

**АКАДЕМІЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**  
**КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ МЕХАНІКИ**

**І.В.Міщенко**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**до виконання лабораторних та самостійних робіт з**  
**дисципліни**  
**„МЕТРОЛОГІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ”**

**Харків 2005**

Схвалено для використання у  
навчально-виховному процесі  
протокол від 17.03.2005 р., № 7  
засідання методичної ради АЦЗУ

Рецензенти: - професор кафедри прикладної механіки АЦЗУ,  
доктор техн. наук М.І.Іванов  
- професор кафедри „Динаміка та міцність машин”  
Національного технічного університету „ХПІ”,  
доктор техн. наук В.О.Жовдак

Методичні вказівки до виконання лабораторних та самостійних робіт з дисципліни „Метрологія та стандартизація” / І.В.Міщенко, Харків, 2005.-48 с.

Методичні вказівки містять стислі теоретичні обґрунтування та методичні рекомендації щодо проведення циклу лабораторних робіт і самостійної роботи з дисципліни „Метрологія та стандартизація”, які дозволяють провести необхідні вимірювання та отримати уявлення про основні одиниці вимірювання, метрологічні характеристики вимірювань і засобів вимірювань, методи обробки результатів вимірювань, а також методи визначення похибок вимірювання та їхню природу. В останні роки різко зросла роль точних і вірогідних вимірювань в будь-якій галузі життєдіяльності, що прямо пов'язано зі здоров'ям людей та їхньою безпекою, тому розуміння ролі метрології, її задач, і оволодіння засобами їхнього вирішення має актуальне значення для майбутньої фахової діяльності працівника цивільного захисту.

Відповідальний за випуск І.В.Міщенко

# 1. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

## «ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ЦИЛІНДРИЧНОГО СТЕРЖНЯ»

**МЕТА РОБОТИ:** провести прямі виміри лінійних розмірів циліндричного стержня за допомогою інструментів, що мають різну точність, переконатися в його циліндричності, вказати межі, у яких приймається дане твердження, навчитися працювати з інструментами для лінійних вимірювань.

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

При проведенні лінійних вимірювань необхідно розуміти, у якому інтервалі значень знаходяться досліджувані довжини. Вимірювання довжини (відстані) у діапазоні від  $10^{-8}$  до  $10^{11}$  м вимагає використання абсолютно різних методів і засобів вимірювань. У даній роботі ми будемо досліджувати ту область довжин, де застосовані повсякденні уявлення. Навіть обмеживши себе вимірюваннями довжин в інтервалі від 1 мкм до 1 м, ми зштовхнемося з вибором цілого ряду приладів. До рішення питання, яким з них скористатися, варто підходити з урахуванням наступного:

а) яка природа довжини, що ми хочемо вимірювати; приміром, що це — відстань між двома мітками або між кінцями стержня або бруска або це діаметр отвору або стержня;

б) яка приблизно ця довжина,

в) яка необхідна точність вимірювань.

У Таблиці 1.1 приведені кілька можливих засобів і методів вимірювань довжини в розглянутому інтервалі значень.

Таблиця 1.1

Прилад	Межа вимірювань, м	Точність, мкм	Характер застосування
Вимірювальна лінійка (дерев'яна)	0,5	1000	Загальний. Використовуються при дуже грубих наближених вимірюваннях.
Вимірювальна лінійка (металева)	1,0	200	Загальний.
Штангенциркуль (з величиною	0,3	50	Для вимірювань зовнішніх розмірів предме-

відліку за ноніусом 0,1 мм)			тів, ширини зазору, діаметра отвору, для вимірювань глибин
Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,05 мм)	0,3	20	
Мікрометр	0,1	5	Вимірювання зовнішніх розмірів

На вимірювальних лінійках довжина розподілів збігається з ціною одного розподілу і звичайно дорівнює 1 мм. Якщо при вимірюванні довжини якого-небудь предмета його край розташовується між сусідніми розподілами лінійки (більше  $a$  мм і менше  $a+1$  мм), то можна подумки розділити 1 мм на 10 частин і оцінити «на око», скільки таких частин займає надлишок довжини. Таким способом вимірюють довжини з точністю до 0,1 мм, однак надійна оцінка досягається тільки з досвідом, тому в загальному випадку точність вимірювального інструмента відповідає половині мінімального розподілу.

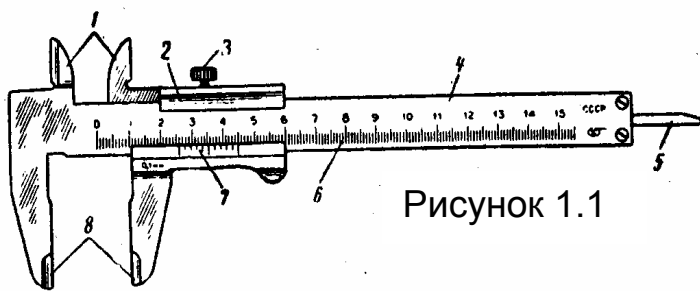


Рисунок 1.1

Штангенциркуль зображений на Рис.1.1, цифрами позначені: **1**- губки для внутрішніх вимірювань, **2** – рухлива рамка, **3** – затиск рамки, **4** – штанга, **5** – лінійка для виміру глибин, **6** - шкала

штанги, **7** – ноніус, **8** – губки для зовнішніх вимірювань. Ціле число міліметрів у штангенциркуля відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса. Ноніус призначений для визначення дробової величини ціни розподілу штанги, тобто для визначення частки міліметра. На ноніусі нанесене деяке число розподілів –  $n$ ; ціна розподілу ноніуса  $l_n$  знаходиться у визначеному відношенні до ціни розподілу шкали штанги  $l_m$ ; звичайно загальна довжина всіх  $n$  розподілів ноніуса дорівнює довжині  $n - 1$  розподілів шкали штанги

$$l_n \cdot n = l_m \cdot (n - 1) . \quad (1.1)$$

Звідси знаходимо різницю між довжиною одного розподілу шкали штанги й одного розподілу ноніуса

$$l_m - l_n = \frac{l_m}{n} . \quad (1.2)$$

Формула (1.2) дає вираження точності ноніуса. Застосовуються штангенциркулі: 1) з ноніусом довжиною 19 мм, розділеним на 10 частин, для якого при  $l_m = 1$  мм точність дорівнює 0,1 мм; 2) з ноніусом довжиною 39 мм, розділеним на 20 частин, для якого при  $l_m = 1$  мм точність дорівнює 0,05 мм.

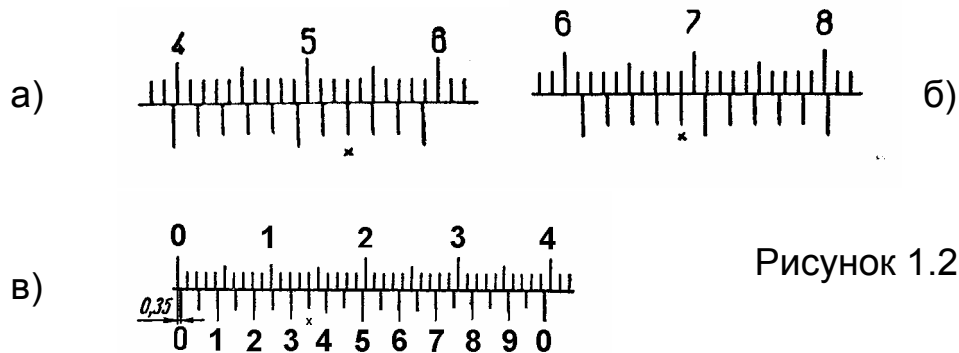


Рисунок 1.2

Читання показань на штангенциркулі з величиною відліку 0,1 мм здійснюється в такий спосіб: ціле число міліметрів відраховується по шкалі штанги зліва направо нульовим штрихом ноніуса; дробова величина (кількість десятих часток міліметра) визначається множенням величини відліку (0,1 мм) на порядковий номер штриха ноніуса (не вважаючи нульового), що збігається зі штрихом штанги. На Рис. 1.2 а) показаний приклад відліку:  $39,7 \text{ мм} = 39 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} \bullet 7$  (хрестиком зазначений 7-й штрих ноніуса); на Рис.1.2 б) показаний приклад відліку:  $61,4 \text{ мм} = 61 \text{ мм} + 0,1 \text{ мм} \bullet 4$  (хрестиком зазначений 4-й штрих ноніуса). Для штангенциркуля з величиною відліку 0,05 мм усі дії аналогічні з урахуванням зміни величини відліку (0,05 мм). Крім того, для прискорення відліку використовують числа ноніуса 1, 2, ..., 8, 9, що позначають десяті частки міліметра. На Рис.1.2 в) показаний приклад відліку для зазначеного штангенциркуля: 0,35 мм (хрестиком зазначений 7-й штрих ноніуса).

Мікрометр зображений на Рис.1.3. Цифрами позначені: **1** - п'ятка, **2** - настановна міра, **3** - мікрометричний гвинт, **4** - стебло, **5** - барабан, **6** - тріскачка, **7** - стопор, **8** - скоба. За один оберт мікрометричний гвинт переміщується уздовж осі на 0,5 мм. Барабан розділений по окружності на 50 рівних частин. При повороті на один розподіл мікрометричний гвинт, з'єднаний з барабаном, переміщується уздовж осі на  $1/50$  кроку, тобто  $(0,5 \text{ мм}):50=0,01 \text{ мм}$ . Ціле число міліметрів і половину міліметра відраховують краєм скобу барабана по шкалі стебла. Соті частки міліметра визначають за порядковим номером штриха барабана, що збігається з подовжнім штрихом стебла. На Рис. 1.4 показано приклади читання показань.

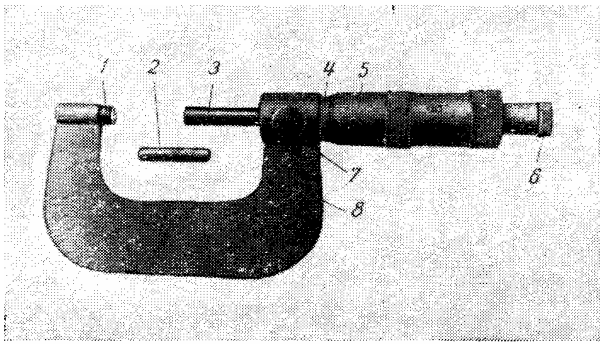


Рисунок 1.3

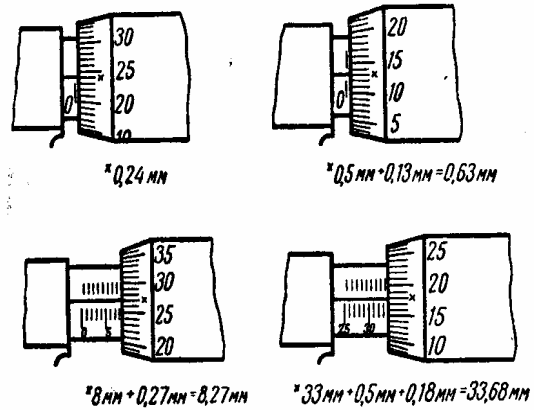


Рисунок 1.4

Звичайно, вибравши потрібний прилад, необхідно правильно провести самі вимірювання. Це стосується підготовки інструмента, який використовується (збіг нульових штрихів ноніуса і штанги, нульового штриха барабана з подовжнім штрихом стебла, скіс барабана має відкривати нульовий штрих стебла, відсутність мертвого ходу гвинта) і проведення вимірювань (правильне положення губок щодо зовнішніх або внутрішніх циліндричних і рівнобіжних поверхонь дозволяє уникнути завищення або заниження показань). При читанні показань інструмент варто тримати прямо перед очима.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

У теорії ми маємо справу, наприклад, з циліндричним стержнем, про який відомо, що його діаметр дорівнює  $d$  мм, і цим усе вичерпано. На практиці ж варто переконатися, чи дійсно стержень циліндричний, або — ще вірніше — указати межі, у яких можна це прийняти. Таким чином, необхідно:

1. Вимірити діаметр у тому самому місці в різних напрямках інструментами з різною точністю.
2. Повторити зазначену операцію в різних місцях (перетинах) по довжині стержня. Природно, ретельність подібного дослідження, як завжди, визначається тією метою, що переслідують вимірювання.
3. Визначити відстань між протилежними торцями стержня і перевірити, якою мірою вони рівнобіжні.

### ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

До протоколу лабораторної роботи внести наступні дані:

Кількість точок виміру (перетинів) на стержні  $N =$   
 Кількість напрямів у рамках одного перетину  $M =$   
 Результати вимірювань записати в Таблицю 1.2.

Таблиця 1.2.

Номер перетину	Лінійка	Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,1 мм)	Штангенциркуль (з величиною відліку за ноніусом 0,05 мм)	Мікрометр
1.	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм
	-----	-----	-----	-----
	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм
-----	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм
	-----	-----	-----	-----
	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм
$N$	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм	$d_1 =$ мм
	-----	-----	-----	-----
	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм	$d =$ мм

Кожному номеру перетину (умовно показані рядки для 1-го,  $N$ -го і довільної кількості між ними) у Таблиці 1.2 відповідає  $M$  рядків вимірювань по числу напрямів у рамках одного перетину.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що являє собою фізична величина ?
2. Назвіть основні одиниці  $SI$  у встановленому порядку, запишіть їхні розмірності.
3. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
4. Чим характеризують точність вимірювань ?
5. Що таке засіб вимірювань ?
6. Які засоби виміру використовують при проведенні лінійних вимірювань ?
7. Розповісти про основні принципи вимірювань.
8. Розповісти про класифікації вимірювань.

## 2. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### «ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДИХ ТІЛ МЕТОДОМ ГІДРОСТАТИЧНОГО ЗВАЖУВАННЯ»

**МЕТА РОБОТИ:** визначити густину твердого тіла методом гідростатичного зважування, визначити абсолютну і відносну похибки при проведенні непрямих вимірювань.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Метод гідростатичного зважування заснований на визначенні тієї удаваної втрати у вазі досліджуваного тіла, яка виникає при зануренні в рідину; ця втрата ваги дорівнює за законом Архімеда вазі рідини в обсязі тіла. У більшості випадків при цих вимірах використовують чисту дистильовану воду, густина якої відома. Метод гідростатичного зважування надзвичайно точний і тому на практиці він відіграє дуже велику роль як один з найбільш надійних методів визначення густини.

Густиною  $\rho$  тіла називається маса одиниця об'єму тіла, що визначається за формулою

$$\rho = \frac{M}{W}, \quad (2.1)$$

де  $M$  – маса тіла,  $W$  – об'єм тіла. Вага тіла  $G$  зв'язана з масою співвідношенням  $G=M \cdot g$ ,  $g$  – прискорення вільного падіння. Тоді питома вага тіла  $\gamma = \rho \cdot g$ . Застосовуючи формулу (2.1) до двох різних тіл, узятим в однаковому об'ємі  $W$ , знаходимо:  $\rho_1 / \rho_2 = M_1 / M_2$ , де  $\rho_1$  і  $\rho_2$  – густини першого і другого тіла,  $M_1$  і  $M_2$  – їхні маси. Заміняючи в цій пропорції відношення мас тіл відношенням їхніх ваг у пустоті –  $G_1$  і  $G_2$ , знаходимо

$$\rho_1 = \frac{G_1}{G_2} \rho_2. \quad (2.2)$$

Стосовно до даної роботи формула (2.2) приймає наступний вигляд

$$\rho_m = \frac{G_m}{G_e} \rho_e, \quad (2.3)$$

де  $G_m$  і  $G_e$  - відповідно вага тіла і вага витиснутої їм води, приведені до пустоти,  $\rho_m$  - густина досліджуваного тіла,  $\rho_e$  – густина води при тем-



пературі спостереження. У Таблиці 2.1 приведені значення густини води при різній температурі

Таблиця 2.1.

Температура, °C	0	4	10	20	30
Густина, кг/м <sup>3</sup>	0,99987	1,00000	0,99973	0,99823	0,99567

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

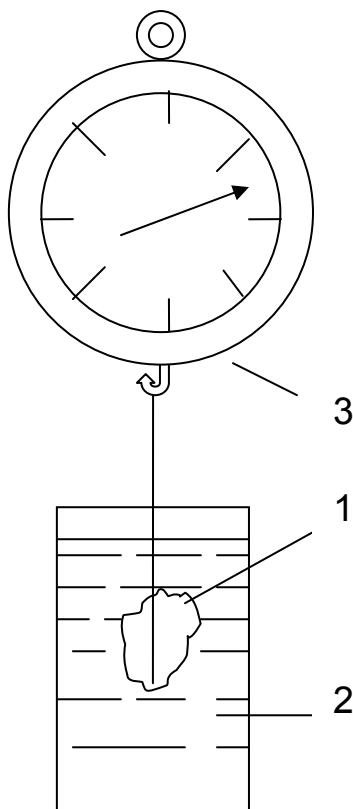


Рисунок 2.1

Лабораторна установка складається з досліджуваного тіла **1** (далі в тексті – тіло), резервуара з водою **2** і пружинних ваг **3** (див. Рис. 2.1). Тіло необхідно зважувати два рази: один раз у повітрі і другий раз у воді. В останньому випадку тіло підвішують на тонкому дроті до гачка пружинних ваг і поміщають у резервуар з дистильованою водою, наливаючи її в такій кількості, щоб усе тіло і невелика частина дротику були занурені у воду. Одночасно необхідно визначити температуру води в циліндрі; температура тіла, що зважується, приймається рівній температурі води.

Послідовно виконують наступні вимірювання:

1. Зважують тіло з точністю, обумовленою точністю пружинних ваг.

Оскільки питома вага тіла залишається невідомою, обчислити виправлення на втрату його ваги в повітрі по звичайній формулі було б важко; тому при зважуванні обмежуються визначенням ваги тіла в повітрі; нехай вона виявилася рівною  $P_m$ . Що стосується ваги, приведеної до пустоти, тобто  $G_m$ , то, обчислюючи за законом Архімеда втрату у вазі тіла в повітрі, можна написати:

$$G_m = P_m + W \cdot \gamma_{\text{пов}}, \quad (2.4)$$

де  $\gamma_{\text{пов}}$  – питома вага повітря.

2. Зважують тіло вдруге (з тією ж точністю) у воді, підвісивши його на тонкому дротику в резервуарі з дистильованою водою, як було зазна-

чено; температуру води попередньо необхідно вимірити термометром. При зважуванні необхідно виконувати наступні умови: тіло має висіти вільно на дротику усередині води, не торкаючись дна або стінок резервуара; на поверхні тіла не повинно бути пухирців повітря; нарешті, через поверхню води, для зменшення капілярної дії повинна проходити тонка, тобто неперекручена частина дротика. У результаті зважування одержують (удавану) вагу тіла у воді, не приводячи її до пустоти; нехай вона виявилася рівною  $P_1$ . Якщо занурена частина дроту у воду незначна, утрату ваги дроту можна не враховувати.

З результатів цих зважувань знаходимо вагу  $P_e$  води, витиснутої тілом; очевидно вона дорівнює

$$P_e = P_m - P_1, \quad (2.5)$$

причому це вираження дає (удавану) вагу води, витиснутої тілом. Для того щоб знайти дійсну вагу  $G_e$  води, треба, відповідно до формули (2.4), до  $P_e$  додати знову величину  $W \cdot \gamma_{нов}$ , це впливає з того, що об'єми тіла і витиснутої їм води однакові, тобто величина виправлення на втрату їхньої ваги в повітрі також однакова. Тому можна написати:

$$G_e = P_e + W \cdot \gamma_{нов}. \quad (2.6)$$

Внаслідок цього з формули (2.3) на підставі формул (2.4) і (2.6) знаходимо:

$$\rho_m = \frac{P_m + W \cdot \gamma_{нов}}{P_e + W \cdot \gamma_{нов}} \rho_e. \quad (2.7)$$

У цьому вираженні залишається невідомою величина  $W$  – об'єм тіла (або води, що витісняється їм). Точне значення  $W$  можна одержати з вираження

$$P_e = W(\gamma_e - \gamma_{нов}), \quad (2.8)$$

де  $\gamma_e$  і  $\gamma_{нов}$  - питома вага води і повітря при температурі спостереження. Визначаючи  $W$  з формули (2.8) і підставляючи його значення у вираження (2.7), знаходимо

$$\rho_m = \frac{P_m(\gamma_e - \gamma_{нов}) + P_e \gamma_{нов}}{P_e \gamma_e} \rho_e. \quad (2.9)$$

У правій частині цього вираження відношення питомих ваг ( $\gamma_e$  і  $\gamma_{нов}$ ) можна замінити відношенням відповідних густин ( $\rho_e$  і  $\rho_{нов}$ ); на підставі цього одержуємо остаточне вираження для обчислення густини тіла при даній температурі

$$\rho_m = \frac{P_m}{P_e}(\rho_e - \rho_{пов}) + \rho_{пов} . \quad (2.10)$$

У цьому вираженні величина  $P_m$  (вага тіла в повітрі) визначається безпосередньо з першого зважування, величина  $P_e$  (вага води в обсязі тіла) обчислюється за формулою (2.5), а величини  $\rho_e$  і  $\rho_{пов}$  (густина води і густина повітря при температурі спостереження) беруться з довідкових таблиць.

## ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

До протоколу лабораторної роботи внести наступні дані:

Температура води  $t =$  ,  $[t] =$  °C

Густина води (при температурі  $t$ )  $\rho_e =$  ,  $[\rho_e] =$  кг/м<sup>3</sup>

Густина повітря  $\rho_{пов} = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>

Прискорення вільного падіння  $g = 9,80665$  м/с<sup>2</sup>

Маса тіла (зважування в повітрі)  $M_m =$  ,  $[M_m] =$  кг

Вага тіла (зважування в повітрі)  $P_m =$  ,  $[P_m] =$  Н

Маса тіла (зважування у воді)  $M_m(\text{у воді}) =$  ,  $[M_m(\text{у воді})] =$  кг

Вага тіла (зважування у воді)  $P_1 =$  ,  $[P_1] =$  Н

Вага води, витиснутої тілом  $P_e =$  ,  $[P_e] =$  Н

Густина досліджуваного тіла  $\rho_m =$  ,  $[\rho_m] =$  кг/м<sup>3</sup>

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фізична величина ?
2. Назвіть основні одиниці **SI** в установленому порядку, запишіть їхні розмірності.
3. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
4. Чим характеризують точність вимірювання ?
5. Що таке засіб вимірювання ?
6. Розкажіть про основні принципи вимірювання.
7. Розкажіть про класифікацію вимірювань.
8. Дайте визначення похибки вимірювання.

### 3. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

#### «ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ В ДАНІЙ ТОЧЦІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ»

**МЕТА РОБОТИ:** визначити прискорення вільного падіння, абсолютну і відносну похибки при проведенні непрямих вимірювань.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

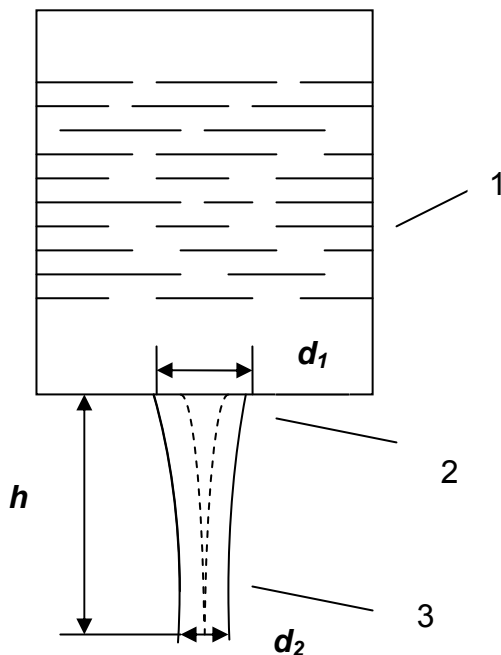


Рисунок 3.1

Визначити прискорення сили ваги можна, спостерігаючи за струменем води, що витікає з крану, або струменем води, що витікає в атмосферу через донний отвір у резервуарі **1** при постійному напорі в ньому. Позначимо через  $d_1$  і  $d_2$  діаметри струменя води **3** в отворі **2** і на відстані  $h$  від нього (див. Рис. 3.1). Тоді з рівняння Бернуллі для ідеальної рідини і рівняння нерозривності потоку

$$Q = V\omega = V_1\omega_1 = V_2\omega_2, \quad (3.1)$$

де  $\omega_1$  і  $\omega_2$  - площі поперечного перерізу струменя, які відповідно дорівнюють

$$\omega_1 = \pi \frac{d_1^2}{4}, \quad \omega_2 = \pi \frac{d_2^2}{4}, \quad (3.2)$$

маємо залежність для визначення об'ємної витрати води

$$Q = \frac{\pi d_1^2 d_2^2}{4} \sqrt{\frac{2gh}{d_1^4 - d_2^4}}. \quad (3.3)$$

У той же час витрата води  $Q$  визначається об'ємом води  $W$ , що витікає за час  $t$

$$Q = \frac{W}{t} \quad (3.4)$$

Звідси

$$g = 8 \frac{W^2}{t^2} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{\pi^2 d_1^4 d_2^4 h} \quad (3.5)$$

Слід зазначити, що кінцевий результат буде перекручений в'язкістю води. Порівняно невеликі похибки у визначенні  $d_1$  і  $d_2$  сильно позначаються на похибці кінцевого результату тому, що в розрахункову формулу діаметри входять у четвертому ступені.

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Наповнити резервуар **1** водою, підтримуючи надалі рівень води (напір) постійним, що дозволить вважати швидкість витікання води  $V_1$  з отвору постійною.
2. На відстані  $h$  від отвору розмістити мірну ємність для вимірювання об'єму води, що витікає,  $W$ , час заповнення якої (ємності)  $t$  визначають за допомогою секундоміра.
3. Використовуючи вимірювальний циркуль і лінійку (або штангенциркуль), вимірити діаметри  $d_1$  і  $d_2$  струменя води, як показано на Рис. 3.1.
4. При необхідності проведення статистичної обробки отриманих результатів операції **1 – 3** повторити, виходячи з поставленої задачі.

### ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

До протоколу лабораторної роботи внести наступні дані:

Висота падіння струменя  $h =$  ,  $[h] =$  м вод.ст.

Діаметр струменя при витіканні з отвору  $d_1 =$  ,  $[d_1] =$  м

Діаметр струменя на відстані  $h$  від отвору  $d_2 =$  ,  $[d_2] =$  м

Об'єм води  $W =$  ,  $[W] =$  м<sup>3</sup>

Час (витікання об'єму води  $W$ )  $t =$  ,  $[t] =$  с

За формулою (3.5) провести розрахунок прискорення вільного падіння  $g$  (для розрахунків узяти  $\pi=3,14$ ).

Таблиця 3.1.

Номер експерименту	Об'єм води, що витікає через отвір ( $W$ )	Час витікання ( $t$ )	Прискорення вільного падіння ( $g$ )
1.	$W_1 =$ м <sup>3</sup>	$t_1 =$ с	$g_1 =$ м/с <sup>2</sup>
2.	$W_2 =$ м <sup>3</sup>	$t_2 =$ с	$g_2 =$ м/с <sup>2</sup>
-----	-----	-----	-----

Для обчислення граничної відносної похибки  $\delta(g)$  при обчисленні  $g$  (у ході одного експерименту) необхідно визначити граничні абсолютні похибки кожного співмножника, що входить у формулу (3.5) і записати отримані результати в Таблицю 3.2. Порівнюючи отримане значення прискорення вільного падіння з точним значенням, можна безпосередньо визначити абсолютну  $\Delta g$  і відносну  $\delta(g)$  похибки.

Таблиця 3.2.

Значення параметра, що використовується в розрахунках	Більш точне значення	Абсолютна похибка	Відносна похибка
$X$	$X_{точ}$	$\Delta X =  X_{точ} - X $	$\delta(X) = \Delta X / X$
$\pi = 3,14$	$\pi = 3,141593$	$\Delta \pi =$	$\delta(\pi) =$
$d_1 =$	$d_1 =$	$\Delta d_1 =$	$\delta(d_1) =$
$d_2 =$	$d_2 =$	$\Delta d_2 =$	$\delta(d_2) =$
$t =$	$t =$	$\Delta t =$	$\delta(t) =$
$W =$	$W =$	$\Delta W =$	$\delta(W) =$
$h =$	$h =$	$\Delta h =$	$\delta(h) =$
$g =$	$g = 9,80665$	$\Delta g =$	$\delta(g) =$

Застосовуючи загальну формулу для похибки при непрямих вимірюваннях, виконують такі дії:

1. Для вираження у формулі (3.5) абсолютну похибку  $\Delta g$  визначаємо по формулі

$$\Delta g = \left| \frac{\partial g}{\partial W} \right| \cdot |\Delta W| + \left| \frac{\partial g}{\partial t} \right| \cdot |\Delta t| + \left| \frac{\partial g}{\partial \pi} \right| \cdot |\Delta \pi| + \left| \frac{\partial g}{\partial d_1} \right| \cdot |\Delta d_1| + \left| \frac{\partial g}{\partial d_2} \right| \cdot |\Delta d_2| + \left| \frac{\partial g}{\partial h} \right| \cdot |\Delta h|, \quad (3.6)$$

у якій використовуються значення відповідних абсолютних похибок і вираження для часткових похідних, узятих по відповідному параметру ( $W$ ,  $t$ ,  $\pi$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $h$ ),

$$\frac{\partial g}{\partial W} = \frac{16W}{t^2} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{\pi^2 d_1^4 d_2^4 h}, \quad \frac{\partial g}{\partial t} = -\frac{16W^2}{t^3} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{\pi^2 d_1^4 d_2^4 h}, \quad \frac{\partial g}{\partial \pi} = -\frac{16W^2}{t^2} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{\pi^3 d_1^4 d_2^4 h}, \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial g}{\partial h} = -\frac{8W^2}{t^3} \cdot \frac{d_1^4 - d_2^4}{\pi^2 d_1^4 d_2^4 h^2}, \quad \frac{\partial g}{\partial d_1} = \frac{32W^2}{t^2 \pi^2 h} \cdot \frac{1}{d_1^5}, \quad \frac{\partial g}{\partial d_2} = -\frac{32W^2}{t^2 \pi^2 h} \cdot \frac{1}{d_2^5}.$$

Слід зазначити, що для розрахунку беруть абсолютні значення.

2. Записуємо

$$g = g \text{ (розрахункове)} \pm \Delta g. \quad (3.8)$$

3. Гранична відносна похибка прискорення вільного падіння

$$\delta(g) = \Delta g / g \text{ (розрахункове)}. \quad (3.9)$$

4. Порівнюємо отримані значення абсолютної (3.6) і відносної (3.9) похибок з величинами в Таблиці 3.2.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке фізична величина ?
2. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
3. Чим характеризують точність вимірювання ?
4. Що таке засіб вимірювання ?
5. Як визначаються класи точності засобів вимірювання ?
6. Розкажіть про основні принципи вимірювання.
7. Розкажіть про класифікацію вимірювань.
8. Дайте визначення похибок вимірювання.

## 4. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### «ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ МІСЦЕВОГО ОПОРУ»

**МЕТА РОБОТИ:** визначити коефіцієнти місцевого опору (система вхід з резервуара в трубу-кран-насадка) у залежності від різного ступеня відкриття крану, визначити абсолютну і відносну похибку при проведенні непрямих вимірів.

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

При русі реальної рідини, крім втрат на тертя по довжині потоку, можуть виникати місцеві втрати напору. Причиною останніх у трубопроводах є різного роду конструктивні вставки (коліна, трійники, звуження і розширення трубопроводу, засувки, вентилі і т.д.), необхідність установки яких викликається умовами спорудження й експлуатації. Місцеві опори викликають зміну швидкості руху рідини по величині (звуження і розширення), напрямові (коліно) або по величині і напрямові одночасно (трійник).

При практичних розрахунках місцеві втрати визначають по формулі, що виражає втрату пропорційно швидкісному наповорі,

$$h = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (4.1)$$

де  $h$  – втрати напору,  $V$  – середня швидкість руху рідини в перетині потоку за місцевим опором,  $\zeta$  - безрозмірний коефіцієнт, який називається коефіцієнтом місцевого опору. Величина коефіцієнта  $\zeta$  встановлюється дослідним шляхом і залежить від виду місцевого опору.

Розглянемо витікання води з резервуару через насадку при постійному напорі  $H$ .

Швидкість витікання води з отвору (насадки) визначається за формулою

$$V = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{\text{суст}}}} \sqrt{2gH} = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (4.2)$$

де  $\varphi$  називають **коефіцієнтом швидкості**. Він враховує у формулі (4.2) вплив опору на швидкість витікання. Площа перерізу стиснутої частини струменя  $\omega_{\text{ст}}$  менше площі вхідного отвору насадки  $\omega$ . Для кількісної оцінки ступеня стиску струменя в теорії витікання використовують **коефіцієнт стиснення струменя  $\varepsilon$**



$$\varepsilon = \omega_{cm} / \omega . \quad (4.3)$$

Витрата води при витіканні з отвору (насадки) будь-якого типу знаходиться в прямій залежності від швидкості струменя і площі вихідного перерізу насадки. Визначається витрата води за формулою:

$$Q = \varphi \varepsilon \omega \sqrt{2gH} = \mu \omega \sqrt{2gH} . \quad (4.4)$$

Добуток  $\mu = \varphi \varepsilon$  називають **коефіцієнтом витрати**. Для циліндричної насадки  $\omega_{cm} = \omega$

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4} , \quad (4.5)$$

де  $d$  – діаметр насадки, тому  $\varepsilon = 1$ .

З формули (4.5) видно, що напір води в насадці витрачається на подолання опору й утворення струменя. Таким чином, швидкість струменя, витрата і напір води є важливими параметрами для розрахунку пожежних струменів і насосно-рукавних систем.

У формулі (4.2)  $\zeta_{сист} = \zeta_{вх} + \zeta_{нас} + \zeta_{кр}$  (відповідно сума коефіцієнтів місцевих опорів входу з резервуара в трубу, насадки і крана), тобто коефіцієнт  $\varphi$  для системи насадка-кран набуває вигляду

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_{вх} + \zeta_{нас} + \zeta_{кр}}} . \quad (4.6)$$

Взагалі, з урахуванням формул (4.2), (4.3) можна визначити  $\zeta_{сист}$

$$\zeta_{сист} = \frac{\pi^2 d^4 t^2}{8W^2} gH - 1 , \quad (4.7)$$

де  $W$  – об'єм рідини, що витікає з насадки діаметром  $d$  за час  $t$  при постійному напорі  $H$ . Якщо відомі (зі спеціальних гідравлічних довідників) коефіцієнти  $\zeta_{вх}$  і  $\zeta_{нас}$ , то остаточно коефіцієнт  $\zeta_{кр}$  визначається по формулі

$$\zeta_{кр} = \zeta_{сист} - (\zeta_{вх} + \zeta_{нас}) . \quad (4.8)$$

На Рис. 4.1 приведена схема лабораторної установки.

**1** – напірний резервуар, **2** – скляна трубка з водою, що показує рівень води в напірному резервуарі, **3** – лінійка для заміру напору в резервуарі, **4** – манометр тиску, **5** – вентиль з трубою для подачі води в напірний резервуар, **6** – вентиль з трубою для зливу води з напірного резервуару, **7** – кран, **8** – з'єднувальна голівка, **9** – насадка.

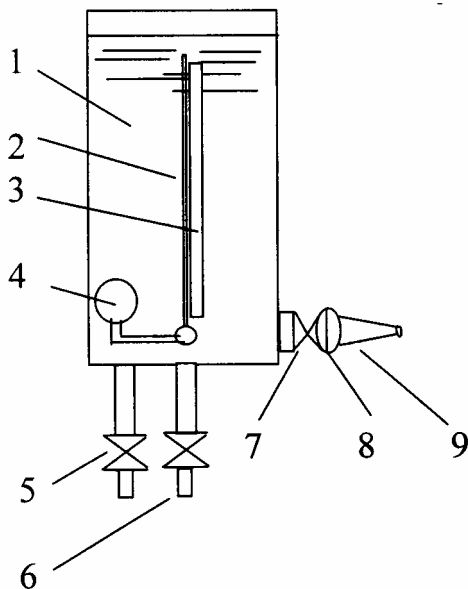
## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Протягом роботи виконуються 4 ідентичних за своєю послідовністю експерименти (пункти 2 – 5).

Увага ! Кран **5** необхідно відкривати для кожного вимірювання відповідно на:

1)  $\frac{1}{2}$  оберта; 2) 1 оберт; 3)  $1\frac{1}{2}$  оберта; 4) 2 оберти.

1. Виходячи зі шкали лінійки **3**, визначають величини напору  $H$ . Якщо нульова відмітка лінійки **3** не збігається з поздовжньою віссю насадки, тобто розташована вище за неї на деяку висоту  $H_{дод}$ , то рівень  $H$  (дійсний) =  $H + H_{дод}$ . У подальших розрахунках необхідно використовувати саме цю величину.
2. При закритому вентилі **6** відкрити вентиль **5**, при цьому вода подається до напірного резервуару **1**. Контроль рівня води в ньому здійснюється за допомогою лінійки **3**.
3. Після того, як рівень води в напірному резервуарі **1** становитиме приблизно на **5** см вище рівня  $H$  (що досягається регулюванням вентиля для подачі води в напірний резервуар **5** та вентиля для зливу води з напірного резервуару **6**), відкрити кран **7**, що приведе до витікання води через насадку **9**.



4. Не закриваючи крана **7**, відкрити вентиль **6**, що приведе до зниження рівня води в напірному резервуарі **1** до величини  $H$ . Регулюванням вентиля **5** і крана **6** необхідно підтримувати рівень  $H$  незмінним.
5. Провести вимірювання витрат води через насадку **9** за допомогою секундоміра та мірної ємності. Значення  $W$ ,  $t$

записати до протоколу лабораторної роботи.

6. Закрити вентиль **5**, відкрити вентиль **6** для повного спорожнення напірного резервуару **1**.

## ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

До протоколу лабораторної роботи внести наступні дані:

Прискорення вільного падіння  $g =$  ,  $[g] = \text{м/с}^2$

Діаметр насадки  $d =$  ,  $[d] = \text{м}$

Напір  $H =$  ,  $[H] = \text{м вод.ст.}$

Коефіцієнт місцевого опору для входу в трубу без заокруглення вхідних крайок  $\zeta_{\text{вх}} =$

Коефіцієнт місцевого опору для насадки  $\zeta_{\text{нас}} =$

За формулами (4.7) і (4.8) провести розрахунок коефіцієнтів місцевого опору для системи в цілому і для крана (для розрахунків узяти  $\pi=3,14$ ). Результати записати в Таблицю 4.1.

Таблиця 4.1.

Номер експерименту	Ступінь відкриття крана	Об'єм води, що впливає через насадку	Час витікання	Коефіцієнт місцевого опору для крана
1.	½ оберта	$W =$ $\text{м}^3$	$t_1 =$ $\text{с}$	$\zeta_{\text{кр}} =$
2.	1 оберт	$W =$ $\text{м}^3$	$t_2 =$ $\text{с}$	$\zeta_{\text{кр}} =$
3.	1 ½ оберта	$W =$ $\text{м}^3$	$t_3 =$ $\text{с}$	$\zeta_{\text{кр}} =$
4.	2 оберти	$W =$ $\text{м}^3$	$t_4 =$ $\text{с}$	$\zeta_{\text{кр}} =$

Для обчислення граничної відносної похибки  $\delta(\zeta_{\text{кр}})$  при визначенні  $\zeta_{\text{кр}}$  (у ході одного з 4-х експериментів) необхідно визначити граничні абсолютні похибки кожного співмножника, що входить у формулу (4.7) і записати отримані результати в Таблицю 4.2.

Застосовуючи загальну формулу для похибки при непрямих вимірах, виконують такі дії:

- Беремо натуральний логарифм від правої та лівої частини рівняння в формулі (4.7)

$$\ln \zeta_{\text{кр}} = 2 \cdot \ln \pi + 4 \cdot \ln d + 2 \cdot \ln t + \ln g + \ln H - 2 \cdot \ln W - \ln 8$$

- Заміняємо приріст диференціалами

$$\frac{\Delta \zeta_{\text{кр}}}{\zeta_{\text{кр}}} = 2 \frac{\Delta \pi}{\pi} + 4 \frac{\Delta d}{d} + 2 \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta g}{g} + \frac{\Delta H}{H} - 2 \frac{\Delta W}{W}$$

3. Представляємо у вигляді суми відносних похибок (з Таблиці 4.2) (тільки зі знаком „+” !)

$$\delta(\zeta_{кр}) = 2 \cdot \delta(\pi) + 4 \cdot \delta(d) + 2 \cdot \delta(t) + \delta(g) + \delta(H) + 2 \cdot \delta(W)$$

4. Визначаємо абсолютну похибку

$$\Delta\zeta_{кр} = \zeta_{кр} \text{ (розрахункове)} \cdot \delta(\zeta_{кр})$$

5. Остаточо запишемо

$$\zeta_{кр} = (\zeta_{кр} \text{ (розрахункове)} \pm \Delta\zeta_{кр})$$

Таблиця 4.2.

Значення параметра, що використовується в розрахунках	Більш точне значення	Абсолютна похибка	Відносна похибка
$X$	$X_{точ}$	$\Delta X =  X_{точ} - X $	$\delta(X) = \Delta X / X$
$\pi = 3,14$	$\pi = 3,141593$	$\Delta\pi =$	$\delta(\pi) =$
$d =$	$d =$	$\Delta d =$	$\delta(d) =$
$t =$	$t =$	$\Delta t =$	$\delta(t) =$
$W =$	$W =$	$\Delta W =$	$\delta(W) =$
$H =$	$H =$	$\Delta H =$	$\delta(H) =$
$g =$	$g = 9,80665$	$\Delta g =$	$\delta(g) =$

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
2. Чим характеризують точність вимірювання ?
3. Що таке засіб вимірювання ?
4. Розкажіть про основні принципи вимірювання.
5. Розкажіть про класифікацію вимірювань.
6. Дайте визначення похибки вимірювання.
7. Визначіть основні витoki похибок результату вимірювання.

## 5. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### «ПОБУДОВА ДОВІРЧОГО ІНТЕРВАЛУ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО ОЧІКУВАННЯ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ»

**МЕТА РОБОТИ:** визначити оцінку  $\tilde{D}$  для математичного очікування діаметра резервуару по вимірах часу спорожнювання резервуара з водою, побудувати довірчий інтервал  $I_\beta$ , що відповідає заданій довірчій імовірності  $\beta$ .

#### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Якщо треба визначити час  $T$ , необхідний не для повного спорожнення резервуару, а для зниження рівня рідини в ньому на деяку величину від  $H_{\text{поч}}$  до  $H_{\text{кін}}$  ( $H_{\text{поч}} > H_{\text{кін}}$ ), використовують формулу

$$T = \frac{2\Omega(\sqrt{H_{\text{поч}}} - \sqrt{H_{\text{кін}}})}{\mu\omega\sqrt{2g}}, \quad (5.1)$$

де  $\Omega$  - площа поперечного переріза резервуару (вважається незмінною по всій його висоті),  $D$  - діаметр резервуара,  $\omega$  - площа поперечного переріза насадки,  $d$  - діаметр насадки, тоді

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4}, \quad \omega = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (5.2)$$

$\mu$  - коефіцієнт витрати системи,  $\varphi$  - коефіцієнт швидкості,  $\varepsilon$  - коефіцієнт стиску, тоді

$$\mu = \varphi \cdot \varepsilon. \quad (5.3)$$

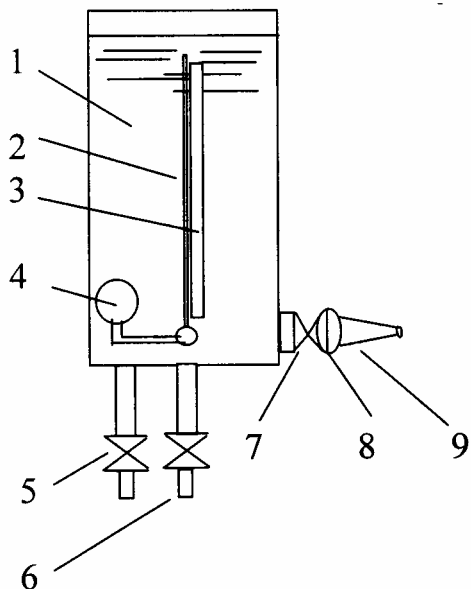
Для циліндричної насадки  $\varepsilon=1$ , тоді  $\mu=\varphi$ .

З урахуванням приведених позначень одержимо вираження для діаметра  $D$

$$D = \left( \sqrt{\frac{g}{2}} \cdot \frac{\varphi T d^2}{(\sqrt{H_{\text{поч}}} - \sqrt{H_{\text{кін}}})} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (5.4)$$

На Рис. 5.1 приведена схема лабораторної установки, на якій позначені:

**1** – напірний резервуар, **2** – скляна трубка з водою, що показує рівень води в напірному резервуарі, **3** – лінійка для вимірювання напору в резервуарі, **4** – манометр тиску, **5** – вентиль з трубою для подачі води в на-



пiрний резервуар, **6** - вентиль з трубою для зливу води з напiрного резервуару, **7** - кран, **8** - з'єднувальна голiвка, **9** - насадка.

Рисунок 5.1.

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виходячи зi шкали лiнiйки **3**, визначають величини напорiв  $H_{поч}$  i  $H_{кiн}$ , вибирають кiлькiсть iнтервалiв  $n$  ( $n > 5$ ) розбивки дiапазону ( $H_{поч} - H_{кiн}$ ), визначають величину  $\Delta H$

$$\Delta H = \frac{H_{поч} - H_{кiн}}{n} \quad (5.5)$$

Якщо нульова вiдмiтка лiнiйки **3** не збiгається з поздовжньою вiссю насадки, тобто розташована вище за неї на деяку висоту  $H_{дод}$ , то рiвнi визначаються таким чином:  $H_{поч}$  (дiйсний) =  $H_{поч} + H_{дод}$ ,  $H_{кiн}$  (дiйсний) =  $H_{кiн} + H_{дод}$ . У подальших розрахунках необхідно використовувати саме цi величини.

2. Визначають значення рiвнiв  $H_i$  ( $i=0..n$ ):

$$H_0 = H_{поч}, H_1 = H_0 - \Delta H, H_2 = H_1 - \Delta H, \dots, H_n = H_{n-1} - \Delta H = H_{кiн}. \quad (5.6)$$

3. При закритому вентилi **6** вiдкрити вентиль **5**, при цьому вода подається до напiрного резервуару **1**. Контроль рiвня води в ньому здiйснюється за допомогою лiнiйки **3**.

4. Пiсля того, як рiвень води в напiрному резервуарi **1** становитиме приблизно на 5 см вище рiвня  $H_{поч}$  (що досягається регулюванням вентиля для подачi води в напiрний резервуар **5** та вентиля для зливу води з напiрного резервуара **6**), вiдкрити кран **7**, що приведе до витiкання води через насадку **9**.

5. Провести  $n$  вимiрювань часу  $T_i$  спорожнення резервуара з рiвня  $H_{i-1}$  до рiвня  $H_i$ , ( $i=1..n$ ). При цьому кран **7** залишається в незмiнному положеннi протягом усiх вимiрювань, тому що коефiцiєнт швидкостi  $\phi$  приймає рiзнi значення залежно вiд ступеня вiдкриття вентиля.

6. З огляду на безперервне зниження рівня води в резервуарі, необхідно узгоджено і максимально точно фіксувати час  $T_j$ . Для цього необхідно використання двох секундомірів, кожний з яких буде задіяний поперемінно в такій послідовності операцій:

Рівень  $H_0$  – включення 1-го секундоміра –  
 досягнення рівня  $H_1$  – одночасно зупинка 1-го секундоміра і включення 2-го секундоміра – фіксація часу спорожнення  $T_1$  за 1-м секундоміром, скидання показань 1-го секундоміра –  
 досягнення рівня  $H_2$  – одночасно зупинка 2-го секундоміра і включення 1-го секундоміра – фіксація часу спорожнення  $T_2$  за 2-м секундоміром, скидання показань 2-го секундоміра –  
 досягнення рівня  $H_3$  – (і так далі до досягнення рівня  $H_n$ ).

7. Закрити вентиль **5**, відкрити вентиль **6** для повного спорожнення напірного резервуару **1**.

### ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

До протоколу лабораторної роботи внести наступні дані:

Прискорення вільного падіння  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$

Діаметр насадки  $d =$  ,  $[d] = \text{м}$

Коефіцієнт швидкості  $\varphi =$  ,  $[\varphi] = 1$  (безрозмірна величина)

Початковий рівень  $H_0 =$  ,  $[H_0] = \text{м вод.ст.}$

Кінцевий рівень  $H_n =$  ,  $[H_n] = \text{м вод.ст.}$

Число інтервалів  $n =$

Довірча імовірність  $\beta =$  ,  $[\beta] = 1$  (безрозмірна величина)

Параметр  $t_\beta =$  для  $n-1$  і  $\beta$  (за Таблицею 7.3)

Результати проведених розрахунків за формулою (5.4) занести до Таблиці 5.1.

За результатами розрахунків мають бути визначеними:

1. Оцінка математичного очікування діаметра резервуара  $\tilde{D} =$  ,  $[\tilde{D}] = \text{м}$ , оцінка дисперсії  $\sigma^2 =$  ,  $[\sigma^2] = \text{м}^2$

$$\tilde{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i, \quad \sigma^2 = \frac{n}{n-1} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n D_i^2}{n} - \tilde{D}^2 \right]. \quad (5.7-8)$$

2. Половина довірчого інтервалу  $\varepsilon_\beta =$  ,  $[\varepsilon_\beta] = \text{м}$

$$\varepsilon_{\beta} = t_{\beta} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}} . \quad (5.9)$$

3. Довірчий інтервал  $I_{\beta} = (\tilde{D} - \varepsilon_{\beta}; \tilde{D} + \varepsilon_{\beta})$ ,  $[I_{\beta}] = M$

Таблиця 5.1.

$H_0 =$ М ВОД.СТ.	$T_1 =$ С	$D_1 =$ М	$D_1^2 =$ М <sup>2</sup>
$H_1 =$ М ВОД.СТ.	$T_2 =$ С	$D_2 =$ М	$D_2^2 =$ М <sup>2</sup>
$H_2 =$ М ВОД.СТ.	$T_3 =$ С	$D_3 =$ М	$D_3^2 =$ М <sup>2</sup>
$H_3 =$ М ВОД.СТ.	-----	-----	-----
-----	$T_{n-1} =$ С	$D_{n-1} =$ М	$D_{n-1}^2 =$ М <sup>2</sup>
$H_{n-1} =$ М ВОД.СТ.	$T_n =$ С	$D_n =$ М	$D_n^2 =$ М <sup>2</sup>
$H_n =$ М ВОД.СТ.		$\sum_{i=1}^n D_i =$ М	$\sum_{i=1}^n D_i^2 =$ М <sup>2</sup>

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Чим відрізняються прямі вимірювання від непрямих ?
2. Розкажіть про класифікацію вимірювань.
3. Чим характеризують точність вимірювання ?
4. Що таке засіб вимірювання ?
5. Дайте визначення похибки вимірювання.
6. Визначіть основні витoki похибок результату вимірювання.
7. Що таке математичне очікування, дисперсія випадкової величини та їхні оцінки ?
8. Що таке довірчий інтервал, довірна ймовірність ?



## 6. ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### «ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ»

**МЕТА РОБОТИ:** визначити величини параметрів шорсткості поверхні для запропонованої профілограми

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ

Шорсткість поверхні є однією з основних геометричних характеристик якості поверхні деталей і впливає на експлуатаційні показники. Вимоги до шорсткості поверхні повинні установлюватися виходячи з функціонального призначення поверхні для забезпечення заданої якості виробів.

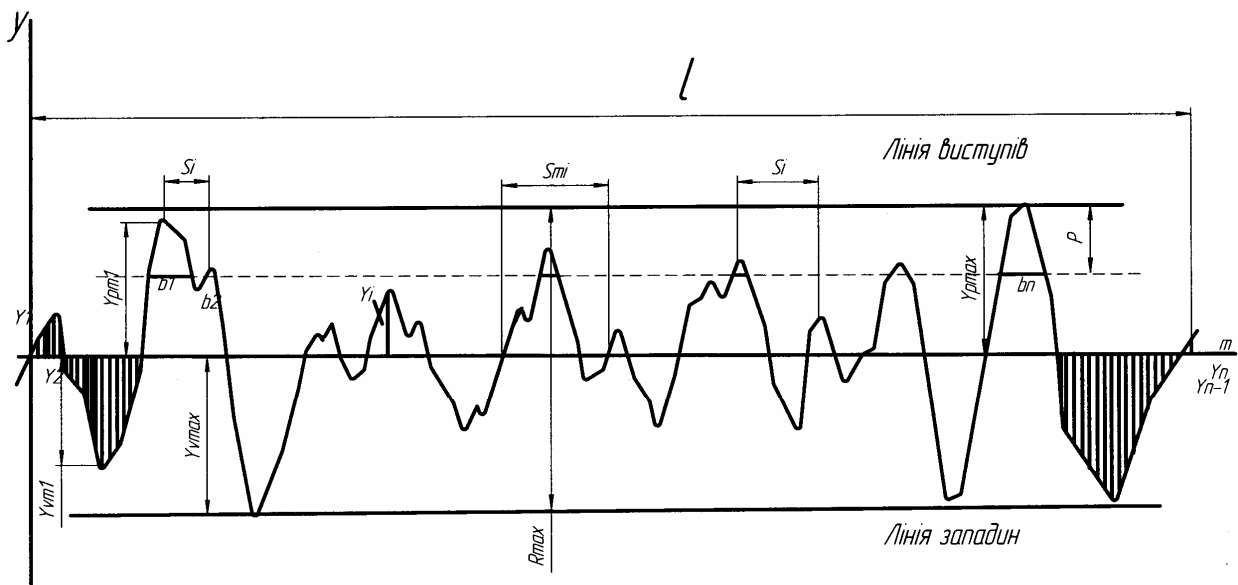


Рисунок 6.1.

Державний стандарт розроблений для забезпечення підвищених вимог до якості виробів шляхом повного урахування властивостей шорсткості поверхні і прогресивних методів їхнього нормування. Він встановлює вимоги до шорсткості поверхні незалежно від способу її одержання або обробки.

Шорсткість поверхні оцінюється по нерівностях профілю (частіше поперечного), одержаного шляхом перетину реальної поверхні площиною (найчастіше в нормальному перетині). Для відділення шорсткості поверхні від інших нерівностей з відносно великими кроками (відхилення форми і хвилястості) її розглядають для обмеженої ділянки (див. Рис. 6.1), довжина якої називається базовою довжиною  $l$ . Базою для відліку відхилень профілю є середня лінія профілю  $m$ . Для визначення параметрів шорсткості вводяться наступні величини:

- Відхилення профілю  $y$  - відстань між точкою профілю і базовою лінією
- Лінія виступів профілю – лінія, еквідистантна середньої лінії, що проходить через найвищу точку профілю в межах базової довжини
- Лінія западин профілю - лінія, еквідистантна середньої лінії, що проходить через найнижчу точку профілю в межах базової довжини
- Висота виступу профілю  $y_{pm}$  - відстань від середньої лінії профілю до вищої точки виступу профілю ( $Y_{pmax}$  – висота найбільшого виступу профілю)
- Глибина западини профілю  $y_{vm}$  - відстань від середньої лінії профілю до нижчої точки западини профілю ( $Y_{vmax}$  – глибина найбільшої западини профілю)

Для кількісної оцінки і нормування шорсткості поверхонь встановлено шість параметрів: три висотних ( $R_{max}$ ,  $R_z$ ,  $R_a$ ), два крокових ( $S_m$ ,  $S$ ) і параметр відносної опорної довжини профілю ( $t_p$ ). Слід зазначити, що усі висотні параметри мають розмірність (мкм), а крокові – (мм).

1. Параметри шорсткості, зв'язані з висотними властивостями нерівностей.

$R_{max}$  – найбільша висота нерівностей профілю.  $R_{max} = Y_{pmax} + Y_{vmax}$ .

$R_z$  – висота нерівностей профілю по десятих точках, або сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибин п'яти найбільших западин профілю в межах базової довжини

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 y_{pmi} + \sum_{i=1}^5 |y_{vmi}|}{5}, \quad (6.1)$$

де  $y_{pmi}$  - висота  $i$ -го найбільшого виступу профілю;  $y_{vmi}$  – глибина  $i$ -ої найбільшої западини профілю.

$R_a$  – середнє арифметичне відхилення профілю, або в межах базової довжини

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx; \quad R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (6.2)$$

де  $l$  - базова довжина,  $n$  - число обраних дискретних точок профілю на базовій довжині.

2. Параметри шорсткості, зв'язані з властивостями нерівностей у напрямку довжини профілю.

$S_{mi}$  - крок нерівностей профілю – відрізок середньої лінії профілю, що містить нерівність профілю, або довжина відрізка середньої лінії, обмеженого точками перетинання цієї лінії однойменних сторін сусідніх нерівностей.

$S_m$  - середній крок нерівностей профілю – середнє значення кроку нерівностей профілю по середній лінії ( $m$ ) у межах базової довжини.

$$S_m = \frac{1}{n_m} \sum_{i=1}^{n_m} S_{mi} , \quad (6.3)$$

$n_m$  – число кроків у межах базової довжини.

$S_i$  - крок нерівностей (місцевих виступів) профілю – відрізок середньої лінії між проєкціями на неї найвищих крапок сусідніх місцевих виступів профілю, або відстань між вершинами характерних нерівностей у межах базової довжини.

$S$  - середній крок нерівностей по вершинах профілю – середнє значення кроків нерівностей (місцевих виступів) профілю (по вершинах), що знаходяться в межах базової довжини.

$$S = \frac{1}{n_{pk}} \sum_{i=1}^{n_{pk}} S_i , \quad (6.4)$$

$n_{pk}$  – число кроків у межах базової довжини.

3.  $t_p$  - відносна опорна довжина профілю – відношення опорної довжини профілю до базової довжини у відсотках

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \bullet 100\% , \quad (6.5)$$

де  $\eta_p$  - сума довжин  $n_t$  відрізків, що відтинаються на заданому рівні в матеріалі профілю лінією, яка еквідистантна до середньої лінії в межах базової довжини

$$\eta_p = \sum_{i=1}^{n_t} b_i . \quad (6.6)$$

Рівень перетину профілю  $p$  – відстань між лінією виступів профілю і лінією, що перетинає профіль еквідистантно до лінії виступів (або середньої лінії) профілю, виражене у відсотках від  $R_{max}$  ( $P$  і  $R_{max}$  – у мкм), тобто

$$p = \frac{P}{R_{max}} 100\% . \quad (6.7)$$

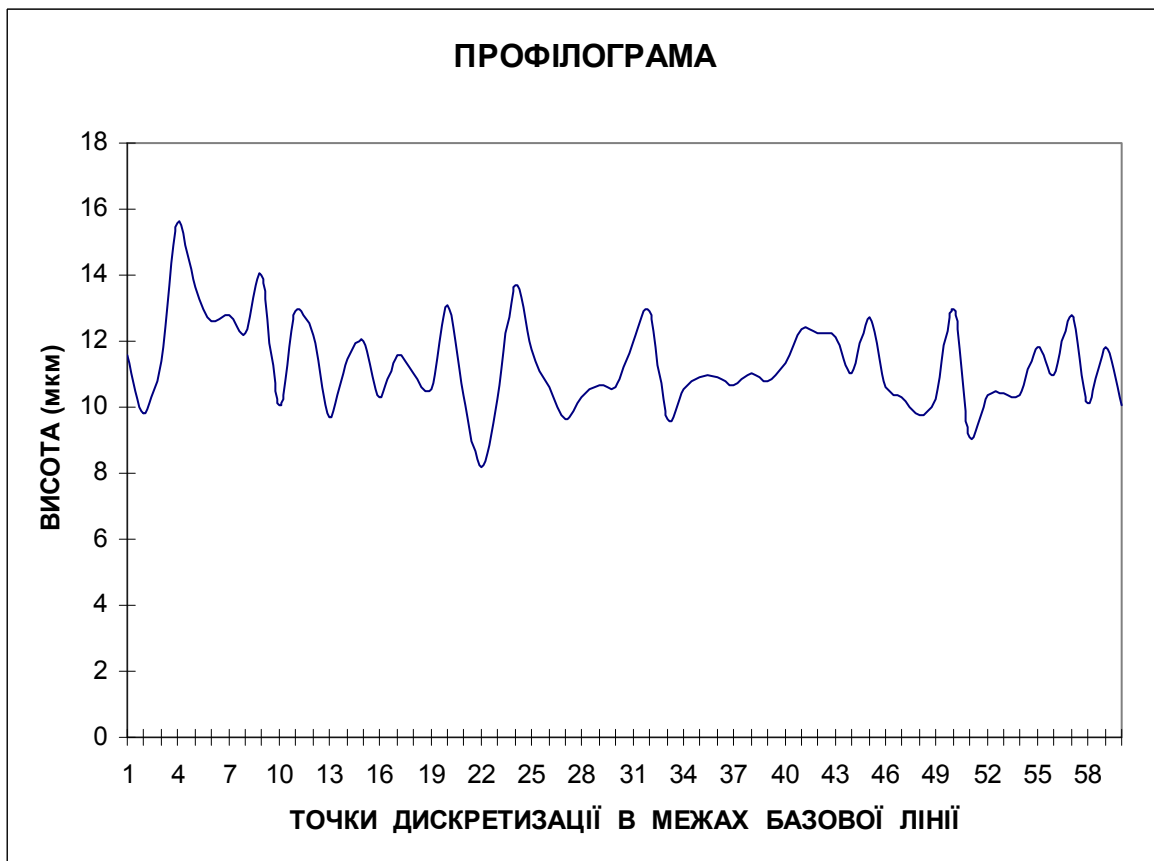


Рисунок 6.2.

Для визначення зазначених параметрів шорсткості пропонується профілограма, аналогічна представленій на Рис. 6.2. з базовою довжиною  $l = 0,25$  мм (у масштабі) і  $n = 60$ . На вертикальній осі приведені значення висот в мікрометрах.

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ ОБРОБКА Й АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Для цієї лабораторної роботи стадія отримання профілограми вважається відсутньою, тому порядок виконання роботи, обробка й аналіз результатів збігаються.

1. Визначається середня лінія  $m$ . Для цього на запропонованій профілограмі від горизонтальної осі з зазначеними точками дискретизації до профілю вимірюються величини  $Y_i$  ( $i = 1.. n$ ). Положення середньої лінії  $m$  визначається за формулою

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i, \quad (6.8)$$

а сама лінія викреслюється на аналізованій профілограмі. Тоді відхилення профілю  $y_i$  - відстань між точкою профілю і базовою лінією – визначаються за формулою

$$y_i = Y_i - m . \quad (6.9)$$

До протоколу лабораторних робіт записують величини  $Y_i$  ( $i = 1.. n$ ) та відповідні до них величини  $y_i$  ( $i = 1.. n$ ).

2. Визначаються величини  $Y_{pmax}$  та  $Y_{vmax}$ .
3. Визначається параметр  $R_{max} = Y_{pmax} + Y_{vmax}$ .
4. Визначаються параметри  $R_z$  і  $R_a$  за формулами (6.1, 6.2).
5. Визначаються параметри  $S_m$  і  $S$  за формулами (6.3, 6.4).
6. Визначаються параметри  $\eta_p$  і  $t_p$  для рівня  $p$ , обраного з запропонованого ряду:  $p = (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70)$  % за формулами (6.5-6.7).

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке відхилення форми поверхні ?
2. В чому різниця між хвилястістю та шорсткістю ?
3. Які параметри визначають при аналізі профілограми ?
4. В чому різниця між висотними та кроковими параметрами ?
5. Як впливають відхилення геометричних показників на взаємозамінність деталей ?

## 7. РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

Задача 1.

### ПОБУДОВА ДОВІРЧОГО ІНТЕРВАЛУ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО ОЧІКУВАННЯ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ, РОЗПОДІЛЕНОЇ ЗА НОРМАЛЬНИМ ЗАКОНОМ

У ході  $n=20$  вимірювань визначаються діаметри  $d_i$  ( $i=1\dots 20$ ) шариків підшипника, погрішність вимірювань яких розподілена за нормальним законом з параметрами  $m_d$  і  $\sigma_d$ . Провести дослідження для обраного параметра (див. Таблицю 7.1), розподіленого нормально з невідомими математичним очікуванням  $m_x$  і дисперсією  $D_x$ . Знайти оцінку  $\tilde{m}$  для математичного очікування і побудувати довірчі інтервали, що відповідають різним значенням довірчої імовірності  $\beta=(0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 0,98; 0,99; 0,999)$ .

### ВИКОНАННЯ РОБОТИ

За допомогою датчика випадкових чисел **RANDOM** генерується реалізація випадкової величини  $u$ , розподіленої рівномірно в інтервалі  $[0,1]$ .

Для нормального розподілу з нульовим математичним очікуванням ( $m_d=0,0$ ) і одиничною дисперсією ( $\sigma_d=1,0$ ) на основі двох генеруємих реалізацій  $u_i$  і  $u_{i+1}$  (для 20 значень мається 10 пара реалізацій) одержуємо дві реалізації  $x_i$  і  $x_{i+1}$  нормально розподіленої випадкової величини

$$x_i = \sqrt{-2 \ln u_i} \cos(2\pi u_{i+1}) \quad x_{i+1} = \sqrt{-2 \ln u_i} \sin(2\pi u_{i+1}). \quad (7.1)$$

При одержанні реалізації нормальної випадкової величини з ненульовим математичним очікуванням  $m_d$  і стандартним відхиленням  $\sigma_d$ , відмінним від одиниці, використовується наступне співвідношення

$$d_i = m_d + x_i \cdot \sigma_d, \quad (i = 1..20). \quad (7.2)$$

Значення  $m_d$  вибирають з Таблиці 7.2, величина  $\sigma_d=0,01 \cdot m_d$ .

Для всіх значень  $d_i$  ( $i=1..20$ ) необхідно визначити реалізацію досліджуваного параметра  $X_i$  ( $i=1..20$ ) відповідно до Таблиці 7.1. Дослідження проводиться за наступною схемою:

1. Визначити математичне очікування  $\tilde{m}$  і дисперсію  $\tilde{D}$  досліджуваного параметра

$$\tilde{m} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} X_i, \quad \tilde{D} = \tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{19} \left[ \sum_{i=1}^{20} X_i^2 - 20 \cdot \tilde{m}^2 \right]. \quad (7.3)$$

2. По Таблиці 7.3 для  $N=n-1=20-1=19$  і відповідного значення  $\beta$  знаходимо величину  $t_\beta$  і визначаємо  $\varepsilon_\beta$

$$\varepsilon_\beta = t_\beta \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}. \quad (7.4)$$

3. Довірчий інтервал  $l_\beta$  визначається за формулою

$$l_\beta = (\tilde{m} - \varepsilon_\beta; \tilde{m} + \varepsilon_\beta). \quad (7.5)$$

До протоколу виконання роботи занести такі дані:

- Кількість вимірювань
- Отримані значення діаметрів шариків підшипника
- Математичне очікування діаметрів шариків підшипника
- Дисперсія діаметрів шариків підшипника
- Імовірність  $\beta$
- Відповідно до величини  $\beta$  величину  $t_\beta$
- Відповідно до величини  $\beta$  величину  $\varepsilon_\beta$
- Границі (ліву та праву) довірчого інтервалу відповідно до величини  $\beta$

Форма заповнення протоколу – довільна. На стор. 32 приведений варіант заповнення протоколу, коли досліджуваним параметром є площа головного перетину шариків підшипника.

## ПРОТОКОЛ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Кількість вимірювань	20									
Діаметри шариків підшипника (мм)										
14.949	15.000	14.888	14.760	14.916	15.019	15.006	14.880	14.765	15.070	
15.054	15.140	14.873	15.239	15.039	14.967	15.117	15.043	15.027	14.922	
2451.622	2485.126	2411.791	2329.679	2429.696	2497.338	2488.891	2406.425	2333.193	2531.629	
2520.851	2578.941	2402.112	2647.047	2511.318	2463.181	2563.270	2513.375	2502.908	2433.659	
Математичне очікування діаметрів шариків підшипника (мм) 14.984										
Дисперсія діаметрів шариків підшипника (мм <sup>2</sup> ) 0.014										
Імовірність $\beta$										
0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.950	0.999
Значення $t_{\beta}$										
0.127	0.257	0.391	0.533	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.090	2.860
Значення $\epsilon_{\beta}$ (мм)										
0.0034	0.0068	0.0104	0.0142	0.0183	0.0229	0.0283	0.0353	0.0460	0.0556	0.0760
Границя довірчого інтервалу (ліва) (мм)										
14.9802	14.9768	14.9732	14.9695	14.9653	14.9607	14.9553	14.9483	14.9377	14.9281	14.9161
Границя довірчого інтервалу (права) (мм)										
14.9870	14.9905	14.9940	14.9978	15.0019	15.0065	15.0120	15.0189	15.0296	15.0392	15.0511
Математичне очікування моменту інерції (мм <sup>4</sup> ) 2475.102										
Дисперсія моменту інерції (мм <sup>8</sup> ) 6189.294										
Значення $\epsilon_{\beta}$ (мм <sup>4</sup> )										
2.2341	4.5210	6.8783	9.3763	12.1030	15.1464	18.7527	23.3617	30.4159	36.7665	44.6827
Границя довірчого інтервалу (ліва) (мм <sup>4</sup> )										
2475.0989	2475.0955	2475.0918	2475.0881	2475.0840	2475.0793	2475.0740	2475.0669	2475.0564	2475.0466	2475.0347
2475.0264	2474.9953									
Границя довірчого інтервалу (права) (мм <sup>4</sup> )										
2475.1057	2475.1091	2475.1128	2475.1165	2475.1206	2475.1252	2475.1306	2475.1377	2475.1482	2475.1580	2475.1699
2475.1782	2475.2053									



## Задача 2.

### СТАТИСТИЧНА ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗ З ВИКОРИСТАННЯМ КРИТЕРІЮ ЗГОДИ ПИРСОНА

У ході  $n=100$  вимірювань визначаються діаметри  $d_i$  ( $i=1..100$ ) шариків підшипника, погрішність вимірювань яких розподілена за нормальним законом з параметрами  $m_d$  і  $\sigma_d$ .

Визначити значення статистики  $\chi^2$  для досліджуваного параметра. Використовуючи критерій згоди Пирсона, показати, наскільки розподіл погрішностей мас, моменту інерції, площі головного перетину, поперечного моменту інерції, моменту опору шариків підшипника можна вважати нормальним. (По Таблиці 7.1 визначається досліджуваний параметр).

#### ВИКОНАННЯ РОБОТИ

За допомогою датчика випадкових чисел **RANDOM** генерується реалізація випадкової величини  $u$ , розподіленої рівномірно в інтервалі  $[0,1]$ .

Для нормального розподілу з нульовим математичним очікуванням ( $m_d=0,0$ ) і одиничною дисперсією ( $\sigma_d=1,0$ ) на основі двох генеруємих реалізацій  $u_i$  і  $u_{i+1}$  (для 100 значень виходить 50 пар реалізацій) одержуємо дві реалізації  $x_i$  і  $x_{i+1}$  нормально розподіленої випадкової величини

$$x_i = \sqrt{-2 \ln u_i} \cos(2\pi u_{i+1}) \quad x_{i+1} = \sqrt{-2 \ln u_i} \sin(2\pi u_{i+1}). \quad (7.6)$$

При одержанні реалізації нормальної випадкової величини з ненульовим математичним очікуванням  $m_d$  і стандартним відхиленням  $\sigma_d$ , відмінним від одиниці, використовується наступне співвідношення

$$d_i = m_d + x_i \cdot \sigma_d, \quad (i = 1..100). \quad (7.7)$$

Необхідно визначити розмах величин діаметрів, тобто  $\Delta d = 8\sigma_d$ .

Для всіх значень  $d_i$  ( $i=1..100$ ) необхідно визначити реалізацію досліджуваного параметра  $X_i$  ( $i=1..100$ ) відповідно до Таблиці 7.1. Дослідження проводиться за наступною схемою:

1. Визначити математичне очікування  $\tilde{m}$  і дисперсію  $\tilde{D}$  досліджуваного параметра

$$\tilde{m} = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{100} X_i \quad \tilde{D} = \tilde{\sigma}^2 = \frac{1}{99} \left[ \sum_{i=1}^{100} X_i^2 - 100 \cdot \tilde{m}^2 \right]. \quad (7.8)$$

2. Визначити мінімальне -  $X_{min}$ , максимальне -  $X_{max}$  значення, розмах  $\Delta X = X_{max} - X_{min}$ . Для нормального розподілу майже всі значення (99,7%)

випадкової величини знаходяться в інтервалі  $(-3\tilde{\sigma}; +3\tilde{\sigma})$ , величину  $\tilde{\sigma}$  знаходять за формулою (7.8), Але є певні рекомендації щодо побудови гістограми, згідно з якими:

- для кількості дослідів  $(6 < n \leq 100)$  інтервал  $(-4\tilde{\sigma}; 4\tilde{\sigma})$
- для кількості дослідів  $(100 < n \leq 1000)$  інтервал  $(-4,5\tilde{\sigma}; 4,5\tilde{\sigma})$
- для кількості дослідів  $(1000 < n \leq 10000)$  інтервал  $(-5\tilde{\sigma}; 5\tilde{\sigma})$ .

Тому в роботі розмах  $\Delta X = 8\tilde{\sigma}$ .

3. Побудувати гістограму, згрупувавши реалізацію досліджуваного параметра  $X_i$  ( $i=1..100$ ) у  $k$  ( $j=1..k$ ) інтервалах (кількість інтервалів  $k$  – будь-яке ціле число від 5 до 10). Зважаючи на унімодальний характер розподілу параметра  $X$ , кількість інтервалів має бути непарним числом, але це не є обов'язковим. Ширина інтервалу  $\Delta X/k$ . Число влучень значень параметра  $X$  у кожен інтервал  $k$  ( $j=1..k$ ) записується у вигляді масиву чисел  $r_1, r_2, \dots, r_k$ , причому сума  $r_1+r_2+\dots+r_k=100$ .

4. Знаючи математичне очікування  $\tilde{m}$  і дисперсію  $\tilde{D}$ , досліджуваний параметр підкоряють нормальному розподілові

$$f(X) = \frac{1}{\tilde{\sigma}\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(X - \tilde{m})^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right\}. \quad (7.9)$$

5. Імовірність  $P$  знаходження випадкової величини, розподіленої за нормальним законом), на заданому інтервалі  $(\alpha, \beta)$

$$P(\alpha < X < \beta) = \frac{1}{\tilde{\sigma}\sqrt{2\pi}} \int_{\alpha}^{\beta} \exp\left\{-\frac{(x - \tilde{m})^2}{2\tilde{\sigma}^2}\right\} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{\alpha - \tilde{m}}{\tilde{\sigma}}}^{\frac{\beta - \tilde{m}}{\tilde{\sigma}}} \exp(-t^2 / 2) dt \quad (7.10)$$

з урахуванням функції

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp(-t^2 / 2) dt \quad (7.11)$$

остаточно записується у вигляді

$$P(\alpha < X < \beta) = \left[ \Phi\left(\frac{\beta - \tilde{m}}{\tilde{\sigma}}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - \tilde{m}}{\tilde{\sigma}}\right) \right]. \quad (7.12)$$

Функція  $\Phi(z)$  є непарною функцією, тобто при розрахунках необхідно враховувати, що  $\Phi(-z) = -\Phi(z)$ . Значення функції приведені в Таблиці 7.4.

Імовірність  $P$  знаходження випадкової величини, розподіленої за нормальним законом), на кожному з  $k$  ( $j=1..k$ ) інтервалів записується у виді масиву чисел  $e_1, e_2, \dots, e_k$ , причому сума  $e_1+e_2+\dots+e_k=1,0$ .

6. Визначається величина статистики  $\chi^2$  за формулою

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(r_j - 100 \cdot e_j)^2}{100 \cdot e_j}. \quad (7.13)$$

7. По Таблиці 7.5 знаходимо значення  $q$  для  $\nu = k-3$ . Імовірність «збігу» побудованої гістограми і відповідного їй нормального закону визначається величиною  $P$ -значення, рівного  $1-q$ .

Слід зазначити, що часто при нормальному розподілі похибок прямих вимірів похибки заснованих на них непрямих вимірюваннях можуть бути розподілені за законом, відмінним від нормального. Якщо для діаметрів шариків підшипника похибки вимірювання підкоряються нормальному закону і крива розподілу симетрична щодо середнього значення діаметра, то крива розподілу похибок при обчисленні площі головного перетину, маси, моменту опору, моменту інерції і поперечного моменту інерції (тобто в тих випадках, коли в математичному вираженні величину діаметра беруть у 2-у, 3-у, 4-у ступені) у загальному випадку асиметрична. Це стає особливо помітно зі збільшенням числового інтервалу, у якому знаходяться досліджувані похибки. На рисунках представлені теоретичні криві розподілу (нормальний закон і дійсний закон, що враховує зведення величини діаметра у відповідний ступінь) для різних дисперсій значень. Видно, що в першому випадку (Рис. 7.3) обидві криві практично збігаються, а в другому (Рис. 7.5) відмінність між ними вже істотна. Тому в кожній конкретній задачі, беручи до уваги величину досліджуваних похибок і співвідносячи їх із середнім значенням досліджуваного параметра, питання нормальності розподілу вирішується дослідником.

До протоколу (див. стор. 39) виконання роботи занести такі дані:

- Кількість вимірювань
- Величину математичного очікування діаметрів шариків підшипників  $m_d$  і відповідну величину середньоквадратичного відхилення  $\sigma_d$
- Отримані значення діаметрів шариків підшипника
- Відповідні до цих діаметрів величини досліджуваного параметра
- Мінімальне та максимальне значення діаметрів шариків підшипника та відповідні до них максимальне та мінімальне значення досліджуваного параметра

- Послідовно: інтервал значень досліджуваного параметра, кількість значень в цьому інтервалі (емпірична, теоретична за дійсним законом розподілу, теоретична за нормальним законом розподілу)
- Величини статистики  $\chi^2$  для обох варіантів порівняння гістограми з теоретичним розподілом
- Величина значення  $q$  (беремо найближче з таблиці 7.5) та відповідне до нього  $P$ -значення, які показують ступінь збігу гістограми та розподілу.

Усі необхідні графіки мають бути побудованими

На стор. 39 приведений варіант заповнення протоколу, а далі на Рис. 7.1 -7.5 показані необхідні графіки (графік на Рис. 7.1. для діаметрів не є обов'язковим). Слід зазначити, рисунки, що свідчать про некоректність приймання нормального розподілу для досліджуваного параметра (у разі  $\sigma_d=0,1 \text{ m}_d$  для випадку досліджень, проведених при поясненні розрахунково-графічного завдання), отримані зі суто прикладною метою - показати існуючі розбіжності між розподілами. Насправді, таких похибок при виробництві шариків підшипників не може бути ні в якому разі.

### РОЗПОДІЛ ДІАМЕТРІВ ШАРИКІВ ПІДШИПНИКІВ

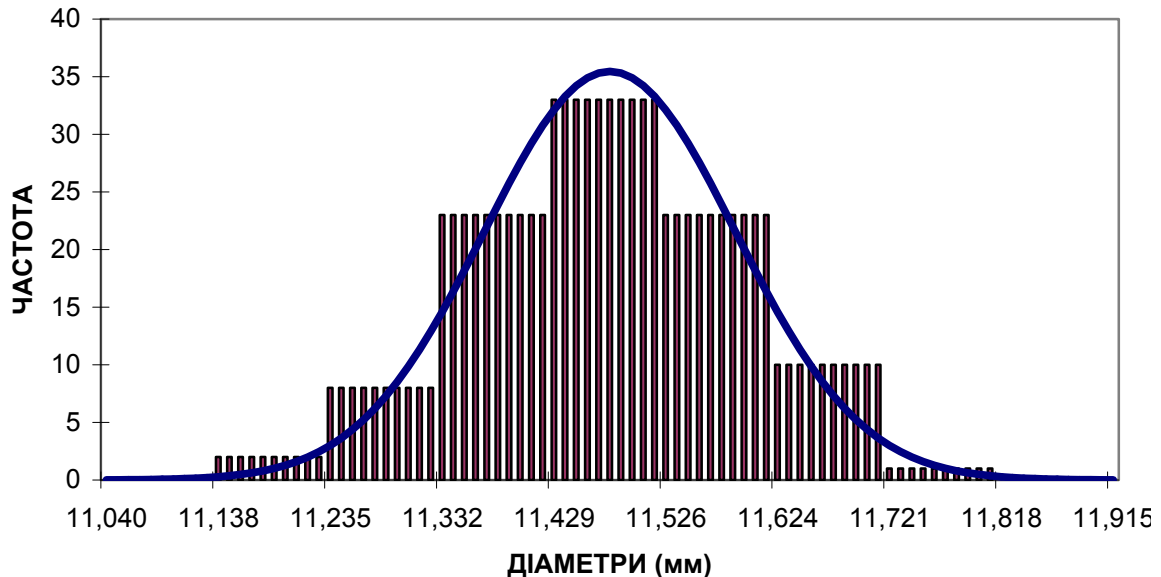


Рисунок 7.1.

### РОЗПОДІЛИ (ЕМПІРИЧНИЙ І НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН)

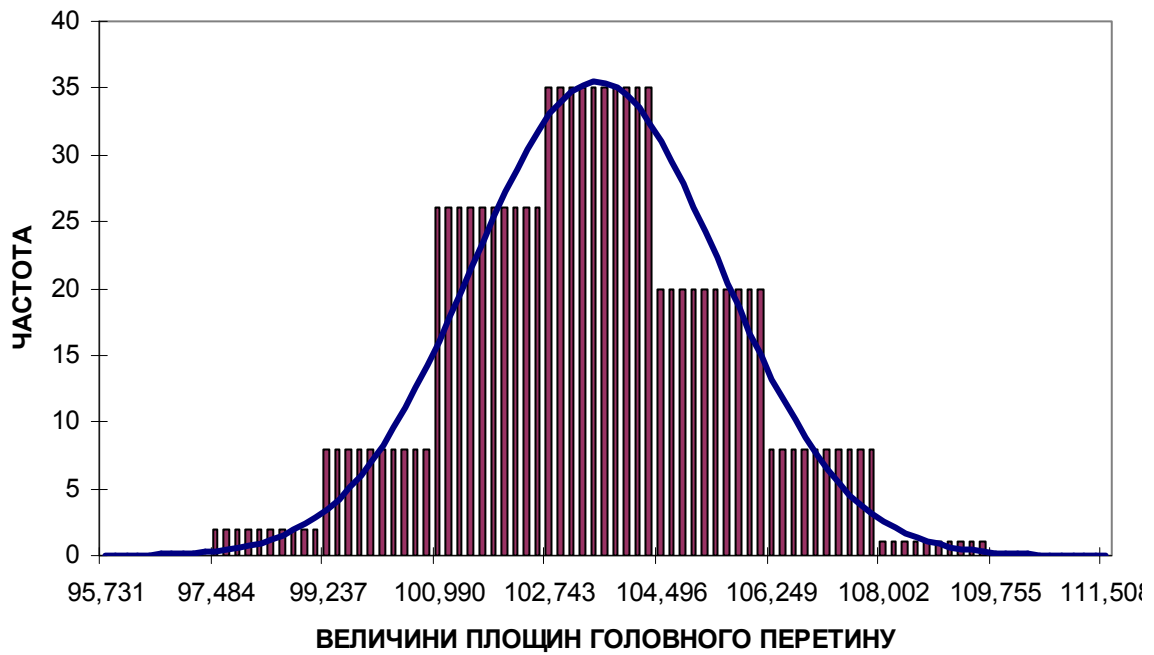


Рисунок 7.2.

### РОЗПОДІЛИ (НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН І ДІЙСНИЙ)

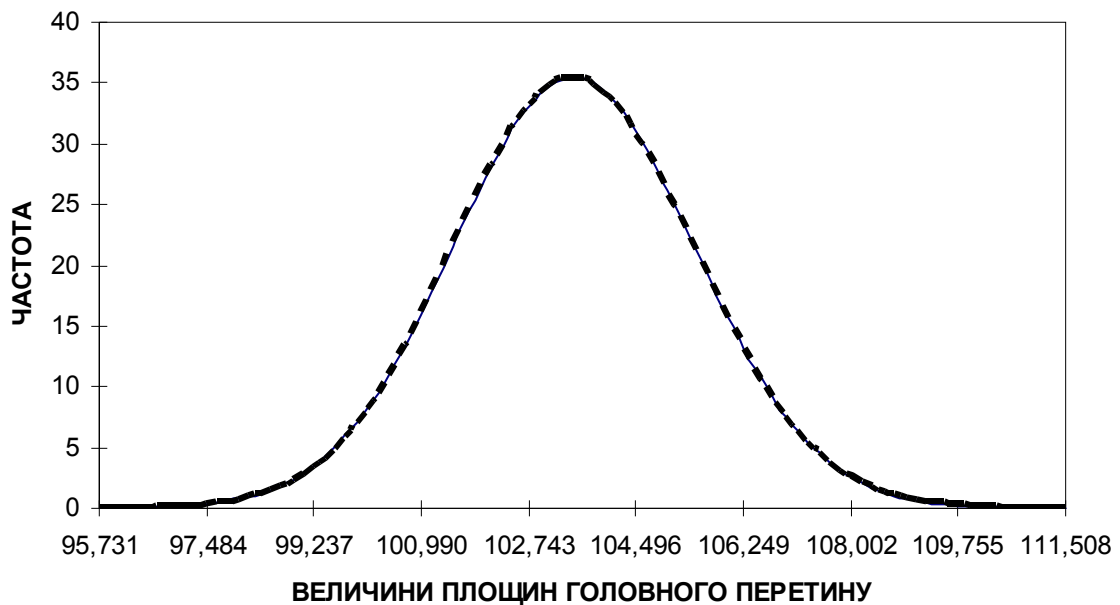


Рисунок 7.3.

Пунктирна лінія – дійсний розподіл, суцільна – нормальний закон

### РОЗПОДІЛИ (ЕМПІРИЧНИЙ І НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН)

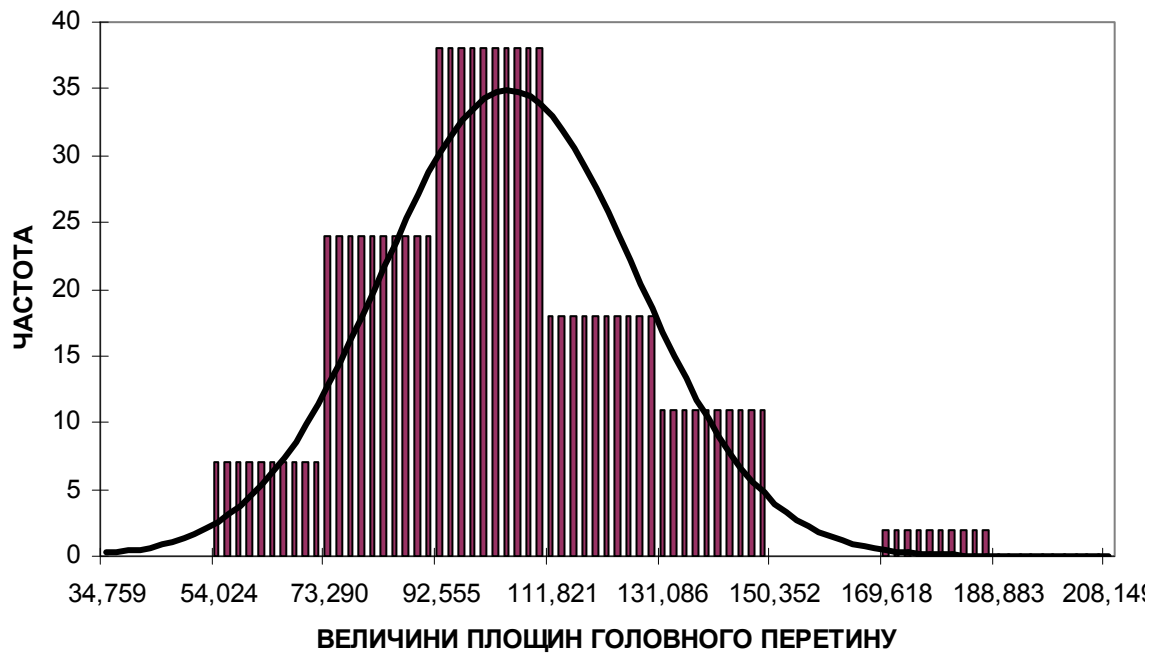


Рисунок 7.4.

### РОЗПОДІЛИ(НОРМАЛЬНИЙ ЗАКОН І ДІЙСНИЙ)

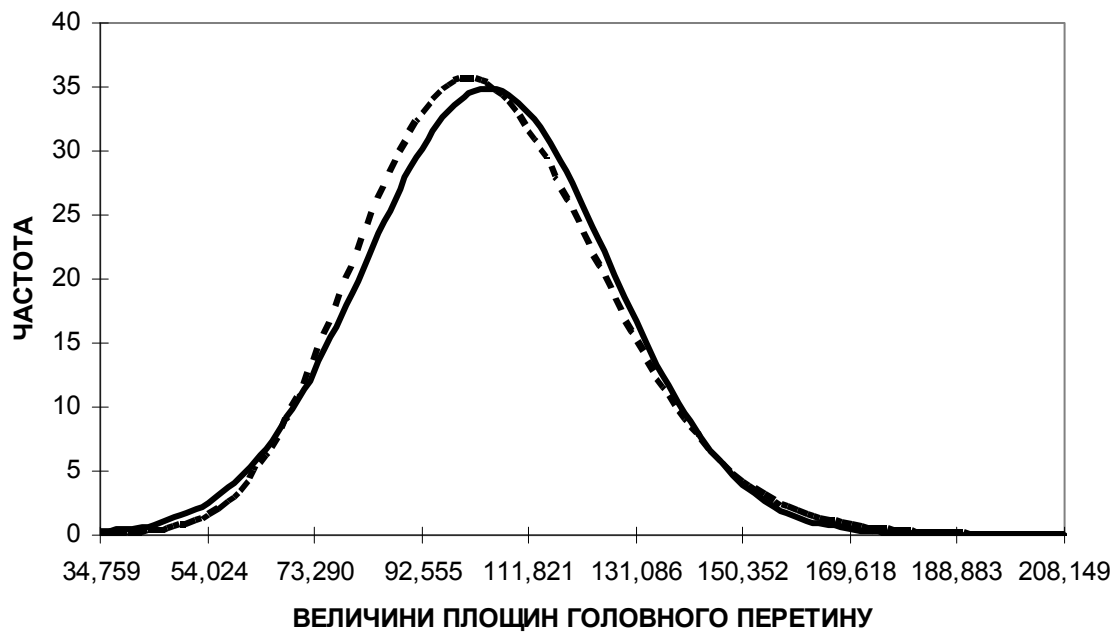


Рисунок 7.5.

Пунктирна лінія – дійсний розподіл, суцільна – нормальний закон

## ПРОТОКОЛ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ (ЗАДАЧА 2)

Кількість вимірювань		100
Математичне очікування діаметрів шариків підшипника (мм)	$m_d$	11.500
Середньоквадратичне (стандартне) відхилення (мм)	$\sigma_d$	0.1150

### Діаметри шариків підшипника (мм)

11.553	11.587	11.509	11.446	11.413	11.585	11.541	11.519	11.320	11.374
11.388	11.376	11.543	11.677	11.498	11.421	11.525	11.560	11.535	11.512
11.357	11.440	11.478	11.629	11.460	11.394	11.488	11.437	11.561	11.421
11.505	11.343	11.575	11.533	11.570	11.327	11.499	11.559	11.387	11.414
11.555	11.529	11.378	11.456	11.603	11.560	11.454	11.402	11.719	11.498
11.409	11.580	11.497	11.513	11.533	11.489	11.312	11.743	11.428	11.418
11.663	11.454	11.452	11.321	11.469	11.235	11.553	11.340	11.668	11.406
11.342	11.626	11.358	11.308	11.288	11.719	11.450	11.536	11.633	11.432
11.176	11.505	11.529	11.639	11.495	11.423	11.364	11.345	11.309	11.456
11.429	11.485	11.533	11.553	11.501	11.325	11.685	11.443	11.479	11.523

### Величини площин головного перетину (мм<sup>2</sup>)

104.824	105.447	104.039	102.892	102.298	105.409	104.615	104.209	100.639	101.601
101.859	101.649	104.649	107.090	103.836	102.447	104.313	104.951	104.500	104.082
101.308	102.786	103.472	106.207	103.156	101.954	103.659	102.733	104.967	102.440
103.958	101.060	105.235	104.475	105.144	100.763	103.847	104.944	101.846	102.329
104.857	104.389	101.683	103.071	105.731	104.955	103.036	102.097	107.854	103.834
102.226	105.316	103.810	104.109	104.465	103.669	100.501	108.307	102.571	102.400
106.838	103.046	103.001	100.664	103.306	99.130	104.830	100.997	106.921	102.184
101.039	106.161	101.323	100.426	100.068	107.868	102.970	104.518	106.279	102.640
98.106	103.958	104.392	106.393	103.771	102.486	101.433	101.083	100.451	103.070
102.598	103.591	104.473	104.822	103.895	100.724	107.243	102.845	103.494	104.289

Максимальний і мінімальний діаметри (інтервал значень) 11.0403      11.915

Мінімальна та максимальна площа головного перетину (інтервал значень) 95.7308      111.5080

Інтервали для побудови гістограми	Частота (гістограма)	Частота (дійсний зак.)	Частота (нормал. зак.)
95.731 - 97.484	0	0.101	0.115
97.484 - 99.237	2	1.408	1.460
99.237 - 100.990	8	8.802	8.782
100.990 - 102.743	26	25.307	25.105
102.743 - 104.496	35	34.193	34.231
104.496 - 106.249	20	22.100	22.289
106.249 - 108.002	8	6.933	6.920
108.002 - 109.755	1	1.068	1.020
109.755 - 111.508	0	0.082	0.071
	<b>Σ=100</b>	<b>Σ= 99.994≈100</b>	<b>Σ= 99.993≈100</b>

Величина статистики  $\chi^2$  0.911 Імовірність  **$P \approx 0,99$**

Величина статистики  $\chi^2$  0.909 Імовірність  **$P \approx 0,99$**

Таблиця 7.1

Група	Параметр	Математичний вираз для параметра
1	Площина головного перетину	$S = \pi \frac{d^2}{4}$
2	Момент інерції	$J_x = \pi \frac{d^4}{64}$
3	Маса	$M = \rho \pi \frac{d^3}{6}$
4	Поперечний момент інерції	$J_p = \pi \frac{d^4}{32}$
5	Момент опору	$W_x = \pi \frac{d^3}{32}$

Таблиця 7.2

Номер по порядку	Математичне очікування діаметрів шариків підшипника $m_d$ (мм)	Номер по порядку	Математичне очікування діаметрів шариків підшипника $m_d$ (мм)	Номер по порядку	Математичне очікування діаметрів шариків підшипника $m_d$ (мм)
1	1,30	16	9,12	31	20,60
2	1,59	17	9,52	32	21,40
3	2,00	18	10,32	33	22,23
4	2,38	19	11,11	34	23,02
5	3,17	20	11,50	35	23,81
6	3,50	21	12,30	36	25,40
7	3,97	22	12,70	37	27,00
8	4,176	23	13,49	38	28,58
9	5,00	24	14,30	39	30,16
10	5,16	25	15,08	40	34,92
11	5,56	26	15,88	41	36,51
12	5,95	27	16,67	42	38,10
13	6,35	28	17,46	43	41,28
14	7,14	29	19,05	44	44,45
15	8,73	30	19,84	45	50,80



Таблиця 7.3.

Величини  $t_{\beta}$ , які задовільняють рівності  $2 \int_0^{t_{\beta}} S_{n-1}(t) dt = \beta$  залежно від  $\beta$  та  $n-1$

$n-1$	$\beta$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,080	6,310	12,710	31,800	63,700	63,700	63,700
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,336	1,886	2,920	4,300	6,960	9,920	31,600	31,600
3	0,137	0,227	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,350	3,180	4,540	5,840	12,940	12,940
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,130	2,770	3,750	4,600	8,610	8,610
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,020	2,570	3,360	4,030	6,860	6,860
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,450	3,140	3,710	5,960	5,960
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,360	3,000	3,500	5,400	5,400
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,310	2,900	3,360	5,040	5,040
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,260	2,820	3,250	4,780	4,780
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,230	2,760	3,170	4,590	4,590
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,200	2,720	3,110	4,490	4,490
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,180	2,680	3,060	4,320	4,320
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,010	4,220	4,220
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,140	2,620	2,980	4,140	4,140
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,130	2,600	2,950	4,070	4,070
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,580	2,920	4,020	4,020
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,570	2,900	3,960	3,960
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,100	2,550	2,880	3,920	3,920
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,090	2,540	2,860	3,880	3,880
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,090	2,530	2,840	3,850	3,850
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,520	2,830	3,820	3,820
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,070	2,510	2,820	3,790	3,790
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,070	2,500	2,810	3,770	3,770
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,060	2,490	2,800	3,740	3,740
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,480	2,790	3,720	3,720

Таблиця 7.4

Значення функції  $\Phi(x)$  : 
$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp(-t^2 / 2) dt$$

x	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,00000	0,00399	0,00798	0,01197	0,01595	0,01994	0,02392	0,02790	0,03188	0,03586
0,1	0,03983	0,04380	0,04776	0,05172	0,05567	0,05962	0,06356	0,06749	0,07142	0,07535
0,2	0,07926	0,08317	0,08706	0,09095	0,09483	0,09871	0,10257	0,10642	0,11026	0,11409
0,3	0,11791	0,12172	0,12552	0,12930	0,13307	0,13683	0,14058	0,14431	0,14803	0,15173
0,4	0,15542	0,15910	0,16276	0,16640	0,17003	0,17364	0,17724	0,18082	0,18438	0,18793
0,5	0,19146	0,19497	0,19847	0,20194	0,20540	0,20884	0,21226	0,21566	0,21904	0,22240
0,6	0,22574	0,22907	0,23237	0,23565	0,23891	0,24215	0,24537	0,24857	0,25174	0,25490
0,7	0,25803	0,26114	0,26423	0,26730	0,27035	0,27337	0,27637	0,27935	0,28230	0,28523
0,8	0,28814	0,29102	0,29389	0,29673	0,29954	0,30233	0,30510	0,30784	0,31056	0,31326
0,9	0,31593	0,31858	0,32121	0,32381	0,32638	0,32894	0,33146	0,33397	0,33645	0,33891
1,0	0,34134	0,34374	0,34613	0,34849	0,35082	0,35313	0,35542	0,35768	0,35992	0,36213
1,1	0,36432	0,36649	0,36863	0,37075	0,37285	0,37492	0,37696	0,37899	0,38099	0,38297
1,2	0,38492	0,38685	0,38876	0,39064	0,39250	0,39434	0,39615	0,39795	0,39972	0,40146
1,3	0,40319	0,40489	0,40657	0,40823	0,40986	0,41148	0,41307	0,41464	0,41619	0,41772
1,4	0,41923	0,42072	0,42218	0,42363	0,42505	0,42646	0,42784	0,42920	0,43055	0,43187
1,5	0,43318	0,43446	0,43573	0,43698	0,43821	0,43941	0,44061	0,44178	0,44293	0,44407
1,6	0,44519	0,44629	0,44737	0,44843	0,44948	0,45051	0,45153	0,45252	0,45351	0,45447
1,7	0,45542	0,45635	0,45727	0,45817	0,45906	0,45993	0,46078	0,46162	0,46245	0,46326
1,8	0,46405	0,46484	0,46561	0,46636	0,46710	0,46783	0,46854	0,46924	0,46993	0,47061
1,9	0,47127	0,47192	0,47256	0,47318	0,47380	0,47440	0,47499	0,47557	0,47613	0,47669
2,0	0,47724	0,47777	0,47829	0,47881	0,47931	0,47980	0,48029	0,48076	0,48122	0,48168
2,1	0,48212	0,48256	0,48298	0,48340	0,48381	0,48421	0,48460	0,48498	0,48536	0,48573
2,2	0,48608	0,48643	0,48678	0,48711	0,48744	0,48776	0,48808	0,48838	0,48868	0,48898
2,3	0,48926	0,48954	0,48982	0,49009	0,49035	0,49060	0,49085	0,49110	0,49133	0,49157
2,4	0,49179	0,49201	0,49223	0,49244	0,49265	0,49285	0,49304	0,49323	0,49342	0,49360
2,5	0,49378	0,49395	0,49412	0,49429	0,49445	0,49461	0,49476	0,49491	0,49505	0,49519
2,6	0,49533	0,49546	0,49560	0,49572	0,49585	0,49597	0,49609	0,49620	0,49631	0,49642
2,7	0,49653	0,49663	0,49673	0,49683	0,49692	0,49701	0,49710	0,49719	0,49728	0,49736
2,8	0,49744	0,49752	0,49759	0,49767	0,49774	0,49781	0,49788	0,49794	0,49801	0,49807
2,9	0,49813	0,49819	0,49825	0,49830	0,49835	0,49841	0,49846	0,49851	0,49855	0,49860
3,0	0,49865	0,49869	0,49873	0,49877	0,49881	0,49885	0,49889	0,49893	0,49896	0,49900
3,1	0,49903	0,49906	0,49909	0,49912	0,49915	0,49918	0,49921	0,49923	0,49926	0,49929
3,2	0,49931	0,49933	0,49936	0,49938	0,49940	0,49942	0,49944	0,49946	0,49948	0,49950
3,3	0,49951	0,49953	0,49955	0,49956	0,49958	0,49959	0,49961	0,49962	0,49964	0,49965
3,4	0,49966	0,49967	0,49969	0,49970	0,49971	0,49972	0,49973	0,49974	0,49975	0,49976
3,5	0,49977	0,49977	0,49978	0,49979	0,49980	0,49981	0,49981	0,49982	0,49983	0,49983
3,6	0,49984	0,49985	0,49985	0,49986	0,49986	0,49987	0,49987	0,49988	0,49988	0,49989
3,7	0,49989	0,49990	0,49990	0,49990	0,49991	0,49991	0,49991	0,49992	0,49992	0,49992
3,8	0,49993	0,49993	0,49993	0,49994	0,49994	0,49994	0,49994	0,49995	0,49995	0,49995
3,9	0,49995	0,49995	0,49996	0,49996	0,49996	0,49996	0,49996	0,49996	0,49997	0,49997

Таблиця 7.5

Процентилі розподілу  $\chi^2$ 

$\nu$	$q$	0,005	0,010	0,025	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
1		0,00004	0,00016	0,00098	0,00393	0,0158	0,0642	0,148	0,275
2		0,0100	0,0201	0,0506	0,103	0,211	0,446	0,713	1,02
3		0,0717	0,115	0,216	0,352	0,584	1,00	1,42	1,87
4		0,207	0,297	0,484	0,711	1,06	1,65	2,19	2,75
5		0,412	0,554	0,831	1,15	1,61	2,34	3,00	3,66
6		0,676	0,872	1,24	1,64	2,20	3,07	3,83	4,57
7		0,989	1,24	1,69	2,17	2,83	3,82	4,67	5,49
8		1,34	1,65	2,18	2,73	3,49	4,59	5,53	6,42
9		1,73	2,09	2,70	3,33	4,17	5,38	6,39	7,36
10		2,16	2,56	3,25	3,94	4,87	6,18	7,27	8,30
11		2,60	3,05	3,82	4,57	5,58	6,99	8,15	9,24
12		3,07	3,57	4,40	5,23	6,30	7,81	9,03	10,2
13		3,57	4,11	5,01	5,89	7,04	8,63	9,93	11,1
14		4,07	4,66	5,63	6,57	7,79	9,47	10,8	12,1
15		4,60	5,23	6,26	7,26	8,55	10,3	11,7	13,0
16		5,14	5,81	6,91	7,96	9,31	11,2	12,6	14,0
17		5,70	6,41	7,56	8,67	10,1	12,0	13,5	14,9
18		6,26	7,01	8,23	9,39	10,9	12,9	14,4	15,9
19		6,84	7,63	8,91	10,1	11,7	13,7	15,4	16,9
20		7,43	8,26	9,59	10,9	12,4	14,6	16,3	17,8
21		8,03	8,90	10,3	11,6	13,2	15,4	17,2	18,8
22		8,64	9,54	11,0	12,3	14,0	16,3	18,1	19,7
23		9,26	10,2	11,7	13,1	14,8	17,2	19,0	20,7
24		9,89	10,9	12,4	13,8	15,7	18,1	19,9	21,7
25		10,5	11,5	13,1	14,6	16,5	18,9	20,9	22,6
26		11,2	12,2	13,8	15,4	17,3	19,8	21,8	23,6
27		11,8	12,9	14,6	16,2	18,1	20,7	22,7	24,5
28		12,5	13,6	15,3	16,9	18,9	21,6	23,6	25,5
29		13,1	14,3	16,0	17,7	19,8	22,5	24,6	26,5
30		13,8	15,0	16,8	18,5	20,6	23,4	25,5	27,4
35		17,2	18,5	20,6	22,5	24,8	27,8	30,2	32,3
40		20,7	22,2	24,4	26,5	29,1	32,3	34,9	37,1
45		24,3	25,9	28,4	30,6	33,4	36,9	39,6	42,0
50		28,0	29,7	32,4	34,8	37,7	41,4	44,3	46,9
75		47,2	49,5	52,9	56,1	59,8	64,5	68,1	71,3
100		67,3	70,1	74,2	77,9	82,4	87,9	92,1	95,8

<b>v</b>	<b>q</b>	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,975	0,990	0,995	0,999
1		0,46	0,71	1,07	1,64	2,71	3,84	5,02	6,63	7,88	10,8
2		1,39	1,83	2,41	3,22	4,61	5,99	7,38	9,21	10,6	13,8
3		2,37	2,95	3,67	4,64	6,25	7,81	9,35	11,3	12,8	16,3
4		3,36	4,04	4,88	5,99	7,78	9,49	11,1	13,3	14,9	18,5
5		4,35	5,13	6,06	7,29	9,24	11,1	12,8	15,1	16,7	20,5
6		5,35	6,21	7,23	8,56	10,6	12,6	14,4	16,8	18,5	22,5
7		6,35	7,28	8,38	9,80	12,0	14,1	16,0	18,5	20,3	24,3
8		7,34	8,35	9,52	11,0	13,4	15,5	17,5	20,1	22,0	26,1
9		8,34	9,41	10,7	12,2	14,7	16,9	19,0	21,7	23,6	27,9
10		9,34	10,5	11,8	13,4	16,0	18,3	20,5	23,2	25,2	29,6
11		10,3	11,5	12,9	14,6	17,3	19,7	21,9	24,7	26,8	31,3
12		11,3	12,6	14,0	15,8	18,5	21,0	23,3	26,2	28,3	32,9
13		12,3	13,6	15,1	17,0	19,8	22,4	24,7	27,7	29,8	34,5
14		13,3	14,7	16,2	18,2	21,1	23,7	26,1	29,1	31,3	36,1
15		14,3	15,7	17,3	19,3	22,3	25,0	27,5	30,6	32,8	37,7
16		15,3	16,8	18,4	20,5	23,5	26,3	28,8	32,0	34,3	39,3
17		16,3	17,8	19,5	21,6	24,8	27,6	30,2	33,4	35,7	40,8
18		17,3	18,9	20,6	22,8	26,0	28,9	31,5	34,8	37,2	42,3
19		18,3	19,9	21,7	23,9	27,2	30,1	32,9	36,2	38,6	43,8
20		19,3	21,0	22,8	25,0	28,4	31,4	34,2	37,6	40,0	45,3
21		20,3	22,0	23,9	26,9	29,6	32,7	35,5	38,9	41,4	46,8
22		21,3	23,0	24,9	27,3	30,8	33,9	36,8	40,3	42,8	48,3
23		22,3	24,1	26,0	28,4	32,0	35,2	38,1	41,6	44,2	49,7
24		23,3	25,1	27,1	29,6	33,2	36,4	39,4	43,0	45,6	51,2
25		24,3	26,1	28,2	30,7	34,4	37,7	40,6	44,3	46,9	52,6
26		25,3	27,2	29,2	31,8	35,6	38,9	41,9	45,6	48,3	54,1
27		26,3	28,2	30,3	32,9	36,7	40,1	43,2	47,0	49,6	55,5
28		27,3	29,2	31,4	34,0	37,9	41,3	44,5	48,3	51,0	56,9
29		28,3	30,3	32,5	35,1	39,1	42,6	45,7	49,6	52,3	58,3
30		29,3	31,3	33,5	36,3	40,3	43,8	47,0	50,9	53,7	59,7
35		34,3	36,5	38,9	41,8	46,1	49,8	53,2	57,3	60,3	66,6
40		39,3	41,6	44,2	47,3	51,8	55,8	59,3	63,7	66,8	73,4
45		44,3	46,8	49,5	52,7	57,5	61,7	65,4	70,0	73,2	80,1
50		49,3	51,9	54,7	58,2	63,2	67,5	71,4	76,2	79,5	86,7
75		74,3	77,5	80,9	85,1	91,1	96,2	100,8	106,4	110,3	118,6
100		99,3	102,9	106,9	111,7	118,5	124,3	129,6	135,6	140,2	149,4

## 8. ДОДАТОК.

### ПЕРЕВОДНА ТАБЛИЦЯ ОДИНИЦЬ ТИСКУ

Одиниця	Па	бар	атм	ат	psi	м вод. ст.	мм рт. ст.
Па	1	$10^{-5}$	$9,8692 \cdot 10^{-6}$	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	$1,4504 \cdot 10^{-4}$	$1,0197 \cdot 10^{-4}$	$7,5006 \cdot 10^{-3}$
бар	$10^5$	1	0,9869	1,0197	14,5038	10,1972	750,062
атм	101325	1,0133	1	1,0333	14,6959	10,3323	760
ат	98066,5	0,9807	0,9678	1	14,2233	10,0	735,559
psi	6894,757	0,0689	0,0681	0,0703	1	0,7031	51,7152
м вод. ст.	9806,65	0,0981	0,0968	0,1	1,4223	1	73,5559
мм рт. ст.	133,3234	$1,3332 \cdot 10^{-3}$	$1,3158 \cdot 10^{-3}$	$1,3595 \cdot 10^{-3}$	0,01934	0,0136	1

### ПЕРЕВОДНА ТАБЛИЦЯ ОДИНИЦЬ ОБ'ЄМНИХ ВИТРАТ

Одиниця	м <sup>3</sup> /с	м <sup>3</sup> /хв	м <sup>3</sup> /год	л/с	л/хв	л/год
м <sup>3</sup> /с	1	60	3600	1000	60000	3600000
м <sup>3</sup> /хв	$1,6667 \cdot 10^{-2}$	1	60	16,6667	1000	60000
м <sup>3</sup> /год	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	$1,6667 \cdot 10^{-2}$	1	0,2778	16,6667	1000
л/с	0,001	0,06	3,6	1	60	3600
л/хв	$1,6667 \cdot 10^{-5}$	0,001	0,06	$1,6667 \cdot 10^{-2}$	1	60
л/год	$2,7778 \cdot 10^{-7}$	$1,6667 \cdot 10^{-5}$	0,001	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	$1,6667 \cdot 10^{-2}$	1

### ДЕСЯТКОВІ КРАТНІ ТА ЧАСТИННІ ВІД ОДИНИЦЬ S/

Множник	Написання	Найменування		Позначення	
$10^6$	1000000,0	мега	mega	М	M
$10^3$	1000,0	кіло	kilo	к	k
$10^2$	100,0	гекто	hecto	г	h
$10^1$	10,0	дека	deca	да	da
$10^{-1}$	0,1	деці	deci	д	d
$10^{-2}$	0,01	санті	centi	с	c
$10^{-3}$	0,001	мілі	milli	м	m
$10^{-6}$	0,000001	мікро	micro	мк	μ

## ЗМІСТ

1. Лабораторна робота № 1.....	3
<b>ПРЯМІ ВИМІРЮВАННЯ ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ЦИЛІНДРИЧНОГО СТЕРЖНЯ</b>	
2. Лабораторна робота № 2.....	8
<b>ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ ТВЕРДИХ ТІЛ МЕТОДОМ ГІДРОСТАТИЧНОГО ЗВАЖУВАННЯ</b>	
3. Лабораторна робота № 3.....	12
<b>ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ В ДАНІЙ ТОЧЦІ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ</b>	
4. Лабораторна робота № 4.....	16
<b>ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ МІСЦЕВОГО ОПОРУ</b>	
5. Лабораторна робота № 5.....	21
<b>ПОБУДОВА ДОВІРЧОГО ІНТЕРВАЛУ ДЛЯ МАТЕМАТИЧНОГО ОЧІКУВАННЯ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧНИ</b>	
6. Лабораторна робота № 6.....	25
<b>ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ПОВЕРХНІ</b>	
7. РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА.....	30
8. ДОДАТОК.....	45

**Навчальне видання**

Укладач: **Міщенко** Ігор Вікторович

**МЕТРОЛОГІЯ ТА СТАНДАРТИЗАЦІЯ.  
Методичні вказівки до виконання лабораторних  
та самостійних робіт**

Відповідальний за випуск І.В.Міщенко

Підп. до друку 10.04.2005 р. Формат 60x84 1/16  
Папір 80 г/см<sup>2</sup>. Друк ризограф. Умовн.-друк. арк. 3,0  
Тираж 150 прим. Вид № Зам №

**Відділення редакційно-видавничої діяльності  
Університету цивільного захисту України  
61023, Харків, вул. Чернишевська, 94**

