bar{h})^2}{n(n-1)}},$$

і

$$\Delta d = t_{\alpha, n} \cdot S_{\bar{d}}, \quad (7)$$

де

$$S_{\bar{d}} = \sqrt{\frac{(d_1 - \bar{d})^2 + (d_2 - \bar{d})^2 + \dots + (d_n - \bar{d})^2}{n(n-1)}}.$$

Тут  $h_i$  і  $d_i$  – значення висоти і діаметра, що отримані при  $i$ -му вимірюванні,  $t_{\alpha, n}$  – коефіцієнт Стюдента, який відповідає  $n$  вимірюванням при надійності  $\alpha$ .

Повна похибка прямого вимірювання дорівнює:

$$\Delta h = \sqrt{\Delta h_{\text{вип}}^2 + \Delta h_{\text{пр}}^2} \quad (8)$$

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_{\text{вин}}^2 + \Delta d_{\text{вин}}^2} \quad (9)$$

Приладова похибка штангенциркуля і мікрометра дорівнює половині ціни поділку ноніуса кожного приладу. Приладова точність електронних ваг дорівнює половині значення останнього розряду показчика ваг.

Результати прямих вимірювань записують у вигляді:

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (\bar{m} \pm \Delta m), \text{ г}$$

Густина тіла, що обчислюється за формулою (3), є функцією трьох змінних  $\rho = f(m, d, h)$ . Тому абсолютну похибку визначення густини  $\Delta \rho$  розраховують за формулою:

$$\Delta \rho = \bar{\rho} \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{\bar{h}}\right)^2 + 4\left(\frac{\Delta m}{\bar{m}}\right)^2} \quad (10)$$

Остаточний результат записують у вигляді:

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho), \text{ кг/м}^3.$$

Відносна похибка вимірювань дорівнює

$$\varepsilon = \frac{\Delta \rho}{\bar{\rho}}, \% \quad (11)$$

### III. Порядок виконання роботи

1. Визначити масу тіла, зваживши його на вагах один раз. Результат занести в таблицю. Записати приладову похибку вимірювання маси.
2. Виміряти штангенциркулем висоту циліндра 5 разів у різних місцях. Результати занести в таблицю. Записати ціну поділку штангенциркуля.
3. Виміряти мікрометром діаметр циліндра 5 разів в різних місцях. Результати занести в таблицю. Записати ціну поділку мікрометра.
4. Знайти середні значення діаметра  $d$  і висоти  $h$  за формулами (4) і (5).

5. Обчислити середнє значення густини  $\rho$  тіла за формулою (3) по середніх значеннях маси, висоти, діаметра.
6. Обчислити випадкову складову абсолютної похибки вимірювань висоти і діаметра циліндра за формулами (6) і (7).
7. Обчислити повну похибку вимірювань висоти і діаметра циліндра за формулами (8) і (9). Обчислити за формулою (10) абсолютну і за формулою (11) відносну похибку непрямого вимірювання густини.
8. Записати отримані результати прямих і непрямих вимірювань у стандартному вигляді.

$$h = (\bar{h} \pm \Delta h), \text{ мм}$$

$$d = (\bar{d} \pm \Delta d), \text{ мм}$$

$$m = (\bar{m} \pm \Delta m), \text{ г}$$

$$\rho = (\bar{\rho} \pm \Delta \rho), \text{ кг/м}^3$$

Контрольні питання:

*(відповіді надати у письмовому вигляді)*

1. Дайте визначення густини.
2. Від чого залежить густина тіла?
3. Які вимірювання називаються прямими, які – непрямыми?
4. Як визначається надійний інтервал прямих вимірювань?
5. Які існують методи визначення густини?
6. Вкажіть, вимірювання якої величини вносить найбільший внесок у похибку.
7. Користуючись довідковими таблицями, визначите можливий матеріал зразка. Зробіть висновок за наслідками роботи.

## ПРОТОКОЛ

вимірювань до лабораторної роботи №1

Виконав(ла) \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

Ціна поділку приладів:

Штангенциркуль  $C_{шт} =$  \_\_\_\_\_Мікрометр  $C_m =$  \_\_\_\_\_Електронні ваги  $C_{ваг} =$  \_\_\_\_\_

| №<br>п/п | $m$ ,<br>г | $h$ ,<br>мм | $d$ ,<br>мм | $\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> | $\Delta\rho$ ,<br>кг/м <sup>3</sup> |
|----------|------------|-------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1        |            |             |             |                               |                                     |
| 2        |            |             |             |                               |                                     |
| 3        |            |             |             |                               |                                     |
| 4        |            |             |             |                               |                                     |
| 5        |            |             |             |                               |                                     |
| середнє  |            |             |             |                               |                                     |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## Лабораторна робота №2

# ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ КІНЕМАТИКИ І ДИНАМІКИ ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ НА МАШИНІ АТВУДА

Мета роботи – дослідити закони рівноприскореного руху тіл, перевірити другий закон Ньютона.

Прилади і приладдя: машина Атвуда, електронний секундомір.

## I. Загальні положення

Для дослідження закону руху тіл у полі земного тяжіння використовується машина Атвуда. Її механічна система складається з двох вантажів однакової маси  $m$ , які підвішені до кінців невагомої і нерозтяжної нитки, що перекинута через блок з малою масою. Отже, система знаходиться в рівноважному стані. На правий вантаж помістимо перевантаження масою  $\Delta m$ . Напишемо рівняння руху обох вантажів (моментом сил тертя знехтуємо), користуючись другим законом Ньютона.

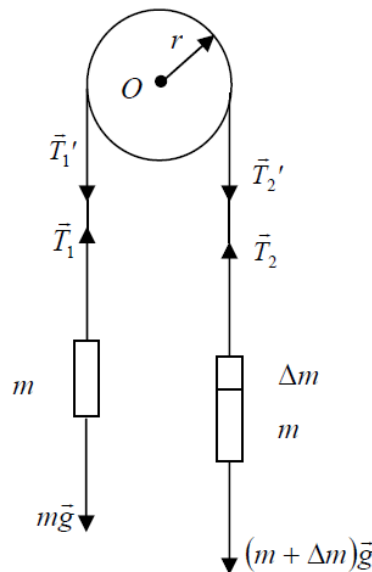


Рисунок 1 – Схематичне зображення машини Атвуда

$$(m + \Delta m) \cdot g - T_2 = (m + \Delta m) \cdot a, \quad (1)$$

$$mg - T_1 = -ma, \quad (2)$$

Оскільки нитка нерозтяжна, то прискорення вантажів рівні за абсолютною величиною і протилежні за напрямком. При невагомому блоці натяги нитки  $T_1$  і  $T_2$  однакові:

$$T_1 = T_2, \quad (3)$$

З виразів (1), (2) і (3) одержимо

$$a = \frac{\Delta m \cdot g}{2m + \Delta m}, \quad (4)$$

## II. Опис експериментальної установки

Машина Атвуда (рис. 2) складається з вертикального стояка 1 з сантиметровою шкалою. У верхній частині стояка кріпиться легкий блок 2, який обертається з незначним тертям. Через блок перекинута тонка нитка з прикріпленими вантажами 3, маси яких можна змінювати, використовуючи набір додаткових тягарців, маси яких на них вказані. Також у верхній частині стояка закріплено електромагнітне гальмо 4 необхідне для фіксації початкового положення вантажів.



Рисунок 2 - Машина Атвуда

У нижній частині стояка розташований фотодатчик 5, який використовується для вимірювання часу руху вантажів. Початкове положення вантажів відзначають за допомогою візира 6.

Для управління роботою установки є спеціальний електронний блок 7.

### III. Порядок виконання роботи

#### *Завдання 1. Дослідження закону рівноприскореного руху.*

Рівноприскореним називається рух, при якому значення прискорення з часом не змінюється. Для рівноприскореного руху залежність пройденого шляху від часу має вигляд:

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Якщо  $v_0 = 0$ , то

$$S = \frac{at^2}{2}$$

1. Встановити вантажі однакової маси  $m=150$  г на ліву та праву частини машини Атвуда за допомогою набору тягарців. У цьому разі система буде у стані рівноваги.
2. На правий вантаж помістити перевантаження масою  $\Delta m = 1 \dots 3$  г.
3. Увімкніть електронний блок за допомогою вимикача «СЕТЬ» на задній панелі приладу.
4. Натисніть кнопку «СБРОС» та встановіть лівий вантаж у верхнє положення. Визначте положення нижньої частини вантажу за допомогою візиру.
5. Натисніть кнопку «СТОП», при цьому, вантажі фіксуються електромагнітним гальмом.
6. Встановіть фотодатчик на 10 см нижче вантажу (відстань, яку пройде вантаж,  $S = 10$  см) та натисніть кнопку «ПУСК». Вантаж буде рухатись униз і фотодатчик зафіксує час руху  $t$ . Занесіть результат вимірювань в таблицю.
7. Повторіть дослід не менше 5 разів, опускаючи кожного разу фотодатчик на 5

см вниз, тобто збільшуючи  $S$ .

8. Побудувати графік залежності

$$S = f\left(\frac{t^2}{2}\right) /$$

9. Використовуючи графік, розрахувати експериментальне значення прискорення  $a_{\text{експ.}}$ , як тангенс кута нахилу прямої (див. «Вступ до фізичного практикуму»).

10. Обчислити теоретичне значення прискорення  $a_{\text{теор}}$  за формулою (4).

11. Порівняти  $a_{\text{експ}}$  і  $a_{\text{теор}}$ . Зробити висновок.

### *Завдання 2. Перевірка другого закону Ньютона*

Згідно з другим законом Ньютона, добуток маси  $m$  тіла на його прискорення  $a$  дорівнює рівнодіючій всіх сил, що діють на тіло:

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad (5)$$

Прискорення  $a$  надається системі силою тяжіння перевантаження:

$$\Delta m \cdot g = F, \quad (6)$$

Лінійна залежність прискорення  $a$  системи від сили тяжіння  $F$  перевантаження повинне підтвердити правильність другого закону Ньютона.

1. Встановити вантажі однакової маси  $m = 150$  г. на ліву та праву частини машини Атвуда. У цьому разі система буде у стані рівноваги.
2. На правий вантаж помістити перевантаження масою  $\Delta m = 1$  г.
3. Увімкніть електронний блок за допомогою вимикача «СЕТЬ» на задній панелі.
4. Натисніть кнопку «СБРОС» та встановіть лівий вантаж у верхнє положення. Відзначте положення нижньої частини вантажу на шкалі стояка за допомогою візиру.
5. Натисніть кнопку «СТОП», при цьому вантажі фіксуються електромагнітним гальмом.
6. Встановіть фотодатчик у нижнє положення та натисніть кнопку «ПУСК».

Вантаж буде рухатись униз і фотодатчик зафіксує час руху. Занесіть результат вимірювань (час  $t$ , за який вантаж пройшов відстань  $S$ ) в таблицю.

7. Повторіть дослід 5 разів, кожного разу збільшуючи масу перевантаження на 1 г за допомогою тягарців (відстань  $S$  залишається постійною).
8. Обчислити прискорення  $a$  за результатами кожного дослід.
9. Розрахувати силу  $F$  за формулою (6).
10. Побудувати графік залежності прискорення від сили:  $a = f(F)$ . Зробити висновок.

### Контрольні питання

*(відповіді надати у письмовому вигляді)*

1. Який рух називається рівномірним? Запишіть формулу залежності шляху від часу для цього руху.
2. Який рух називається рівноприскореним? Запишіть формулу залежності шляху від часу для цього руху.
3. Сформулюйте другий закон Ньютона. Запишіть формулу.
4. Поясніть, чому графік  $a = f(F)$  не проходить через початок координат.
5. Порівняйте отримані експериментально графіки з теоретичною залежністю.
6. Зробіть висновок за наслідками роботи.

ПРОТОКОЛ  
вимірювань до лабораторної роботи №2

Виконав(ла) \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

Завдання 1

Маса основного вантажу  $m =$  \_\_\_\_\_

Маса перевантаження  $\Delta m =$  \_\_\_\_\_

| №<br>п/п | $S$ ,<br>см | $t$ ,<br>с | $t^2/2$ ,<br>с <sup>2</sup> |
|----------|-------------|------------|-----------------------------|
| 1        |             |            |                             |
| 2        |             |            |                             |
| 3        |             |            |                             |
| 4        |             |            |                             |
| 5        |             |            |                             |

Завдання 2

| №<br>п/п | $S$ ,<br>см | $\Delta m$ ,<br>г | $t$ ,<br>с | $a$ ,<br>см/с <sup>2</sup> | $F$ ,<br>Н |
|----------|-------------|-------------------|------------|----------------------------|------------|
| 1        |             |                   |            |                            |            |
| 2        |             |                   |            |                            |            |
| 3        |             |                   |            |                            |            |
| 4        |             |                   |            |                            |            |
| 5        |             |                   |            |                            |            |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## Лабораторна робота №3

ВИЗНАЧЕННЯ МОДУЛЯ ЮНГА МЕТОДОМ  
РОЗТЯГУВАННЯ ДРОТУ

Мета роботи - дослідити залежність подовження сталевго дроту від прикладеного навантаження, визначити модуль поздовжньої пружності.

Прилади й приладдя: лабораторна дослідна установка ФМ-20, набір вантажів, індикатор годинникового типу, мікромметр.

## I. Теоретичні відомості

Під дією зовнішніх сил тверде тіло змінює свою форму - деформується. Отже *деформація* – це зміна форми та розмірів тіла внаслідок дії зовнішніх сил. Якщо після припинення дії прикладених сил тіло знову приймає первинну форму, то така деформація називається пружною, а тіло - пружним. Якщо ж деформація зникає не повністю, то ця деформація, яка залишається після припинення дії сил, називається залишковою, а тіло - пластичним.

Розрізняють деформацію абсолютну

$$\Delta l = l - l_0 \quad (1)$$

і відносну

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\% \quad (2)$$

де  $l_0$  - вихідна довжина дроту;

$l$  - довжина дроту під дією вантажу.

Закон Гука: *механічне напруження, яке виникає в тілі, прямо пропорційне відносній деформації.*

$$\sigma = E\varepsilon \quad (3)$$

де  $E$  – модуль Юнга, а  $\sigma$  - механічне напруження, яке визначається зі співвідношення

$$\sigma = \frac{F_{np}}{S} \quad (4)$$

де  $F_{np}$  - сила пружності, що виникає всередині тіла, а  $S$  - площа поперечного перерізу тіла.

Фізичний зміст модуля Юнга: модуль Юнга кількісно дорівнює механічному напруженню, яке виникає в тілі, при  $\varepsilon = 1$ .

Таких великих деформацій, окрім гуми, не витримують жодні матеріали. Залізні стрижні, наприклад, руйнуються при  $\sigma$ , рівних приблизно  $0,002E$ .

Модуль Юнга характеризує пружні властивості матеріалу.

Залежність нормального напруження  $\sigma$  від відносного подовження  $\varepsilon$  зображена на рис. 1. При малих деформаціях ( $\varepsilon$  змінюється від 0 до  $\varepsilon_{\text{пл}}$ ) на графіку спостерігається лінійна ділянка ОА. Максимальне напруження  $\sigma_{\text{пл}}$ , відповідне до цієї ділянки, називається межею пропорційності. Межа пружності  $\sigma_{0,2}$  - це максимальне напруження, при якому ще зберігаються пружні властивості тіла.

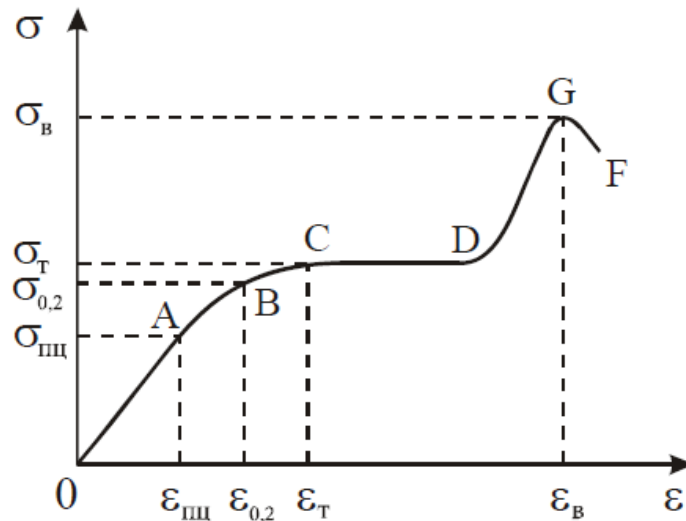


Рисунок 1 – Крива деформації твердого тіла

На ділянці АВ деформація нелінійна, але ще пружна. Звичайно ця ділянка дуже мала:  $\sigma_{0,2}$  більше  $\sigma_{\text{пл}}$  на частки відсотків. При напруженнях, більших  $\sigma_{0,2}$ , деформація стає пластичною: у тілі після зняття навантаження спостерігається залишкова деформація  $\varepsilon_T$ . При напруженнях  $\sigma_T$  подовження

зростає практично без збільшення напруження. Це область плинності матеріалу (ділянка CD). На ділянці DG відбувається деяке зміцнення матеріалу. Після досягнення максимального значення  $\sigma_b$  - межі міцності - напруження різко зменшується, і матеріал руйнується (точка F на графіку).

## II. Опис дослідної установки

Зовнішній вид дослідної установки приведений на рис. 2.

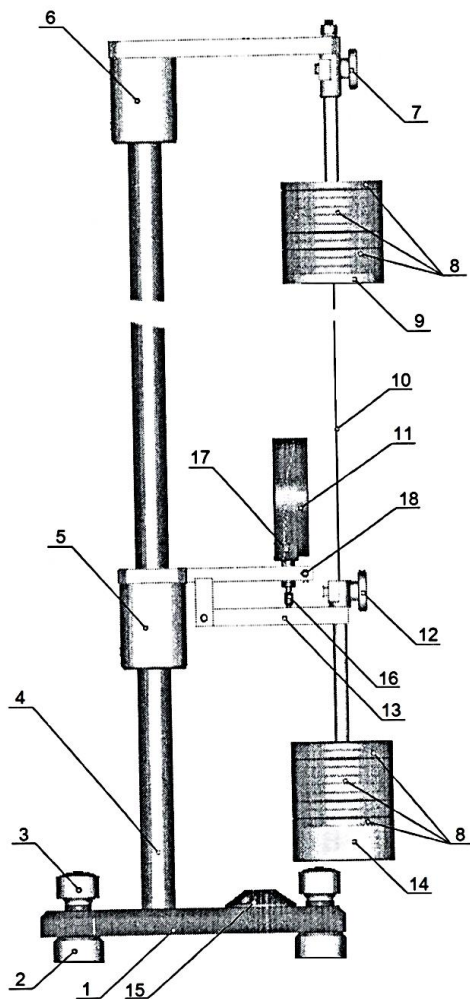


Рисунок 2 – Зовнішній вигляд установки

Підстава 1 обладнана трьома регульованими ніжками 2 і затисками 3 для їхньої фіксації. На підставі встановлені рівень 15 для горизонтального розміщення установки й стійка 4.

Досліджуваний дрот 10 кріпиться між верхнім 6 і нижнім 5 кронштейнами за допомогою затисків 7 і 12.

Нижній кронштейн обладнаний шарнірним важелем 13 на якому закріплені затиск 12 і підвіс із додатковим вантажем 14. Додатковий вантаж підвісу призначений для випрямлення дроту й у процесі дослідження не враховується. Крім того на кронштейні встановлений індикатор годинникового типу 11 для виміру лінійних розмірів, який упирається вимірювальним наконечником 16 у важіль 13. Положення індикатору 11 фіксується за допомогою гвинта 18.

На верхньому кронштейні закріплений підвіс 9 із затиском 7. Верхній підвіс призначений для створення постійного навантаження на верхній

кронштейн, що виключає вплив деформації верхнього кронштейна на показання вимірювального приладу.

У процесі дослідження тягарці 8 беруться з верхнього підвісу 9 і встановлюються зворотно на верхній підвіс.

Перед проведенням експерименту індикатор встановлюється в положення, при якому стрілка індикатора вказує на максимальне значення. У процесі дослідження показання зменшуються. Максимальному значенню деформації дроту відповідає мінімальне показання індикатору. Величину деформації дроту слід визначати з формули:

$$\Delta l_i = K \cdot \Delta X_{i\text{сер}} = K \cdot (X_0 - X_{i\text{сер}}) \quad (5)$$

де  $X_0$  - показання індикатору в початковий момент;

$X_i$  - показання індикатору в поточний момент;

$K$  - стала приладу ( $K=1,6$ ).

### III. Порядок виконання роботи

1. Встановити тягарці на верхньому підвісі 9.
2. Відрегулювати положення індикатора так, щоб він показував максимальне значення на шкалі.
3. Перемістити тягарець з верхнього підвісу 9 на нижній 14. Для визначення показань індикатора натисніть і відпустіть важель 17, який знаходиться зліва, після чого стрілка індикатора встановиться в потрібне положення. Запишіть показання індикатора.
4. Послідовно збільшуйте навантаження до максимального, фіксуючи показання індикатора.
5. Після досягнення максимального навантаження проведіть виміри при розвантаженні дроту, перекладаючи тягарці з нижнього підвісу на верхній.
6. Усередніть показання індикатора при відповідних однакових навантаженнях (при навантаженні і розвантаженні).

$$\Delta X_{сер} = \frac{\Delta X_{нав} + \Delta X_{розв}}{2}$$

7. Користуючись формулою (5) визначити величини деформацій при відповідних навантаженнях.

8. Після завершення роботи зняти тягарці з верхнього підвісу.

9. Визначити модуль Юнга для кожної деформації за формулою

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{4F \cdot l_0}{\pi d^2 \cdot \Delta l_{сер}}$$

де  $F$  – вага тягарця;  $l_0$  - довжина дроту;  $d$  - діаметр дроту.

10. Отримані данні занести у таблицю.

11. Обчислити абсолютну та відносну похибки модуля Юнга. Визначати похибки як похибки прямих вимірювань. Кінцевий результат представити у вигляді

$$E = (E_{сер} \pm \Delta E) \text{ Н/м}^2$$

$$\delta = \frac{\Delta E}{E_{сер}} \cdot 100\%$$

Контрольні питання:

*(відповіді надати у письмовому вигляді)*

1. Дати визначення сили пружності.
2. Дати визначення абсолютної, відносної, пружної, непружної та залишкової деформацій.
3. Записати формули для визначення абсолютної та відносної деформацій.
4. Записати та сформулювати закон Гука при розтягуванні дроту
5. Розкрити фізичний зміст модуля Юнга.

## ПРОТОКОЛ

вимірів до лабораторної роботи №3

Виконав(ла) \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

Ціна поділку індикатора  $C =$  \_\_\_\_\_Довжина дроту  $l_0 =$  \_\_\_\_\_Діаметр дроту  $d =$  \_\_\_\_\_

| №<br>п/п | $F,$<br>Н | $\Delta X_{наг},$<br>мм | $\Delta X_{розв},$<br>мм | $\Delta X_{сер},$<br>мм | $\Delta l_{сер},$<br>м | $l_0,$<br>м | $d,$<br>м | $E,$<br>Н/м <sup>2</sup> | $E_{сер},$<br>Н/м <sup>2</sup> | $\Delta E,$<br>Н/м <sup>2</sup> |
|----------|-----------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|-----------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
|          |           |                         |                          |                         |                        |             |           |                          |                                |                                 |
|          |           |                         |                          |                         |                        |             |           |                          |                                |                                 |
|          |           |                         |                          |                         |                        |             |           |                          |                                |                                 |
|          |           |                         |                          |                         |                        |             |           |                          |                                |                                 |
|          |           |                         |                          |                         |                        |             |           |                          |                                |                                 |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## Лабораторна робота №4

## ПРУЖНИЙ ЦЕНТРАЛЬНИЙ УДАР КУЛЬ

Мета роботи - визначити час зіткнення куль і коефіцієнт відновлення швидкості.

Прилади й приладдя: експериментальна установка для вивчення пружного центрального удару куль ФМ-17.

## I. Теоретичні відомості

**Ударом** називається короткочасна взаємодія стичних тіл, що приводить до значної зміни стану їхнього руху.

Процес удару звичайно розділяють на дві фази. *Перша фаза* - з моменту зіткнення тіл до моменту, коли їх відносна швидкість стає рівною нулю. *Друга фаза* - від цього останнього моменту до моменту, коли зіткнення тіл припиняється.

Пряма, що збігається з нормаллю до поверхні тіл у точці їх зіткнення, називається *лінією удару*. Удар називається *центральним*, якщо лінія удару проходить через центри мас тіл.

Відношення відносної швидкості тіл після удару до їхньої відносної швидкості до удару називається коефіцієнтом відновлення:

$$K_B = \frac{|\vec{u}_1 - \vec{u}_2|}{|\vec{v}_1 - \vec{v}_2|} \quad (1)$$

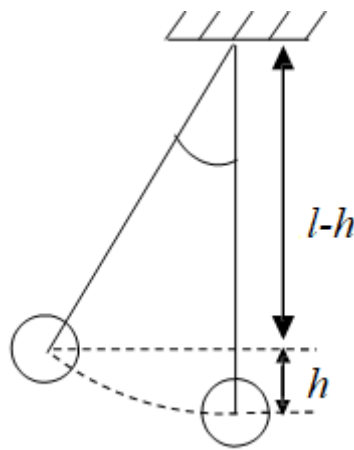
де  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  - швидкість першого й другого тіл до удару, а  $\vec{u}_1, \vec{u}_2$  - швидкість першого й другого тіл після удару. Для дерев'яних куль  $K_B = 0,50$ ; сталевих  $K_B = 0,55$ ; скляних  $K_B = 0,95$ .

Розрізняють два граничні типи удару: а) удар абсолютно пружний ( $K_B = 1$ ), б) удар абсолютно непружний ( $K_B = 0$ ).

*Абсолютно пружним* називається удар, після якого виниклі в тілах деформації повністю зникають (сумарна потенціальна енергія стиску й розтягання дорівнює нулю). При абсолютно пружному ударі не відбувається перетворення механічної енергії системи в інші види енергії, тому виконується як закон збереження імпульсу, так і закон зберігання механічної енергії.

У роботі перевіряється закон збереження імпульсу на прикладі пружного удару двох куль, підвішених на нерозтяжних тонких нитках, масами  $m_1$  і  $m_2$ , причому куля масою  $m_2$  спочатку перебуває в спокої, а куля  $m_1$  - рухається (рис. 1).

Куля  $m_1$ , відхилена від положення рівноваги, має потенційну енергію



$$W_n = m_1 gh \quad (2)$$

де

$$h = l(1 - \cos \alpha) \quad (3)$$

Тому

$$W_n = m_1 gl(1 - \cos \alpha) \quad (4)$$

При проходженні кулі через положення рівноваги (місце удару) його потенціальна енергія перейде в кінетичну, тобто

Рисунок 1 – Схема удару куль

$$m_1 gl(1 - \cos \alpha) = \frac{m_1 v_1^2}{2} \quad (5)$$

Звідси визначається швидкість першої кулі до удару:

$$v_1 = \sqrt{2gl(1 - \cos \alpha)} = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

Підставляючи кути відхилення куль  $\beta_1$  і  $\beta_2$  у формулу (6) можна обчислити швидкості куль  $u_1$  і  $u_2$  після удару. Знаючи швидкості до й після взаємодії, з формули (1) можна визначити коефіцієнт відновлення

$$K_B = \frac{m_1 \sin^2 \frac{\beta_1}{2} + m_2 \sin^2 \frac{\beta_2}{2}}{m_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2}} \quad (7)$$

## II. Опис дослідної установки

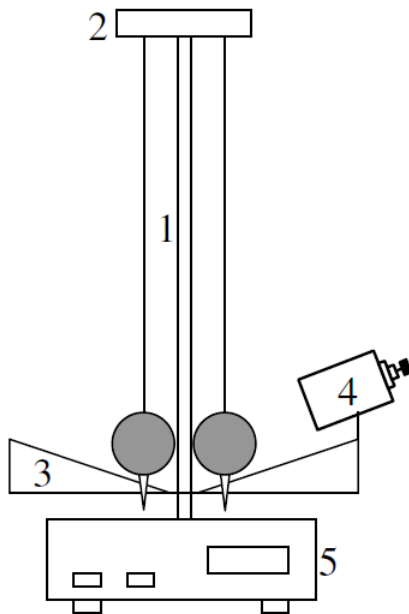


Рисунок 2 – Загальний вигляд установки

Загальний вигляд установки показаний на рис. 2. Вона складається з основи, вертикального стояка 1, нижнього кронштейна зі шкалою 3 і електромагніту 4, верхнього кронштейна 2 з двома голками на кінцях.

Основа обладнана трьома регульованими опорами і затисками для їх фіксації.

Вертикальний стояк виконаний з металевої труби, на яку нанесена міліметрова шкала.

На верхньому кронштейні, призначеному для підвішування куль, розташовані вузли регулювання довжини ниток куль, для забезпечення їх прямого центрального удару, а також клеми з дротами для встановлення електричного контакту куль з електронним блоком 5.

На корпусі нанесена шкала кутових переміщень 3 і встановлений електромагніт 4. Електромагніт призначений для фіксації вихідного положення однієї з куль.

Металеві кулі виготовлені попарно з алюмінію, латуні й сталі. Для забезпечення фіксації куль з алюмінію й латуні електромагнітом, у одній з куль із цих пар встановлена сталева вставка.

## III. Порядок виконання роботи

### *Визначення часу зіткнення куль*

1. Увімкнути установку вимикачем «Сеть», розташованим на задній панелі електронного блока. При цьому повинні увімкнутися рідкокристалічний екран і електромагніт.
2. Відвести праву кулю на кут  $\alpha_1$  приблизно  $15^\circ$  і зафіксувати його за

допомогою електромагніту.

3. Натиснути кнопку «Пуск». При цьому відбудеться удар куль. Запишіть показання таймера, тобто час зіткнення куль  $t$ .
4. Натисніть кнопку «Сброс».
5. Повторити вимірювання ще 4 рази і дані занести в таблицю.
6. Визначити середнє значення часу зіткнення  $t_{сер}$  і похибку  $\Delta t$ . Результат представити у вигляді  $t = t_{сер} \pm \Delta t$ .

#### *Визначення коефіцієнта відновлення швидкості*

1. У праву голку підвісу встановіть алюмінієву кулю, а в ліву – сталеву.
2. Відвести праву кулю на кут  $\alpha_1$  приблизно  $15^\circ$  і зафіксувати його за допомогою електромагніту.
3. Натиснути кнопку «Пуск». При цьому відбудеться удар куль.
4. За допомогою шкали візуально визначте кути відскоку правої  $\beta_1$  і лівої  $\beta_2$  куль.
5. За допомогою формули (7) визначте коефіцієнт відновлення швидкості.
6. Результати занести в таблицю.
7. Після виконання роботи вимкнути установку вимикачем «Сеть».

#### Контрольні питання:

*(відповіді надати у письмовому вигляді)*

1. Що називається ударом? Класифікація ударів.
2. Що називається коефіцієнтом відновлення?
3. Сформулювати закон збереження імпульсу, закон збереження механічної енергії, закон збереження й перетворення енергії.
4. Дати визначення пружного й непружного центральних ударів.
5. Вивести формули для підрахунку швидкостей куль у випадку пружного й непружного центральних ударів.

ПРОТОКОЛ  
вимірів до лабораторної роботи №4

Виконав(ла) \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

Довжина підвісу куль 370 мм

Ціна поділку шкали кутів  $0,5^\circ$

| №<br>п/п | $m_1$ ,<br>кг | $m_2$ ,<br>кг | $\alpha_1$ ,<br>град | $\beta_1$ ,<br>град | $\beta_2$ ,<br>град | $\beta_{1сер}$ ,<br>град | $\beta_{2сер}$ ,<br>град | $t$ ,<br>с | $t_{сер}$ ,<br>с | $K_B$ |
|----------|---------------|---------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|------------|------------------|-------|
|          |               |               |                      |                     |                     |                          |                          |            |                  |       |
|          |               |               |                      |                     |                     |                          |                          |            |                  |       |
|          |               |               |                      |                     |                     |                          |                          |            |                  |       |
|          |               |               |                      |                     |                     |                          |                          |            |                  |       |
|          |               |               |                      |                     |                     |                          |                          |            |                  |       |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## Лабораторна робота №5

## ВИВЧЕННЯ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ НА МАЯТНИКУ ОБЕРБЕКА

Мета роботи – перевірити основний закон динаміки обертального руху.

Прилади і приладдя: маятник Обербека, вантажі, штангенциркуль, електронний секундомір.

## І. Теоретичні відомості

Обертання твердого тіла сталої маси навколо нерухомої осі описується основним законом динаміки обертального руху

$$M = J\varepsilon, \quad (1)$$

де  $M$  – момент зовнішніх сил, що діють на тіло, Н·м;

$J$  – момент інерції тіла, кг·м<sup>2</sup>;

$\varepsilon$  – кутове прискорення, рад/с.

Момент інерції  $J_1$  всієї системи, що обертається, відносно осі обертання складається з моменту інерції хрестовини і моменту інерції вантажів:

$$J_1 = J_0 + 4m_1R_1^2 \quad (2)$$

де  $J_0$  – момент інерції хрестовини без вантажів відносно осі обертання;

$R_1$  – відстань від осі обертання до середини вантажу;

$m_1$  – маса вантажу на стрижні.

При зміні відстані  $R$  від осі обертання до вантажів  $m_1$ , момент інерції системи зміниться і стане рівним:

$$J_2 = J_0 + 4m_2R_2^2 \quad (3)$$

Віднімемо з (3) рівняння (2)

$$J_2 - J_1 = 4m_1(R_2^2 - R_1^2) \quad (4)$$

Права частина рівності може бути обчислена за даними  $m_1, R_1, R_2$ .

Значення  $J_1$  і  $J_2$  визначимо за допомогою основного закону динаміки обертального руху (1). Обертальний момент  $M$  створюється силою натягнення нитки  $T$ . Він дорівнює добутку сили натягнення нитки на плече. Плечем є радіус шківів.

Силу натягнення нитки визначимо з другого закону Ньютона. На вантаж масою  $m$  діють дві сили: сила тяжіння  $mg$  і сила натягнення нитки  $T$ . Під дією цих сил вантаж рухається вниз рівноприскорено з прискоренням  $a$ . Запишемо другий закон Ньютона в проекції на напрям руху:

$$mg - T = ma$$

Звідси

$$T = m(g - a) \quad (5)$$

Обертальний момент:

$$M = Tr = m(g - a)r. \quad (6)$$

Вантаж  $m$  рухається рівноприскорено, тому

$$h = \frac{at^2}{2}$$

Звідси

$$a = \frac{2h}{t^2},$$

Тоді

$$\varepsilon = \frac{2h}{t^2 r}$$

Підставляючи значення  $a$  і  $\varepsilon$  у вираз (7), отримаємо:

$$J = m \cdot r^2 \left( \frac{g \cdot t^2}{2h} - 1 \right) \quad (7)$$

За формулою (7) можна обчислити  $J_1$  і  $J_2$ , потім різницю моментів інерції і перевірити рівність (4). Виконання цієї рівності підтверджує справедливості основного закону динаміки обертального руху.

## II. Опис експериментальної установки

Прилад, за допомогою якого проводять дослідження, схематично зображений на рис. 1 і встановлений на підставці 1. На вертикальній колоні 2 прикріплено два кронштейни: нижній нерухомий 3 і верхній рухомий 4 і дві нерухомі втулки 5 і 6. Гвинти 7 забезпечують горизонтальну установку приладу. На верхній втулці 6 закріплено диск 8. Через диск перекинута нитка 9, один кінець якої прикріплений до двоступінчастого диска 10, а інший – до вантажу 11. На кожній втулці закріплено гальмовий електромагніт 12, що утримує хрестовину 13 разом з вантажами 14 у стані спокою.

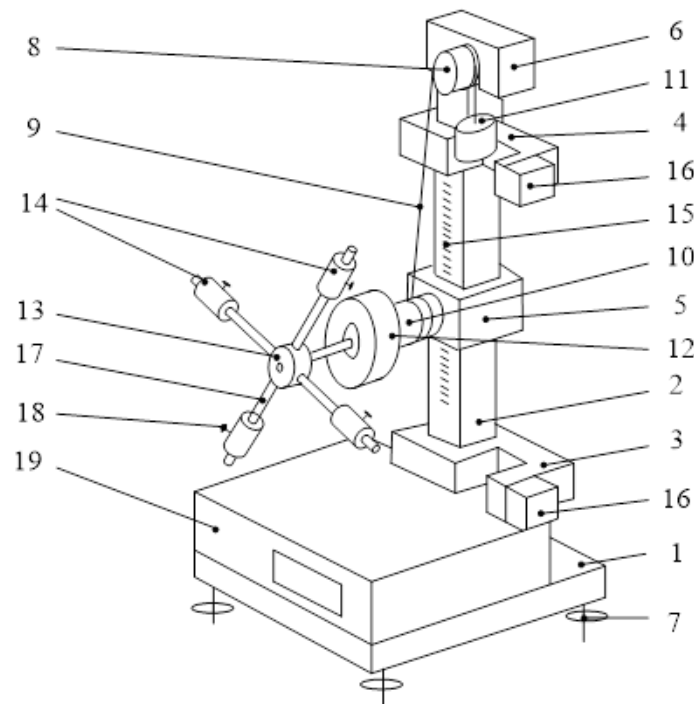


Рисунок 1 – Маятник Обербека

Рухомий кронштейн 4 можна переміщати вздовж колони і фіксувати його в будь-якому положенні, визначаючи у такий спосіб довжину шляху спуску вантажів  $h$ . Для цього на колоні 1 нанесено міліметрову шкалу 15. На кронштейнах 3 і 4 закріплені фотоелектричні датчики 16, які потрібні для включення схем виміру часу і гальмового електромагніту (кронштейн 4 може бути відсутній). На кожному із стрижнів 17 хрестовини розташовані вантажі (бути відсутній). На кожному із стрижнів 17 хрестовини розташовані вантажі

14, які можна легко переміщати вздовж стрижнів і закріплювати в потрібному положенні гвинтами 18.

Якщо ниткам дати можливість розмотуватися під дією вантажу 11, то хрестовина почне обертатися з прискоренням.

### III. Порядок виконання роботи

1. Виміряти штангенциркулем діаметр  $d_1$  великого шків.
2. Виміряти штангенциркулем діаметр  $d_2$  малого шків. **Вантажі  $m_1$  посередині стрижнів.**
3. Закріпити вантажі  $m_1$  посередині стрижнів так, щоб система знаходилася в стані байдужої рівноваги. Записати значення маси  $m_1$  вантажу на спиці, вказане на установці.
4. Виміряти відстань  $R_1$  від осі обертання до середини вантажу  $m_1$ . Записати значення маси  $m$  вантажу, який кріпиться до нитки.
5. Намотати нитку на великий шків так, щоб нижній торець вантажу встановився напроти відмітки лінійки (візир вертикального стояка торкається нижнього торцю вантажу). За допомогою візир визначте відстань  $h$  яку пройде вантаж  $m$  при русі від нижнього торця вантажу у верхньому положенні до оптичної осі фотодатчика.
6. Зафіксуйте вантаж у цьому положенні. Для цього натисніть кнопку "Сеть" електронного блоку. При цьому спрацює фрикціон електромагнітного гальма.
7. Натисніть кнопку ПУСК. При цьому маятник почне обертатися і після перетинання вантажем  $m$  променю нижнього фотодатчика відбудеться автоматична зупинка маятника (кнопка ПУСК вимикається).
8. Прочитати на індикаторі секундоміра час опускання вантажу  $m$  з висоти  $h$ .
9. Дослід повторити три рази.
10. Намотати нитку на малий шків так, щоб нижній торець вантажу встановився напроти відмітки лінійки (візир вертикального стояку

торкається нижнього торця вантажу). Провести вимірювання згідно п. 7-9.

**Вантажі  $m_1$  на кінцях стрижнів.**

11. Розташувати вантажі  $m_1$  на кінцях стрижнів. Виміряти відстань  $R_2$  від осі обертання до середини вантажу  $m_1$ .
12. Виконати вимірювання згідно п. 5-10, намотуючи нитку спочатку на великий шків, а потім на малий.
13. Обчислити моменти інерції  $J_1$  і  $J_2$  за формулою (7). Знайти середнє значення моменту інерції для кожного положення вантажів.
14. Розрахувати різницю моментів інерції (ліва частина формули (4)).
15. Розрахувати праву частину формули (4), використовуючи виміряні значення  $R_1$ ,  $R_2$  і відоме значення  $m_1$ .
16. Порівняти результати, отримані в п.2 і п.3.

**Контрольні питання:**

*(відповіді надати у письмовому вигляді)*

1. Сформулюйте основний закон динаміки обертального руху. Запишіть формулу.
2. Дайте визначення моменту сили. Як визначається його напрям?
3. Сформулюйте теорему Штейнера. Запишіть формулу.
4. Який висновок можна зробити з порівняння результатів, отриманих в пунктах 2 і 3?

## ПРОТОКОЛ

вимірювань до лабораторної роботи №5

Виконав(ла) \_\_\_\_\_

Група \_\_\_\_\_

Маса вантажів, що закріплені на спиці  $m_1 =$  \_\_\_\_\_Маса падаючого вантажу  $m =$  \_\_\_\_\_Висота падіння вантажу  $h =$  \_\_\_\_\_Діаметр великого шківa  $d_1 =$  \_\_\_\_\_Діаметр малого шківa  $d_2 =$  \_\_\_\_\_

| №<br>п/п | $r$ ,<br>мм | $R$ ,<br>см | $t_1$ ,<br>с | $t_2$ ,<br>с | $t_3$ ,<br>с | $t_{\text{сер}}$ ,<br>с | $J$ ,<br>кг·м <sup>2</sup> | Примітка                                         |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|
| 1        |             |             |              |              |              |                         |                            | Вантажі зна-<br>ходяться на<br>середині<br>спиць |
| 2        |             |             |              |              |              |                         |                            |                                                  |
| середнє  |             |             |              |              |              |                         |                            |                                                  |
| 3        |             |             |              |              |              |                         |                            | Вантажі зна-<br>ходяться на<br>кінцях спиць      |
| 4        |             |             |              |              |              |                         |                            |                                                  |
| середнє  |             |             |              |              |              |                         |                            |                                                  |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## Лабораторна робота №6

# ВИЗНАЧЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА МЕТОДОМ СТІЧКОВОГО ГАЛЬМА

Мета роботи - дослідити залежність потужності електродвигуна, що розвивається на валу, від його кутової швидкості.

Прилади й приладдя: електродвигун, динамометр, лічильник обертів, штангенциркуль, секундомір.

## I. Теоретичні відомості

Елементарна робота, що здійснюється при обертовому русі, дорівнює скалярному добутку моменту зовнішніх сил на елементарне кутове переміщення:

$$\delta A = \vec{M} \cdot d\vec{\varphi}, \quad (1)$$

де  $\vec{M}$  - момент зовнішніх сил, Н·м;  $d\vec{\varphi}$  - елементарне кутове переміщення, рад.

Потужність - скалярна фізична величина, яка дорівнює швидкості здійснення роботи

$$P = \frac{\delta A}{dt}, \quad (2)$$

Підставимо (1) в (2), одержимо:

$$P = \vec{M} \cdot \frac{d\vec{\varphi}}{dt} = \vec{M} \cdot \vec{\omega}, \quad (3)$$

де  $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$  - кутова швидкість.

З формули (3) випливає, що потужність пропорційна моменту  $M$  зовнішніх сил.

На шків діє обертаючий момент  $M_d$ , створюваний електродвигуном і гальмуючий момент  $M_g$ , створюваний стрічковим гальмом. Момент

зовнішніх сил дорівнюватиме:

$$M = M_D - M_G, \quad (4)$$

Згідно з основним рівнянням динаміки обертального руху  $\vec{M} = J \cdot \vec{\varepsilon}$ . Шків обертається рівномірно, отже, його кутова швидкість  $\omega = \text{const}$ , а кутове прискорення  $\varepsilon = 0$ . Звідси випливає, що  $\vec{M} = 0$ . Рівняння (4) прийме вид:  $M_D - M_G = 0$ , тобто

$$M_D = M_G, \quad (5)$$

Гальмуючий момент  $M_G$  створюється силами натягу  $F_1$  і  $F_2$  стрічкового гальма. Плечем сил є радіус шківа  $R$ . Отже,

$$M_G = |F_2 R - F_1 R|, \quad (6)$$

Порівнюючи (5) і (6), отримаємо:

$$M_G = R |F_2 - F_1|, \quad (7)$$

За час  $t$  шків робить  $N$  обертів, тому кутова швидкість

$$\omega = \frac{2\pi N}{t}, \quad (8)$$

Підставивши вираження (7) і (8) у співвідношення (3), і враховуючи, що  $2R = d$ , де  $d$  - діаметр шківа, одержимо формулу для розрахунків потужності, що розвивається електродвигуном на валу:

$$P = \frac{\pi d N |F_2 - F_1|}{t}, \quad (9)$$

## II. Опис експериментальної установки

Установка складається з колекторного електродвигуна потужністю близько 40 Вт, розрахованого на робочу напругу 220 В, який змонтований на горизонтальній панелі. На цій панелі встановлені: стояк з поздовжнім прорізом (по стояку переміщується планка з прикріпленими до неї двома динамометрами), тримач шкали лічильника обертів і реостат.

Шків охоплюється стрічковим гальмом, кінці якого пов'язані з динамометрами, що мають дві шкали. Вісь електродвигуна виходить за торець шківів і має фрикційне з'єднання з лічильником обертів. Конструкція тримача дає можливість включити лічильник шляхом переміщення його в невеликих межах уздовж осі електродвигуна. Шкала лічильника має 100 поділок. Кожний поділок відповідає двом обертам електродвигуна.

Поворотом верхнього кільця шкали можна встановлювати показчик на нульовий поділок шкали.

**Увага!** У процесі виконання роботи необхідно проявляти особливу обережність, у зв'язку з тим, що:

- 1) шків обертається з великою швидкістю;
- 2) на реостат подана напруга 220 В.

### III. Порядок виконання роботи

1. Виміряти діаметр  $d$  дерев'яного шківів штангенциркулем.
2. Установити й закріпити планку з динамометрами таким чином, щоб показчики динамометрів показували навантаження на шків 0,5 Н.
3. Установити реостат у середнє положення.
4. Увімкнути прилад у мережу.
5. Зняти показання динамометрів  $F_1$  і  $F_2$ .
6. Виміряти час, за який двигун зробить 500 обертів. Для цього в момент збігу нульового поділку шкали лічильника з показчиком кільця запустити секундомір. Після того, як лічильник зробить 2,5 обертів, секундомір зупинити.
7. Вимкнути двигун (не змінюючи положення реостата). Перемістити динамометри на 0,2 Н, щоб навантаження на шків збільшилася, і знову виконати пункти 4, 5, 6.
8. Повторити виміри ще 7 разів, щоразу збільшуючи навантаження на 0,2 Н.
9. Розрахувати кутову швидкість обертання шківів за формулою (8).

10. Розрахувати потужність двигуна на валу за формулою (9).
11. Побудувати графік залежності потужності  $P$  від кутової швидкості  $\omega$ :  
$$P = f(\omega).$$
12. Визначити з графіку приблизний інтервал значень кутової швидкості, в якому двигун розвиває максимальну потужність.

#### Контрольні питання

*(відповіді надати у письмовому вигляді)*

1. Дайте визначення роботи, запишіть формулу. Укажіть одиниці виміру.
2. Дайте визначення потужності, запишіть формулу. Укажіть одиниці виміру.
3. Сформулюйте основний закон динаміки обертального руху. Запишіть формулу.
4. За якою формулою можна розрахувати кутову швидкість?
5. За якою формулою можна розраховувати потужність на валу електродвигуна. Поясніть зміст позначень, що входять у формулу.

## ПРОТОКОЛ

вимірів до лабораторної роботи №6

Виконав(ла) \_\_\_\_\_ Група \_\_\_\_\_

Діаметр шківів  $d =$  \_\_\_\_\_

| №<br>п/п | Навантаження<br>$F$ , Н | $F_1$ ,<br>Н | $F_2$ ,<br>Н | $N$ ,<br>обертів | $t$ ,<br>с | $\omega$ ,<br>рад/с | $P$ ,<br>Вт |
|----------|-------------------------|--------------|--------------|------------------|------------|---------------------|-------------|
| 1        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 2        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 3        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 4        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 5        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 6        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 7        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 8        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
| 9        |                         |              |              |                  |            |                     |             |
|          |                         |              |              |                  |            |                     |             |
|          |                         |              |              |                  |            |                     |             |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис викладача \_\_\_\_\_

## ЛІТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И. Курс физики: учеб. пособие для вузов / Т. И. Трофимова. - 11-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 560 с.
2. Детлаф А. А. Курс физики: учеб. пособие для вузов / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. - 4-е изд., испр. - М.: Высш. шк., 2002. — 718 с.
3. Савельев И. В. Курс физики. Том I. Механика. Молекулярная физика / И. В. Савельев. — М.: Наука, 1989. — 352 с.
4. Зачек І. Р. Курс фізики. Підручник / І. Р. Зачек, І. М. Кравчук, Б. М. Романишин та інш. — Львів: Вид. Бескид Біт, 2002. - 375с.
5. Кучерук І. М. Загальний курс фізики: У трьох томах. Т.1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик. — 2-ге вид., випр. — К.: Техніка, 2006. — 532 с.

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт із навчальної дисципліни «Фізика»,  
розділ «МЕХАНІКА»  
для студентів інженерно-технічних напрямів підготовки  
денної і заочної форм навчання

Укладачі:

Артеменко Ю.А., доц., к.т.н., доц.  
Власенко М.М., доц., к.т.н., доц.

Донецький національний технічний університет  
85302, м. Покровськ, вул. Шибанкова, 2.

Покровськ 2019