

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

НТУУ  
"КИЇВСЬКИЙ  
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ"



МЕХАНІКО-  
МАШИНОБУДІВНИЙ  
ІНСТИТУТ



КАФЕДРА  
ТЕХНОЛОГІЇ  
МАШИНО-  
БУДУВАННЯ



## **ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ 2**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт за  
напрямом підготовки бакалаврів 6.050502 «Інженерна механіка»  
подальшої спеціальності 7.05050201/8.05050201  
«Технологія машинобудування»**

**КИЇВ  
2015**



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"**

## **ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ 2**

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт за  
напрямом підготовки бакалаврів 6.050502 «Інженерна механіка»  
подальшої спеціальності 7.05050201/8.05050201  
«Технологія машинобудування»**

КИЇВ  
2015

**«Технологія машинобудування 2».** Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт за напрямом підготовки бакалаврів 6.050502 «Інженерна механіка» подальшої спеціальності 7.05050201/8.05050201 «Технологія машинобудування» / Укладачі: Петраков Ю.В., Фролов В.К. – К.: КПІ, 2015. – 65 с. (електронне видання).

Рекомендовано Вченою радою  
механіко-машинобудівного інституту  
НТУУ «КПІ»  
«21» квітня 2015 року  
Протокол № 9

Навчальне видання

Укладачі: *Петраков Юрій Володимирович*, докт.техн.наук, проф.  
*Фролов Володимир Костянтинович*, канд.техн.наук, доц.

Відповідальний редактор *С.В.Лапковський*, канд.техн.наук, доц.

Рецензент *О.М.Кравець*, канд.техн.наук, доц.

*За редакцією укладачів*

## ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1. <b>Налагодження верстатів за пробними деталями</b> .....	4
Лабораторна робота № 2. <b>Налагодження верстатів за еталоном</b> .....	8
Лабораторна робота № 3. <b>Визначення сумарної похибки оброблення деталей в заданій технологічній системі</b> .....	12
Лабораторна робота № 4. <b>Аналіз точності деталей на двох суміжних операціях</b> .....	19
Лабораторна робота № 5. <b>Аналіз впливу технологічних факторів на параметри шорсткості оброблюваної поверхні</b> .....	24
Лабораторна робота № 6. <b>Синтез технологічного обладнання на основі аналізу формоутворення поверхонь деталей</b> .....	32
Література.....	38
Додаток 1. Технічні характеристики обладнання та вимірювальних інструментів.....	39
Додаток 2. <i>t</i> - критерій Стьюдента.....	46
Додаток 3. Автоматизація розрахунків та побудова кривої нормального розподілу за допомогою програмного продукту Microsoft Excel.....	47
Додаток 4. Програмне забезпечення для побудови графіку розподілу випадкових величин за нормальним законом.....	49
Додаток 5. Програмне забезпечення для визначення кореляції двох вибірок випадкових величин.....	51
Додаток 6. Технічні характеристики комплекту уніфікованих верстатних модулів UNIMAT 1 – CLASSIC.....	53
Додаток 7. Методика та приклад побудови експериментальних і теоретичних кривих нормального закону розподілу Гаусса.....	55
Додаток 8. Перевірка гіпотези про узгодженість законів розподілу за $\chi^2$ -критерієм Пірсона.....	62
Додаток 9. Густина ймовірності нормального розподілу $\varphi(z)$ .....	65

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТІВ ЗА ПРОБНИМИ ДЕТАЛЯМИ

Похибка налагодження металорізальних верстатів – одна із складових частин загальної похибки виготовлення деталей. Вона залежить від застосовуваного способу налагодження, точності вимірювальних інструментів і пристроїв, кваліфікації виконавця.

Налагодження верстату може виконуватися для виготовлення як однієї деталі, так і партії деталей, оброблення яких ведеться на попередньо налагодженому верстаті. В останньому випадку розміри деталей отримуються автоматично й залежать від положення різального інструменту та упорів верстату відносно налагоджувальних баз оброблюваної деталі. Складність налагодження при цьому пояснюється необхідністю отримання необхідної точності розмірів у деталей для всієї партії.

Існують способи налагодження верстатів за пробними деталями і за еталоном.

**Мета та завдання роботи** – вивчити особливості способу налагодження верстатів за пробними деталями, дослідити точність налагодження верстатів на заданий розмір, визначити технологічні можливості даного способу налагодження верстатів.

#### Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 (1K62). При виконанні роботи використовують гладкі мікрометри та штангенциркулі. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

#### Методичні рекомендації до виконання роботи

Спосіб налагодження верстату за пробними деталями полягає в попередній установці різального інструменту та упорів на необхідний налагоджувальний розмір за допомогою вимірювального інструмента і наступне коректування їхнього положення за результатами вимірів пробних деталей, оброблених на налагодженому верстаті.

Для реалізації налагодження необхідно визначити величину налагоджувального розміру, що обчислюється за наступними залежностями:

для зовнішніх поверхонь

$$D_{\text{налаг}} = D_{\text{нм}} + 3S + 0,5T_{\text{налаг}},$$

для внутрішніх поверхонь

$$D_{\text{налаг}} = D_{\text{нб}} - 3S - 0,5T_{\text{налаг}},$$

де  $D_{нм}$ ,  $D_{нб}$  – відповідно найменший та найбільший граничний розмір оброблюваної поверхні;

$S$  – середньоквадратичне відхилення, що характеризує точність даного способу оброблення (при розрахунках можна приймати  $S = 0,1T$ ,  $T$  – допуск на розмір деталі, що отримується);

$T_{налаг}$  – допуск на налагодження

$$T_{налаг} = K \sqrt{\varepsilon_{вим}^2 + \varepsilon_{рег}^2 + \varepsilon_{розр}^2},$$

де  $K$  – коефіцієнт відносного розсіювання, що характеризує відхилення законів розподілу  $\varepsilon_{вим}$ ,  $\varepsilon_{рег}$ ,  $\varepsilon_{розр}$  від нормального закону ( $K = 1 \dots 1,2$ );

$\varepsilon_{вим}$  – похибка вимірювання пробних деталей, яка залежить від точності вимірювального інструменту ( $\varepsilon_{вим} = \pm c$ ,  $c$  – ціна поділки вимірювального інструменту);

$\varepsilon_{рег}$  – похибка регулювання положення різального інструменту або упору, яка залежить від конструкції регулювального пристрою та точності використовуваних вимірювальних інструментів (табл.1.1);

$\varepsilon_{розр}$  – похибка способу розрахунку величини налагоджуваного розміру;

$$\varepsilon_{розр} = \frac{S}{\sqrt{n}},$$

$n$  – кількість пробних деталей ( $n = 5 \dots 10$ ).

Налагодження верстату вважається якісним, якщо

$$D_{налаг} - T_{налаг} \leq \bar{D} \leq D_{налаг} + T_{налаг}, \quad (1)$$

де  $\bar{D}$  – середній розмір пробних деталей, оброблених на налагодженому верстаті;

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{n},$$

$D_i$  – поточні розміри пробних деталей.

Якщо умова (1) не виконується, то виконують підналагодження верстату. Для оцінки точності налагодження верстату користуються залежністю

$$t = \frac{1}{S_{факт}} |D_{налаг} - \bar{D}| \sqrt{n} \leq t_{\alpha} \quad (2)$$

де  $t$ ,  $t_{\alpha}$  – відповідно розрахункове та табличне значення критерію Стьюдента;  $t_{\alpha}$  вибирається за таблицями (Додаток 2), виходячи з рівня значущості  $\alpha = 0,05$  та числа ступенів вільності  $f = n - 1$ ;

$S_{факт}$  – середньоквадратичне відхилення, що характеризує дійсну (фактичну) точність оброблення

$$S_{факт} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

Якщо умова (2) виконується, то точність налагодження достатня.

Таблиця 1.1.

Похибка регулювання  $\epsilon_{рег}$  положення різального інструменту при налагодженні верстату

Спосіб регулювання положення різального інструменту	$\epsilon_{рег}$ , мкм
За лімбом з ціною поділки, мм:	
0,03.....	10...30
0,05.....	15...30
0,1-0,5.....	30...70
За індикаторним упором з ціною поділки, мм:	
0,01.....	10...15
0,002.....	3...5
За жорстким упором.....	20...50
За еталоном:	
різець підводять до еталону поперечним супортом.....	20...30
контроль за паперовим щупом.....	10...20
контроль за металевим щупом.....	7...10

Налагодження верстатів за пробними деталями досить трудомістке, частина пробних деталей ідуть у брак. Тому воно використовується при обробленні дрібних деталей нескладної конфігурації.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитися з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Вивчити особливості способу налагодження верстату за пробними деталями.
4. Визначити величину налагоджувального розміру  $D_{налаг}$  (вихідні дані

видає викладач).

5. Налагодити верстат на обчислену величину налагоджувального розміру.

6. Обробити пробні деталі.

7. Виміряти оброблені деталі. Результати вимірів  $D_i$  занести в табл.1.2 та представити графічно на горизонтальній лінії спільно зі значеннями  $D_{налаг}$ ,

$D_{нм}$  та  $D_{нб}$ .

8. Оцінити якість і точність налагодження.

9. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 1.2.

Результати вимірів оброблюваного розміру пробних деталей

№ з/п	1	2	3	4	5	6
Розмір деталі $D_i$ , мм						

### Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату, назва інструменту, матеріал та геометричні параметри його різальної частини, форма, розміри та матеріал заготовок, режим оброблення.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Розрахунки налагоджувального розміру.
6. Результати вимірювання розмірів пробних деталей (табл.1.2).
7. Графічне представлення результатів роботи.
8. Розрахунки для визначення якості та точності налагодження.
9. Висновки по роботі.

### Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Особливості способу налагодження верстатів за пробними деталями.
3. Чим характеризується якість налагодження верстату?
4. Як визначити точність налагодження верстату?
5. Які фактори визначають похибку налагодження?
6. Як визначати величину налагоджувального розміру?
7. Чим характеризується точність налагодження верстату?
8. Правила безпеки при виконанні лабораторної роботи.



### НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТІВ ЗА ЕТАЛОНОМ

**Мета та завдання роботи** – вивчити особливості способу налагодження верстатів за еталоном; дослідити точність налагодження верстату на заданий розмір; визначити технологічні можливості даного способу налагодження.

#### Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 (1K62). При виконанні роботи використовують гладкі мікрометри та штангенциркулі. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

#### Методичні рекомендації до виконання роботи

Цей спосіб налагодження передбачає установку різального інструменту та упорів по заздалегідь виготовленому еталону, що являє собою прототип деталі, оброблюваної на даному верстаті. Налагодження виконується в статиці і не враховує ні жорсткості реальної технологічної системи, ні якості виготовлення еталону.

Для реалізації налагодження верстату за еталоном необхідно визначити за даними робочого креслення деталі попередній розрахунковий розмір еталону

$$D_e' = 0,5(D_{нм} + D_{нб}),$$

де  $D_{нм}$ ,  $D_{нб}$  - відповідно найменший та найбільший граничний розмір оброблюваної поверхні.

Після оброблення невеликої кількості деталей ( $n = 5...10$  шт.) розмір  $D_e'$  корегується:

$$D_e = D_e' - \Delta_{нопр},$$

де  $\Delta_{нопр}$  - величина поправки, що враховує стан технологічної системи,

$$\Delta_{нопр} = \bar{D} - D_{налаг}.$$

$\bar{D}$  - середнє арифметичне значення оброблюваного розміру за результатами виміру  $n$  деталей, виготовлених при налагодженні верстату на розмір,

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{n};$$

$D_{налаг}$  - налагоджувальний розмір, що визначається за залежностями:  
для зовнішньої поверхні

$$D_{налаг} = D_{нм} + 3S_{факт};$$

для внутрішньої поверхні

$$D_{налаг} = D_{нб} - 3S_{факт}.$$

$S$  - середньоквадратичне відхилення, що характеризує дійсну (фактичну) точність оброблення на даному верстаті;

$$S_{факт} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n-1}}$$

Допуск на остаточний розмір еталону встановлюється з умови

$$T_e = (0,1 \dots 0,15)T,$$

де  $T$  - допуск на оброблюваний розмір.

При налагоджуванні по еталону необхідне положення різального інструменту в осьовому та радіальному напрямках визначають торканням його різальних кромek або вершин до відповідних поверхонь еталону. Надійність контакту контролюють за допомогою металевого або паперового щупів.

Похибку налагодження в такому випадку визначають за формулою

$$\varepsilon_{налаг} = K \sqrt{\varepsilon_{виг.ет}^2 + \varepsilon_{рег.інстр}^2},$$

де  $\varepsilon_{виг.ет}$  - похибка виготовлення еталону, що може коливатися в межах 10...20 мкм;

$\varepsilon_{рег.інстр}$  - похибка регулювання положення інструменту за щупом (табл. 1.1);

$K$  - коефіцієнт, що враховує відхилення закону розподілу похибок від нормального ( $K = 1 \dots 1,2$ ).

Налагодження за еталонem менш трудомістке, що дозволяє збільшити корисний час використання обладнання. Воно виключає брак пробних заготовок. При цьому не потрібні наладчики високої кваліфікації.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитися з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Вивчити особливості способу налагодження верстату за еталонem.

4. Визначити попередній розрахунковий розмір еталону  $D_e'$  за даними робочого креслення деталі (видає викладач).
5. Виготовити еталон, використовуючи спосіб пробних ходів і промірів.
6. Налаштувати верстат на оброблення партії деталей за еталонном діаметром  $D_e'$ .
7. Обробити партію деталей.
8. Виміряти оброблені деталі. Результати вимірів  $D_i$  занести в табл.2.1 та представити графічно на горизонтальній лінії спільно зі значеннями  $D_e'$ ,  $D_{нм}$  та  $D_{нб}$ .
9. Визначити величину поправки  $\Delta_{нопр}$ , остаточний розмір еталону  $D_e$ , допуск на остаточний розмір еталону  $T_e$  та похибку налагодження  $\epsilon_{налаг}$ .
10. Налаштувати верстат на оброблення партії деталей за еталонном діаметром  $D_e$ .
7. Обробити партію деталей.
11. Визначити якість налагодження, заміривши виготовлені деталі (результати занести в табл.2.1) та порівнявши отримані результати з вимірами попередньо обробленої партії деталей.
12. Додати результати вимірів на графік.
13. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 2.1.

Результати вимірів оброблюваного розміру партії деталей

№ з/п	1	2	3	4	5	6
Розмір деталі $D_i$ , мм за еталонном $D_e'$						
Розмір деталі $D_i$ , мм за еталонном $D_e$						

### Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату, назва інструменту, матеріал та геометричні параметри його різальної частини, форма, розміри та матеріал заготовок, режим оброблення.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Визначення попереднього розрахункового розміру еталону.

6. Результати вимірювання розмірів партії деталей за попереднім та остаточним еталоном (табл.2.1).
7. Графічне представлення результатів роботи.
8. Визначення остаточного розміру еталону, допуску на остаточний розмір еталону та похибки налагодження.
9. Висновки по роботі.

#### **Питання для підготовки до виконання роботи**

1. Мета та завдання роботи.
2. Особливості способу налагодження верстату за еталоном.
3. Які дані є вихідними для визначення попередніх розмірів еталону?
4. Для чого визначається величина  $\Delta_{пор}$  ?
5. Які фактори впливають на величину похибки налагодження верстату за еталоном?
6. Як визначити величину попереднього розміру еталону?
7. Чим характеризується точність налагодження верстату?
8. Правила безпеки при виконанні лабораторної роботи.

### ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОЇ ПОХИБКИ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ В ЗАДАНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

**Мета та завдання роботи** – вивчити способи досягнення заданої точності при обробленні деталей; розробити розрахункову схему для визначення сумарної похибки оброблення в заданій технологічній системі; визначити елементарні похибки оброблення, вплив яких істотний для даної операції; вивчити теоретичні методи розрахунку сумарної похибки оброблення; виконати експериментальне визначення сумарної похибки оброблення; порівняти теоретичне та практичне значення похибки оброблення; розробити пропозиції щодо зменшення похибки оброблення для виконаної технологічної операції.

#### **Обладнання та оснащення**

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 (1K62). При виконанні роботи використовують гладкі мікрометри та штангенциркулі. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

#### **Методичні рекомендації до виконання роботи**

**ТОЧНІСТЬ** – ступінь відповідності параметрів готового виробу розмірам, формі та іншим характеристикам, заданим у кресленні.

Точність виготовлення призначає конструктор, виходячи з вимог для забезпечення функціонального призначення виробу. Точність у машинобудуванні має велике значення для підвищення експлуатаційних якостей машин, збільшення їх довговічності, надійності, швидкісних та інших характеристик.

Стосовно до поверхонь деталей машин точність оцінюється такими показниками:

- точністю розмірів;
- точністю форми поверхні;
- точністю взаємного розташування поверхонь.

При оцінюванні точності розмірів використовують такі поняття:

**НОМІНАЛЬНИЙ РОЗМІР** – розмір, визначений конструктором при проектуванні виробу й округлений до значення з нормального ряду;

**ДІЙСНИЙ РОЗМІР** – розмір, отриманий в результаті оброблення і вимірний із необхідною точністю;

**КВАЛІТЕТ** – сукупність допусків одного рівня точності для заданого діапазону розмірів.

Точність форми поверхонь та точність їх взаємного розташування, якщо вона не обумовлена додатковими вимогами на кресленні, повинна бути у межах допуску на певний розмір.

Основні відхилення форми циліндричних поверхонь та площин поділяють на наступні види.

**ОВАЛЬНІСТЬ** – відхилення від круглості, при якому реальний профіль являє собою овалоподібну фігуру, найбільший і найменший діаметри якої знаходяться у взаємно перпендикулярних напрямках. Допуск на овальність може в деяких випадках перевищувати допуск на діаметр, наприклад, при виготовленні тонкостінних втулок, що деформуються при обробленні, і набувати правильної форми при складанні.

**ОГРАНКА** – відхилення форми від круга, при якому реальний профіль являє собою багатогранну фігуру. Огранка означає, що контур поперечного перетину деталі складений із сполучених дуг різного радіуса. Огранка класифікується за кількістю граней. Зокрема, огранка з непарною кількістю граней характеризуються тим, що діаметри профілю поперечного перетину у всіх напрямках однакові.

**БОЧКОПОДІБНІСТЬ, СІДЛОПОДІБНІСТЬ та КОНУСОПОДІБНІСТЬ** розглядають в поздовжньому перетині як відхилення твірних від паралельності.

Похибки форми площин найчастіше характеризуються такими показниками:

- відхиленням від прямолінійності;
- відхиленням від площинності.

Відхилення від площинності може бути у вигляді увігнутості або опуклості.

Відхилення взаємного розташування поверхонь найчастіше оцінюють такими параметрами, як відхилення від перпендикулярності, паралельності, співвісності, торцеве биття, радіальне биття тощо.

Одним із найважливіших завдань технолога є аналіз факторів, що викликають такі похибки оброблення і розроблення заходів щодо їх усунення.

**СУМАРНА ПОХИБКА ОБРОБЛЕННЯ  $\varepsilon_{\Sigma}$**  є наслідком дії багатьох первинних похибок:

$$\varepsilon_{\Sigma} = f(\varepsilon_i).$$

Найсуттєвіші з них наступні:

- $\varepsilon_{уст}$  – похибка установки заготовки;
- $\varepsilon_{верст}$  – геометричні похибки верстату;
- $\varepsilon_{налаг}$  – похибка налагодження верстату;
- $\varepsilon_{тем.деф}$  – похибка від температурних деформацій елементів ТОС;
- $\varepsilon_{знош.інстр}$  – похибка від зношування різального інструменту;
- $\varepsilon_{пруж.деф}$  – похибка від пружних деформацій елементів ТОС.

Тобто

$$\varepsilon_{\Sigma} = f(\varepsilon_{уст}, \varepsilon_{верст}, \varepsilon_{налаг}, \varepsilon_{темн.деф}, \varepsilon_{знош.інстр}, \varepsilon_{пруж.деф}).$$

З точки зору математичної статистики похибки, що виникають при виготовленні заготовок, їх механічному обробленні, під час контролю, складання виробів тощо можна поділити на дві групи – систематичні та випадкові, які, в свою чергу, мають свої різновиди.

Систематичні постійні похибки – це похибки, що не змінюються для всієї партії заготовок. Наприклад, у більшості випадків, - геометричні похибки верстату.

Систематичні змінні похибки – це похибки, величина яких змінюється в ході технологічного процесу за визначеним законом. Наприклад, зношення різального інструменту.

Випадкові похибки – це похибки, величина яких хоча знаходиться у певних межах, але для різних заготовок партії передбачити їх дійсне значення неможливо, причому їх поява не підпорядковується ніякій видимій закономірності.

Безперервними випадковими похибками є дійсні відхилення розмірів деталі від номінального, коливання маси заготовки тощо.

Дискретні випадкові похибки трапляються досить рідко, наприклад, кількість бракованих деталей у партії.

Ця класифікація досить умовна, тому що в одних випадках похибка може бути систематичною, а в інших – випадковою.

З точки зору цієї класифікації первинні похибки оброблення можна охарактеризувати наступним чином.

**ПОХИБКА УСТАНОВКИ ЗАГОТОВКИ  $\varepsilon_{уст}$ .** Структурно вона складається з похибок базування, закріплення та пристрою. Перші дві складові є випадковими похибками, а тому і  $\varepsilon_{уст}$  для партії заготовок є випадковою безперервною похибкою;

**ГЕОМЕТРИЧНІ ПОХИБКИ ВЕРСТАТУ  $\varepsilon_{верст}$ .** Якщо оброблення партії заготовок виконується на одному верстаті, то їх можна враховувати при налагодженні верстата. У цьому випадку для партії заготовок це систематична постійна похибка.

Існують випадки, коли одна операція виконується на декількох верстатах-дублерах. У цьому випадку для партії заготовок дана похибка переходить у групу випадкових.

**ПОХИБКА НАЛАГОДЖЕННЯ ВЕРСТАТУ  $\varepsilon_{налаг}$ .** Для партії заготовок, які обробляють при одному налагодженні верстата, ця похибка є систематичною постійною. Якщо оброблення проводиться на декількох верстатах-дублерах або при обробленні партії заготовок здійснюється підналагодження верстата, то похибка переходить у групу випадкових.

**ПОХИБКА ВІД ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТОС  $\varepsilon_{темн.деф}$ .** У режимі розігріву ТОС ця похибка є змінною систематичною. У

стаціонарний період роботи похибка переходить у групу систематичних постійних.

#### ПОХИБКА ВІД ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

$\varepsilon_{знош.інстр}$ . Ця похибка є змінною систематичною. Її дійсне значення може бути визначене для будь якої деталі у партії.

#### ПОХИБКА ВІД ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ ТОС

$\varepsilon_{пруж.деф}$ . Чинники, що впливають на цю похибку, мають як систематичні (жорсткість елементів ТОС), так і випадкові значення (коливання сил різання викликають: коливання припуску, коливання твердості оброблюваного матеріалу, ступінь затуплення різального інструмента тощо). Результатом дії випадкових чинників є теж випадкова величина, а тому  $\varepsilon_{пруж.деф}$  відносять до групи випадкових безперервних похибок.

Сумарну похибку оброблення  $\varepsilon_{\Sigma}$  визначають для певних розмірів (як правило, найбільш точних), які треба витримати на певній операції, з метою правильності призначення технологічних допусків на окремих технологічних переходах або перевірки можливості забезпечення точності розмірів, заданих кресленням для фінішних операцій виготовлення деталі, як правило, в умовах великосерійного і масового типів виробництва.

Перед початком розрахунку  $\varepsilon_{\Sigma}$  треба визначити, які первинні похибки мають місце при отриманні розміру на конкретній операції. Наприклад, при обробленні в центрах для діаметральних розмірів із складу  $\varepsilon_{\Sigma}$  можна виключити похибку установки  $\varepsilon_{уст}$  тощо.

При визначенні  $\varepsilon_{\Sigma}$  використовують два основних методи:

- метод максимуму-мінімуму;
- ймовірнісний метод.

Сутність методу максимуму-мінімуму полягає в тому, що розраховані аналітично або отримані із довідників значення первинних похибок підлягають алгебраїчному підсумовуванню.

У загальному випадку  $\varepsilon_{\Sigma}$  визначають наступним чином:

- при обробленні площин

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{уст} + \varepsilon_{верст} + \varepsilon_{налаг} + \varepsilon_{темн.деф} + \varepsilon_{знош.інстр} + \varepsilon_{пруж.деф};$$

- при обробленні поверхонь обертання

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2(\varepsilon_{уст} + \varepsilon_{налаг} + \varepsilon_{темн.деф} + \varepsilon_{знош.інстр} + \varepsilon_{пруж.деф}) + \varepsilon_{верст}.$$



При використанні методу максимуму-мінімуму вважають, що кожна з первинних похибок має своє максимальне значення, що в реальних виробничих умовах трапляється досить рідко.

Це, у свою чергу, призводить до збільшення технологічних допусків, матеріаломісткості та трудомісткості виготовлення продукції, зростання собівартості механічного оброблення.

Тому в умовах великосерійного і масового виробництва цей метод має обмежене застосування.

Ймовірнісний метод враховує класифікацію первинних похибок з точки зору математичної статистики, а також математичні закони, яким підпорядковується розподіл їх значень.

При використанні ймовірнісного методу величини первинних похибок підсумовують з урахуванням закону їх розподілу і припустимого відсотка ризику виникнення браку.

У загальному випадку формула для визначення сумарної похибки оброблення ймовірнісним методом має вигляд

$$\varepsilon_{\Sigma} = K \sqrt{k_1 \varepsilon_{\text{уст}}^2 + k_2 \varepsilon_{\text{налаг}}^2 + k_3 \varepsilon_{\text{темп.деф}}^2 + k_4 \varepsilon_{\text{знош.інстр}}^2 + k_5 \varepsilon_{\text{пруж.деф}}^2 + \varepsilon_{\text{верст}}},$$

де  $K$  – коефіцієнт ризику виникнення браку (табл.3.1);

$k_1, \dots, k_5$  - коефіцієнти, що враховують відмінність закону розподілу первинної похибки від нормального закону Гауса.

Таблиця 3.1.

Коефіцієнт ризику і можливий відсоток браку

Коефіцієнт ризику виникнення браку $K$	1	2	3
Відсоток можливого браку	32%	4,5%	0,27%

Практична частина лабораторної роботи передбачає експериментальну оцінку сумарної похибки оброблення для заданої технологічної операції.

Статистичне оброблення експериментальних даних включає розрахунок оцінки математичного очікування (середнього арифметичного значення) розміру  $\bar{D}$ , оцінки дисперсії нормального розподілу (середньоквадратичного відхилення)  $S$  та експериментального значення сумарної похибки оброблення  $\varepsilon_{\Sigma}$ .

Формули для розрахунків:

$$\bar{D} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n};$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D_i - \bar{D})^2}{n - 1}};$$

$$\varepsilon_{\Sigma} = \pm 3S.$$

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитися з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Вивчити особливості теоретичного розрахунку сумарної похибки оброблення  $\varepsilon_{\Sigma}$ .
4. Вивчити особливості експериментального визначення сумарної похибки оброблення  $\varepsilon_{\Sigma}$ .
5. Обробити партію деталей з  $n = 20 \dots 25$  шт.
6. Провести вимірювання отриманого розміру  $D_i$ .
7. Результати вимірів занести в табл.3.2 та представити графічно.
8. Оцінити точність оброблення, порівнявши поле розсіювання розмірів з допуском на розмір, вказаний на кресленні деталі.
9. Сформулювати пропозиції щодо підвищення точності оброблення.
10. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 3.2.

Результати вимірювань

Номер деталі	Параметр, що контролюється, $D_i$ , мм	Номер деталі	Параметр, що контролюється, $D_i$ , мм
1		14	
2		15	
3		16	
4		17	
5		18	
6		19	
7		20	
8		21	
9		22	
10		23	
11		24	
12		25	
13		26	

## Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату, назва інструменту, матеріал та геометричні параметри його різальної частини, форма, розміри та матеріал заготовок, режим оброблення.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Результати вимірювання розмірів деталей (табл.3.2).
6. Розрахунки середнього арифметичного значення розміру  $\bar{D}$ , середньоквадратичного відхилення  $S$  та експериментального значення сумарної похибки оброблення  $\epsilon_{\Sigma}$ . Для розрахунків можна скористатись рекомендаціями, приведеними в Додатку 3 і Додатку 4 та методикою, приведеною в Додатку 7.
7. Графіки експериментальних та теоретичного розподілів.
8. Результати перевірки гіпотези про узгодженість отриманих експериментальних законів розподілу за критерієм згоди ( $\chi^2$  – критерієм Пірсона). Методика, приклад розрахунку та табличні значення  $\chi^2$  – розподілу Пірсона приведені в Додатку 8.
9. Оцінка точності оброблення.
10. Пропозиції щодо підвищення точності оброблення.
11. Висновки по роботі.

## Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Що називають точністю оброблення?
3. Якими показниками оцінюється точність?
4. Які існують основні відхилення форми поверхонь?
5. Що називають сумарною похибкою оброблення?
6. Які складові сумарної похибки оброблення?
7. Як розраховують сумарну похибку оброблення за методом максимуму-мінімуму та ймовірнісним методом?
8. Яка методика для експериментального визначення сумарної похибки оброблення?
8. Правила безпеки при виконанні лабораторної роботи.

### АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ НА ДВОХ СУМІЖНИХ ОПЕРАЦІЯХ

**Мета та завдання роботи** – проаналізувати точність деталей на двох суміжних операціях, визначити вплив на точність оброблення явищ технологічної спадковості.

#### Обладнання та оснащення

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 (1K62). При виконанні роботи використовують індикатори годинникового типу. Характеристики верстатів та вимірювальних інструментів приведені в Додатку 1.

#### Методичні рекомендації до виконання роботи

При механічному обробленні спостерігається поступова зміна розмірів і форми заготовки з метою їх наближення до розмірів, заданих на кресленні деталі. При цьому на кожній операції вихідні показники якості та точності наближаються до заданих значень.

Про зміну точності на кожній операції можна судити за кривими розподілу розмірів, отриманих в результаті вимірювання певного числа деталей, оброблених на даній операції, а також за статистичними характеристиками (параметрами) цих розподілів – середнього арифметичного значення вимірюваного розміру  $\bar{X}$  і середньоквадратичного відхилення  $S$ .

Параметри розподілів розмірів, отриманих на попередній операції, називають вхідною якістю і позначають через  $\bar{X}$  та  $S_x$ , а аналогічні параметри розподілів на виконуваній операції – вихідною якістю і позначають через  $\bar{Y}$  та  $S_y$ .

Зв'язок між похибкою розміру обробленої деталі і похибкою розміру заготовки виникає через явище так званої технологічної спадковості і виражається залежністю:

$$\varepsilon_d = C\varepsilon_s, \quad (1)$$

де  $C$  – коефіцієнт, що залежить від режиму оброблення (швидкості різання  $V$ , швидкості подачі  $S_{хв}$ , глибини різання  $h$ ), фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу (зокрема, твердості  $HB$ ) і жорсткості  $J_{ТОС}$  технологічної оброблюваної системи (ТОС) на виконуваній операції

$$C = V^x S_{x\delta}^y h^z HB^n j_{TOS}^m$$

З рівняння (1) випливає, що похибка заготовки копіюється на обробленій деталі тим більше, чим більша величина коефіцієнту  $C$ . Однак  $\mathcal{E}_\delta$  і  $\mathcal{E}_z$  – змінні, випадкові величини, між якими не може бути функціональною зв'язку. Тоді очевидно, що цей зв'язок може бути тільки кореляційним.

Для визначення наявності кореляційного зв'язку необхідно обчислити величину коефіцієнта кореляції Пірсона.

КОЕФІЦІЄНТ КОРЕЛЯЦІЇ ПІРСОНА є показником кореляції (лінійної залежності) між двома змінними  $X$  та  $Y$ , який набуває значень від  $-1$  до  $+1$  включно. Він широко використовується в науці для вимірювання ступеня лінійної залежності між двома змінними. Показник був розроблений Карлом Пірсоном зі схожою ідеєю, представленою Френсісом Гальтоном в 1880-х р.р.

$$r_{xy} = \frac{Cov_{xy}}{S_x S_y},$$

де  $Cov_{xy}$  – величина коваріації множин розмірів, отриманих на попередній та виконуваний операції,

$S_x, S_y$  – середньоквадратичне відхилення розмірів.

КОВАРІАЦІЯ – числова характеристика залежності випадкових величин. Сутність коваріації полягає в тому, що вона виникає внаслідок невизначеності результату перемножування двох сукупностей чисел.

Величина коваріації розраховується за формулою

$$Cov_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1},$$

де  $\bar{x}, \bar{y}$  – середні значення розмірів деталей на попередній та виконуваний операціях

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}, \quad \bar{y} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{n},$$

$n$  – кількість виміряних деталей.

Середньоквадратичні відхилення досліджуваних величин визначають як

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}.$$

Якщо коефіцієнт кореляції  $r_{xy} = \pm 1$ , то досліджувані величини  $x$  і  $y$  пов'язані залежністю

$$y = a + bx, \quad (2)$$

де  $a$  і  $b$  – сталі.

Якщо досліджувані величини  $x$  і  $y$  незалежні, то коефіцієнт кореляції  $r_{xy} = 0$ . Зворотне твердження невірне. Коефіцієнт кореляції може дорівнювати 0, навіть якщо  $y$  є функцією від  $x$ .

Завжди виконується нерівність

$$r_{xy} \leq 1.$$

Чим ближче значення  $r_{xy}$  до  $\pm 1$ , тим точніше і тісніше кореляційний зв'язок між масивами значень  $x$  і  $y$ .

Для перевірки значущості коефіцієнта кореляції потрібно скористатись критерієм Стюдента:

$$t = |r_{xy}| \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{xy}^2}}.$$

Якщо розраховане значення  $t$  більше табличного  $t_\alpha$  (Додаток 2), знайденого при рівні значущості  $\alpha = 0,05$  та числі ступенів вільності  $f = n - 2$ , то гіпотеза про значущість  $r_{xy}$  підтверджується. Тоді рівняння регресії (2) можна записати наступним чином:

$$y = \bar{y} + r_{xy} \frac{S_y}{S_x} (x - \bar{x}) \quad (3)$$

В цьому рівнянні величина  $b = r_{xy} \frac{S_y}{S_x}$  показує, яка частка похибки на

вході переноситься на похибку виходу, і називається передатною характеристикою процесу.

Останнє рівняння можна використовувати для практичних завдань, пов'язаних з покращенням показників точності на вході технологічної операції з метою досягнення необхідної точності на її виході.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитися з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Провести вимірювання радіального биття заготовок. Результати вимірів занести в табл.4.1.
4. Обробити партію деталей.
5. Провести вимірювання радіального биття оброблених деталей. Результати вимірів занести в табл.4.1.
6. Розрахувати коефіцієнт кореляції Пірсона  $r_{xy}$ , перевірити його значущість за критерієм Стьюдента та записати рівняння регресії (3).
7. Побудувати за рівнянням регресії графік залежності  $y = f(x)$ .
8. Зробити висновки по роботі.

Таблиця 4.1.

Результати вимірів радіального биття партій заготовок та деталей

№ з/п	Радіальне биття заготовки, мм	Радіальне биття деталі, мм	№ з/п	Радіальне биття заготовки, мм	Радіальне биття деталі, мм
1			14		
2			15		
3			16		
4			17		
5			18		
6			19		
7			20		
8			21		
9			22		
10			23		
11			24		
12			25		
13			26		

## Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату, назва інструменту, матеріал та геометричні параметри його різальної частини, форма, розміри та матеріал заготовок, режим оброблення.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Результати вимірювання радіального биття партій заготовок та деталей (табл.4.1).
6. Розрахунок коефіцієнту кореляції Пірсона  $r_{xy}$ , перевірка його значущості за  $t$  - критерієм Стьюдента.
7. Рівняння регресії (3).
8. Графік залежності  $y = f(x)$ .
9. Висновки по роботі.

## Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Яке явище називають технологічною спадковістю?
3. Як визначають середнє арифметичне значення вимірюваного розміру?
4. Як визначають середньоквадратичне відхилення?
5. Що називають коефіцієнтом кореляції Пірсона, як він обчислюється?
6. Що називають коваріацією, як вона розраховується?
7. Про що свідчить величина коефіцієнту кореляції?
8. В якому випадку використовується  $t$  - критерій Стьюдента?
8. Правила безпеки при виконанні лабораторної роботи.



### АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЮВАНОЇ ПОВЕРХНІ

**Мета та завдання роботи** – ознайомитися з впливом параметрів шорсткості поверхні деталі на її експлуатаційні показники, ознайомитися з параметрами шорсткості, що встановлюються за ГОСТ 25142-82., ознайомитися з принципом роботи профілографа-профілометра, визначити вплив елементів режиму оброблення, зокрема швидкості подачі, на параметри шорсткості поверхні.

#### **Обладнання та оснащення**

Лабораторну роботу виконують на верстатах з ЧПК токарної групи фірми HAAS або на токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20 (1K62). Характеристики верстатів приведені в Додатку 1. Для вимірювання параметрів шорсткості поверхні використовується профілограф-профілометр.

#### **Методичні рекомендації до виконання роботи**

Експлуатаційні показники машинобудівної продукції значною мірою залежать від якісних характеристик її робочих поверхонь. Технологічне забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей робочих поверхонь в першу чергу пов'язано з формуванням заданих параметрів мікронерівностей в процесі реалізації технологічних операцій. Незважаючи на винятково малі розміри мікронерівностей, що становлять шорсткість, вони істотно впливають на найрізноманітніші експлуатаційні властивості деталей: тертя і знос, контактні деформації, корозійну стійкість, концентрацію напруг і втомну міцність, вібраційну активність тощо.

Геометричні характеристики якості обробленої поверхні визначаються відхиленнями профілю реальної поверхні від номінальної. Ці відхилення можна поділити на три різновиди: шорсткість, хвилястість та відхилення від правильної геометричної форми.

Терміни і визначення параметрів шорсткості поверхні встановлені ГОСТ 25142-82.

**РЕАЛЬНА ПОВЕРХНЯ** – це поверхня, що обмежує деталь і відокремлює її від навколишнього середовища.

**НОМІНАЛЬНА ПОВЕРХНЯ** – ідеальна поверхня, номінальна форма якої задана кресленням чи іншою технічною документацією.

**ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ** – це сукупність нерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділеними за допомогою базової довжини (рис.5.1).

**БАЗОВА ДОВЖИНА  $l$**  – довжина базової лінії, яку використовують для виділення нерівностей, що характеризують шорсткість поверхні.

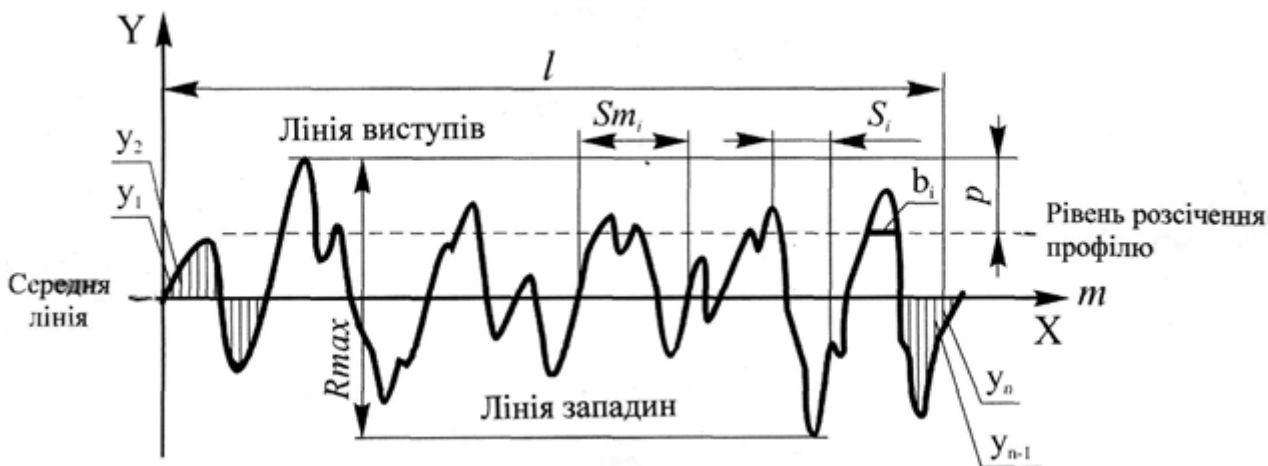


Рисунок 5.1. Елементи шорсткості поверхні

**БАЗОВА ЛІНІЯ** (поверхня) – лінія (поверхня) заданої геометричної форми, яка певним чином проведена щодо профілю (поверхні) і служить для оцінки геометричних параметрів поверхні.

Значення параметрів шорсткості поверхні визначаються від єдиної бази, за яку взята середня лінія  $m$ .

**СЕРЕДНЯ ЛІНІЯ  $m$**  – базова лінія, що має форму номінального профілю і проведена так, що в межах базової довжини середньоквадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімальне.

Шорсткість поверхні оцінюється на довжині  $L$ , що може містити одну чи декілька базових довжин  $l$ .

Значення базової довжини вибирають з ряду: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

**ВІДХИЛЕННЯ ПРОФІЛЮ** – відстань між будь-якою точкою профілю і середньою лінією.

**ЛІНІЯ ВИСТУПІВ ПРОФІЛЮ** – лінія, що є еквідистантою відносно середньої лінії і проходить через вищу точку профілю в межах базової довжини.

**ЛІНІЯ ЗАПАДИН ПРОФІЛЮ** – лінія, що є еквідистантою відносно середньої лінії і проходить через нижчу точку профілю в межах базової довжини.

Встановлено шість основних параметрів шорсткості поверхні (три висотних, два крокових та відносна опорна довжина профілю).

**СЕРЕДНЄ АРИФМЕТИЧНЕ ВІДХИЛЕННЯ ПРОФІЛЮ  $R_a$**  – середнє арифметичне з абсолютних значень відхилень профілю в межах базової довжини:

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

де  $l$  – базова довжина;  $n$  – кількість обраних точок на базовій довжині.

**ВИСОТА НЕРІВНОСТЕЙ ПРОФІЛЮ ЗА ДЕСЯТЬМА ТОЧКАМИ  $R_z$**  – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю і глибини п'яти найбільших западин у межах базової довжини:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

де  $y_{pi}$  – висота  $i$ -го найбільшого виступу профілю;  $y_{vi}$  – глибина  $i$ -ї найбільшої западини профілю.

**НАЙБІЛЬША ВИСОТА НЕРІВНОСТЕЙ ПРОФІЛЮ  $R_{max}$**  – відстань між лінією виступів профілю і лінією западин у межах базової довжини  $l$ .

**КРОК НЕРІВНОСТЕЙ ПРОФІЛЮ ПО СЕРЕДНІЙ ЛІНІЇ  $S_m$**  – середнє значення кроку нерівностей профілю по середній лінії в межах базової довжини:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

де  $n$  – кількість кроків у межах базової довжини  $l$ ;  $S_{mi}$  – крок нерівностей профілю, який дорівнює довжині відрізка середньої лінії, що обмежує нерівність профілю.

**КРОК МІСЦЕВИХ ВИСТУПІВ ПРОФІЛЮ  $S$**  – середнє значення кроку місцевих виступів профілю в межах базової довжини:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

де  $n$  – кількість кроків нерівностей по вершинах у межах базової довжини  $l$ ;  $S_i$  – крок нерівностей профілю по вершинах, який дорівнює довжині відрізка середньої лінії між проєкціями на неї двох найвищих точок сусідніх місцевих виступів профілю.

**ВІДНОСНА ОПОРНА ДОВЖИНА ПРОФІЛЮ  $t_p$**  – відношення опорної довжини профілю  $\eta_p$  до базової довжини  $l$ :

$$t_p = \frac{\eta_p}{l}.$$

ОПОРНА ДОВЖИНА ПРОФІЛЮ  $\eta_p$  – сума довжин відрізків  $b_i$  (рис.5.1) у межах базової довжини, що відтинаються на заданому рівні  $p$  у матеріалі профілю лінією, що є еквідистантою до середньої лінії  $m$ :

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i$$

Рівень  $p$  вимірюється у відсотках – для лінії виступів  $p = 0\%$ , для лінії западин  $p = 100\%$ .

Контроль шорсткості поверхні можна проводити за допомогою профілометрів.

ПРОФІЛОМЕТР – прилад, яким визначають розмір нерівностей (шорсткість) обробленої поверхні деталей.

Електродинамічний профілометр складається з алмазної голки, що, переміщаючись по поверхні, зазнає коливань перпендикулярно до контрольованої поверхні, відслідковуючи нерівності на ній, і датчика на базі індуктивного, ємнісного чи п'єзоелектричного перетворювача, який перетворює коливання голки на відповідні значення електричного сигналу, що подається на електровимірювальний прилад. Типовий профілометр має шкалу, з якої і зчитуються значення шорсткості поверхні. Таким профілометром можна вимірювати плоскі, циліндричні зовнішні і циліндричні внутрішні поверхні при діаметрі не менше 6 мм. Є також оптичні профілометри, що відтворюють у збільшеному масштабі профіль поверхні на екрані, інтерференційні тривимірні та лазерні скануючі, що дозволяють будувати дво- та тривимірне зображення поверхні, отримувати кількісні характеристики рельєфу поверхні, спостерігати інтерференційні картини, проводити металографічні дослідження.

Більшість сучасних профілометрів можуть записувати профілограму поверхні, завдяки чому вони ще мають назву ПРОФІЛОГРАФ-ПРОФІЛОМЕТР.

Профілометри, що працюють за щуповим методом, можуть вимірювати висоту нерівностей в діапазоні від 0,05 до 20 мкм. Сучасні оптичні (інтерференційні та лазерні) профілометри забезпечують чутливість до зміни профілю поверхні до 1 нм.

Профілометри випускаються стаціонарного і переносного типів. Їх застосовують головним чином у машинобудуванні для контролю параметрів шорсткості у цехових або лабораторних умовах.

Геометричні характеристики обробленої поверхні – це замикаюча ланка ТОС. Вони визначаються фізико-механічними властивостями оброблюваного та інструментального матеріалів, геометричними параметрами різальної частини інструменту і ступенем його зносу, режимом оброблення, умовами охолодження зони різання, пружно-жорсткісними та динамічними характеристиками елементів ТОС тощо.

Практична частина лабораторної роботи передбачає експериментальну оцінку впливу елементів режиму оброблення, зокрема швидкості подачі, на параметри шорсткості поверхні.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитися з обладнанням і вимірювальним інструментом, використовуваним у даній роботі.
3. Обробити партію деталей, змінюючи величину швидкості подачі.
4. Провести вимірювання параметру шорсткості поверхні  $R_a$  на профілографі-профілометрі тричі на кожній деталі, змінюючи досліджувану поверхню обертанням деталі.
5. Результати вимірів занести в табл.5.1.
6. Розрахувати середнє значення параметру шорсткості поверхні  $\overline{R_a}$  для кожної з подач.
7. Отримати профілограми, що відповідають використуваним подачам.
8. Користуючись профілограмами, визначити за наведеними вище формулами параметри шорсткості  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $S_m$  та  $t_p$  для кожної з профілограм.

#### Примітки:

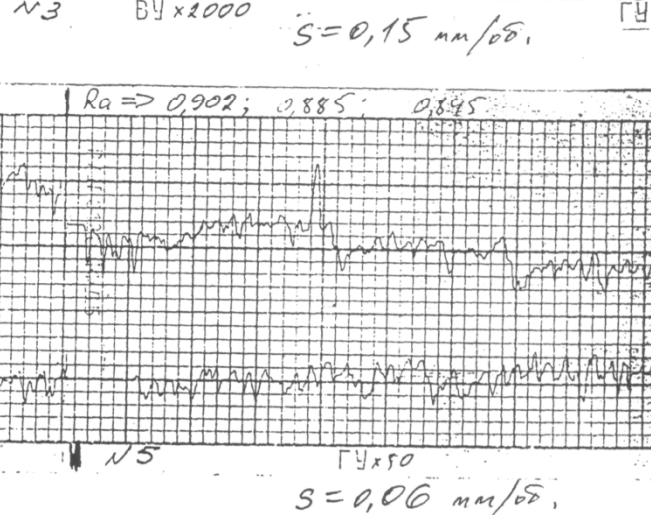
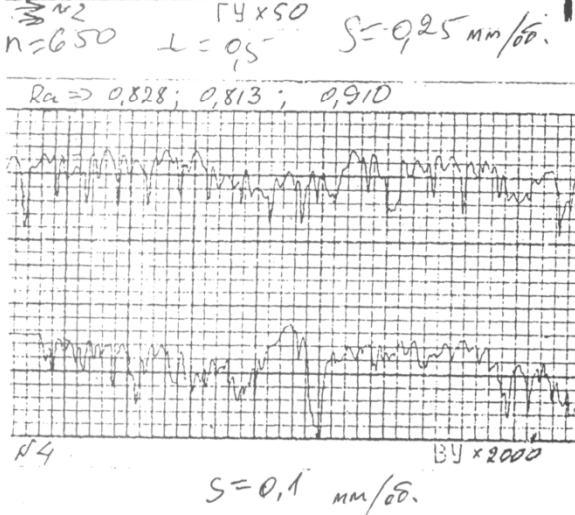
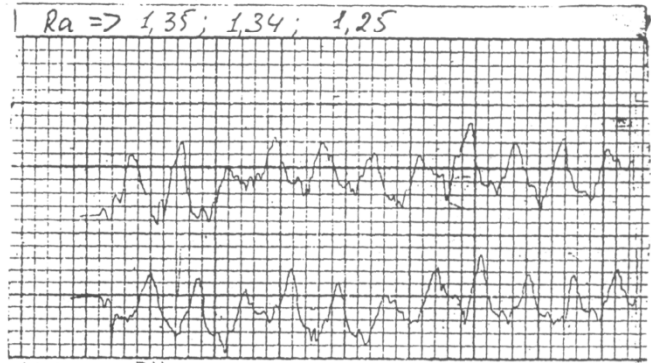
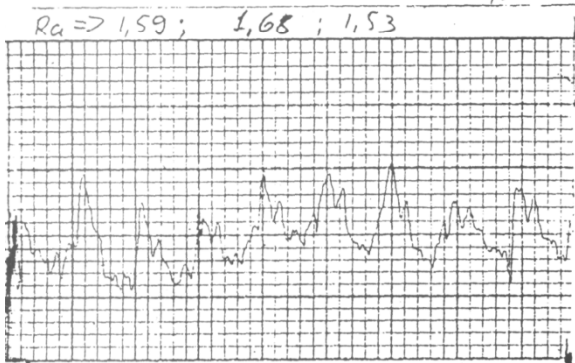
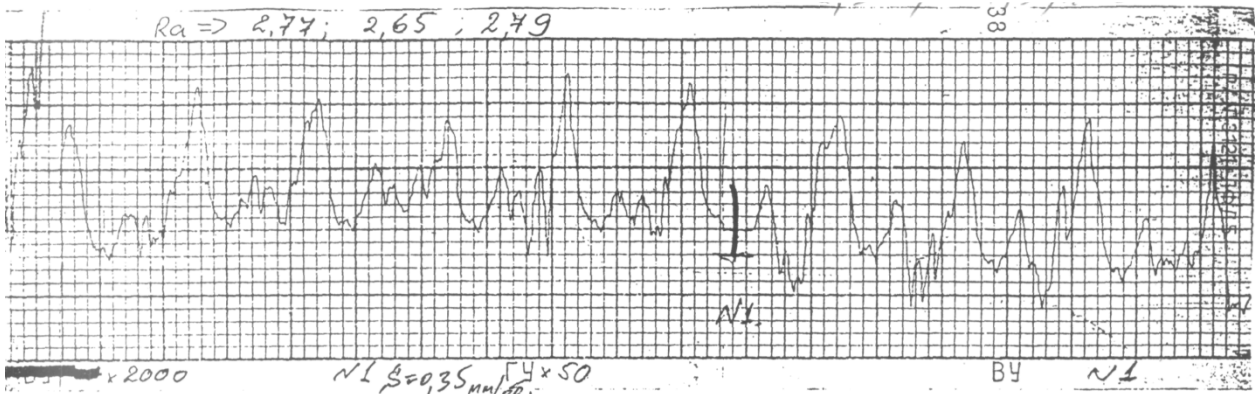
- базову довжину  $l$  визначити за допомогою табл.5.2;
  - при розрахунку параметрів шорсткості зважати на горизонтальне ( $\times 50$ ) та вертикальне ( $\times 2000$ ) збільшення профілограм відносно реальних розмірів поверхні;
  - величину  $t_p$  розраховувати для рівня  $p = 40\%$ .
9. Побудувати графіки залежностей, що пов'язують розраховані параметри шорсткості з величиною швидкості подачі  $S_{об}$ .
  10. Зробити висновки по роботі.

### Вихідні дані для виконання роботи:

Рекомендований режим оброблення:

- глибина різання  $h = 0,5$  мм;
- частота обертання шпинделя  $n = 650$  об./хв.;
- швидкості подач:  $S_{об1} = 0,35$  мм/об.,  $S_{об2} = 0,25$  мм/об.,  $S_{об3} = 0,15$  мм/об.,  $S_{об4} = 0,10$  мм/об.,  $S_{об5} = 0,06$  мм/об.

# Зразки профілограм



Таблиця 5.1.

Результати вимірів параметру шорсткості поверхні  $R_a$ 

№ з/п	1	2	3	4	5
Швидкість подачі $S_{об}$ , мм/об.					
Параметр шорсткості поверхні $R_a$ , мкм					
Середній параметр шорсткості поверхні $\overline{R_a}$ , мкм					

Таблиця 5.2.

Залежність базової довжини  $l$  від параметру шорсткості поверхні  $R_a$ 

№ з/п	1	2	3	4	5	6
Середній параметр шорсткості поверхні $\overline{R_a}$ , мкм	0,006... 0,02	0,02... 0,32	0,32... 2,5	2,5...10	10...80	80... 100
Базова довжина $l$ , мм	0,08	0,25	0,8	2,5	8	25

### Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: марка верстату, назва інструменту, матеріал та геометричні параметри його різальної частини, форма, розміри та матеріал заготовок, режим оброблення.
4. Назва та характеристики вимірювальних інструментів.
5. Результати вимірювання шорсткості деталей (табл.5.1).
6. Копії профілограм.
7. Визначення параметрів шорсткості  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $S_m$  та  $t_p$  для однієї з профілограм.
8. Графіки залежностей, що пов'язують розраховані параметри шорсткості з величиною швидкості подачі  $S_{об}$ :  $R_a = f(S_{об})$ ;  $R_z = f(S_{об})$ ;  $S_m = f(S_{об})$ ;  $t_p = f(S_{об})$  для всього діапазону швидкостей подач.
9. Висновки по роботі.

### **Питання для підготовки до виконання роботи**

1. Мета та завдання роботи.
2. Вплив параметрів шорсткості поверхні деталі на її експлуатаційні показники.
3. Визначення понять: шорсткості, реальної поверхні, номінальної поверхні, базової довжини, базової лінії, середньої лінії, відхилення профілю, лінії виступів профілю, лінії западин профілю, середнього арифметичного відхилення профілю, висоти нерівностей профілю за десятьма точками, найбільшої висоти нерівностей профілю, кроку нерівностей профілю по середній лінії, кроку місцевих виступів профілю, відносної опорної довжини профілю, опорної довжини профілю.
4. Формули для визначення: середнього арифметичного відхилення профілю, висоти нерівностей профілю за десятьма точками, найбільшої висоти нерівностей профілю, кроку нерівностей профілю по середній лінії, кроку місцевих виступів профілю, відносної опорної довжини профілю, опорної довжини профілю.
5. Принцип роботи профілографа-профілометра.
6. Вплив технологічних факторів на параметри шорсткості поверхні.
7. Від якого параметру шорсткості залежить вибір значення базової довжини?



### СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

**Мета та завдання роботи** – вивчити способи формоутворення різних типів поверхонь, розробити маршрути оброблення заданих поверхонь, скомпонувати технологічне обладнання, скласти обладнання з використанням комплекту уніфікованих верстатних модулів та впевнитись в його технологічних можливостях.

#### **Обладнання та оснащення**

Лабораторну роботу виконують за допомогою комплекту уніфікованих верстатних модулів UNIMAT 1 – CLASSIC (Додаток 6).

#### **Методичні рекомендації до виконання роботи**

Будь-яка поверхня може бути отримана внаслідок руху однієї лінії (твірної) по іншій (напрямній). Іноді ці лінії можуть бути взаємозамінними, тобто твірна лінія може бути напрямною, і навпаки. Наприклад, зовнішня циліндрична поверхня може бути отримана як слід руху твірної 1 (пряма лінія) по напрямній 2 (коло) (рис.б.1, а) або як слід руху твірної 1 (коло) по напрямній 2 (пряма лінія) (рис.б.1, б). Отримання зовнішньої конусної поверхні (рис.б.1, в) можливо тільки при русі твірної 1 (пряма лінія), розташованої під кутом  $\alpha$  до осі конуса, по напрямній 2 (коло). Лінійчата поверхня (рис.б.1, г) може бути отримана як слід руху твірної 1 (пряма лінія), розташованої під кутом до осі поверхні і не лежить з нею в одній площині, по напрямній 2 (коло).

На практиці можливі різні способи фізичної реалізації напрямної і твірної ліній. Так, для отримання зовнішньої циліндричної поверхні за схемою рис.б.1, а, твірна пряма лінія 1, що належить різальному інструменту, може бути фізично реалізована двома способами: у вигляді однієї різальної кромки інструменту (наприклад, широкого різця) або у вигляді сукупності слідів, що залишаються багатьма різальними кромками інструменту, що обертається навколо своєї осі (наприклад, циліндричної фрези або шліфувального круга). При цьому напрямна лінія 2 може бути реалізована трьома способами: обертанням кола 2 навколо своєї осі при нерухомій в просторі твірній 1, обертанням твірної 1 навколо нерухомого кола 2 і спільним обертанням твірної 1 і кола 2 відносно один одного. Таким чином, як показав аналіз, існує шість можливих способів отримання зовнішньої циліндричної поверхні за схемою рис.б.1, а.

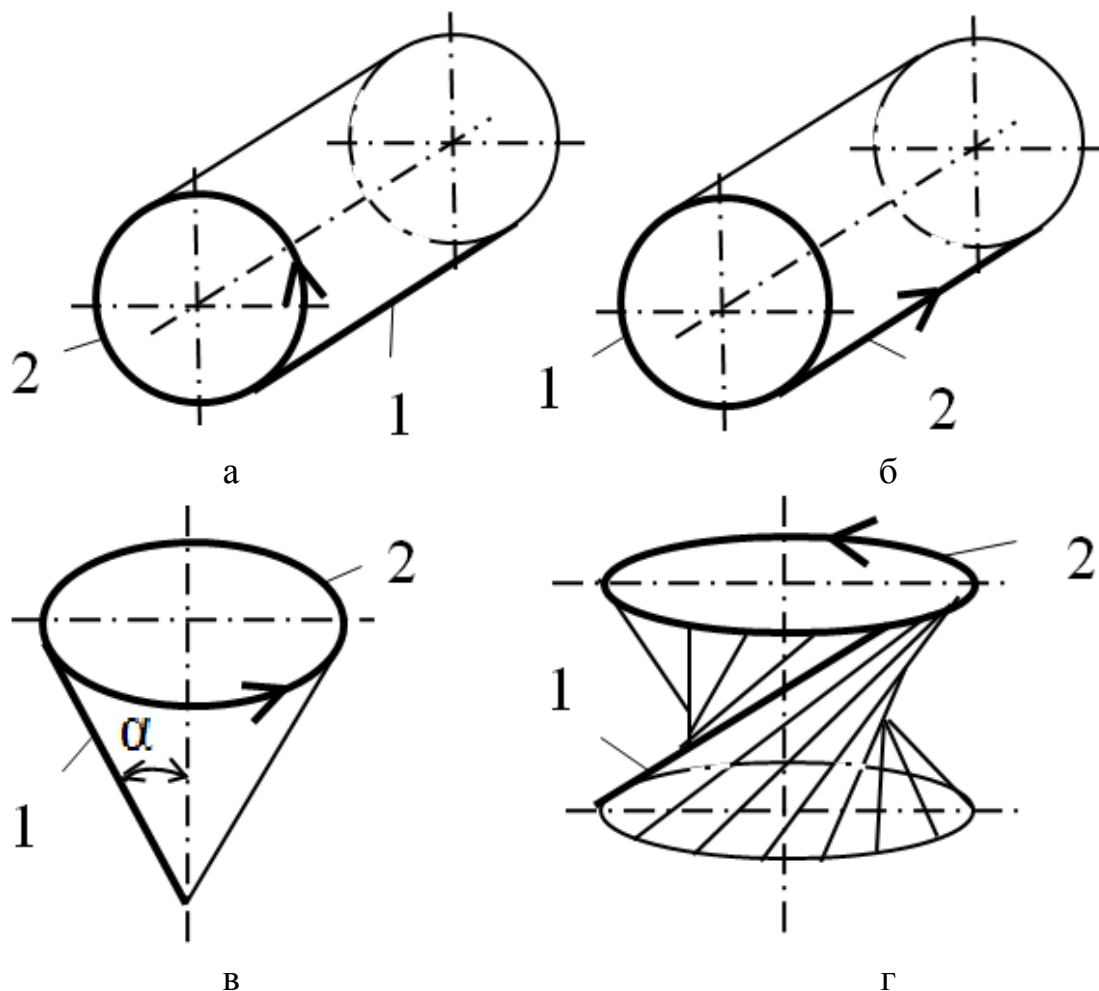


Рисунок 6.1. Схеми формоутворення поверхонь (а, б – циліндричної, в – конічної, г – лінійчатої)

Для кожного з цих способів можна сконструювати технологічне обладнання, що має механізми і приводи, здатні реалізовувати відповідні формоутворюючі рухи. При цьому необхідно взяти до уваги наявність на оброблюваній поверхні припуску і передбачити рух, що дозволяє його зрізати. Так, для схеми рис.б, а, цей рух повинен дозволяти зменшувати відстань між твірною 1 і віссю циліндра. Реалізувати його можна трьома способами: переміщенням твірної при нерухомій осі циліндра, переміщенням осі циліндра при нерухомій твірній та спільним зближенням твірної та осі циліндра.

Практична частина лабораторної роботи передбачає розроблення способів формоутворення різних типів поверхонь, розроблення маршруту оброблення заданих поверхонь, компонування технологічного обладнання, складання обладнання з використанням комплекту уніфікованих верстатних модулів та оброблення на цьому обладнанні деталей.

### Порядок виконання роботи

1. Вивчити техніку безпеки при роботі на верстаті.
2. Ознайомитися з обладнанням, використовуваним у даній роботі.
3. У відповідності до індивідуального варіанту (який складається з двох

цифр) з табл.6.1 і табл.6.2 вибрати вихідні дані.

4. Для вибраних поверхонь запропонувати можливі способи їх формоутворення.

5. Враховуючи задані в табл.6.1 точність, шорсткість і розміри поверхонь, запропонувати можливі способи їх отримання механічним обробленням (маршрути оброблення, схеми обладнання із зазначенням рухів різання і допоміжних рухів, інструменти).

6. Скласти обладнання, використовуючи комплект уніфікованих верстатних модулів, та впевнитися в його технологічних можливостях шляхом оброблення на цьому обладнанні деталей.

10. Зробити висновки по роботі.

### Зміст протоколу

1. Номер, назва роботи.
2. Мета та завдання роботи.
3. Вихідні дані: завдання згідно індивідуального варіанту.
4. Запропоновані способи формоутворення поверхонь.
5. Маршрути оброблення поверхонь.
6. Схеми обладнання із зазначенням рухів різання і допоміжних рухів.
7. Ескізи різальних інструментів.
8. Фотографії сконструйованих верстатів та оброблених деталей.
9. Висновки по роботі.

Таблиця 6.1.

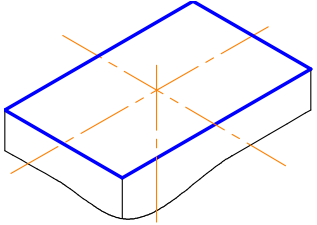
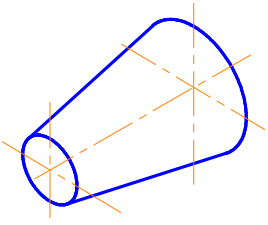
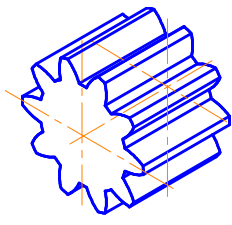
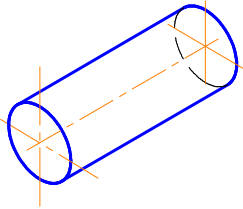
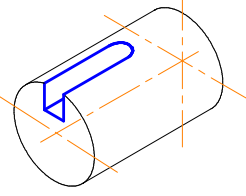
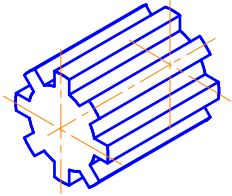
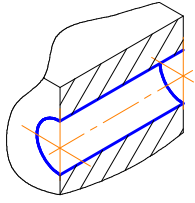
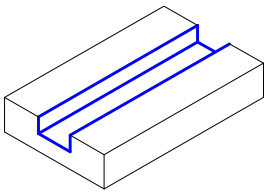
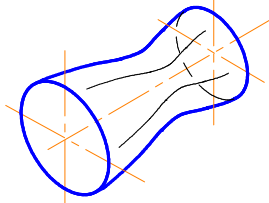
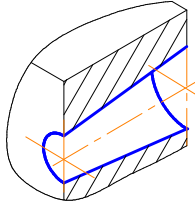
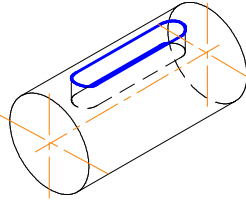
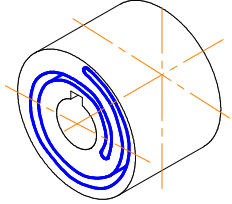
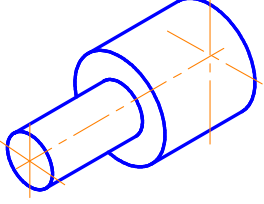
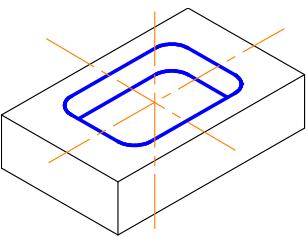
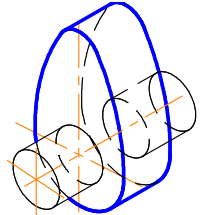
Вихідні дані. Точність, шорсткість і розміри поверхонь

Перша цифра варіанту	Точність і шорсткість поверхні	Співвідношення довжини $L$ і діаметра $D$ (ширини $B$ ) поверхні	Довжина $l$ шпонкового пазу, мм
0	$IT\ 6, R_a=0,32\dots0,63$ мкм	$L = D (B)$	30
1	$IT\ 7, R_a=0,63\dots1,25$ мкм	$L = 2 D (B)$	40
2	$IT\ 8\dots9, R_a=1,25\dots2,5$ мкм	$L = 4 D (B)$	50
3	$IT\ 10\dots11, R_a=2,5\dots5$ мкм	$L = 6 D (B)$	60
4	$IT\ 12\dots14, R_a=5\dots20$ мкм	$L = 10 D (B)$	70
5	$IT\ 6, R_a=0,32\dots0,63$ мкм	$L = 15 D (B)$	80
6	$IT\ 7, R_a=0,63\dots1,25$ мкм	$L = 1/2 D (B)$	90
7	$IT\ 8\dots9, R_a=1,25\dots2,5$ мкм	$L = 1/4 D (B)$	100
8	$IT\ 10\dots11, R_a=2,5\dots5$ мкм	$L = 1/6 D (B)$	110
9	$IT\ 12\dots14, R_a=5\dots20$ мкм	$L = 1/10 D (B)$	120

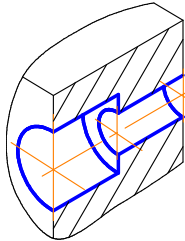
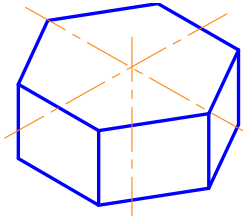
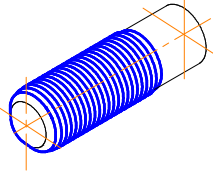
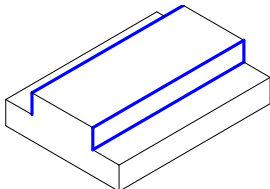
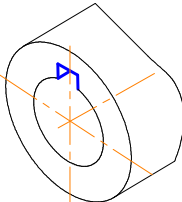
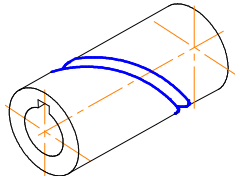
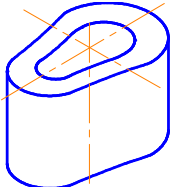
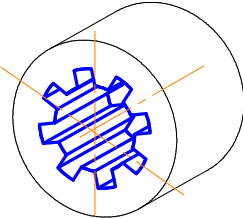
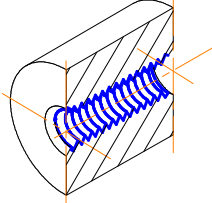
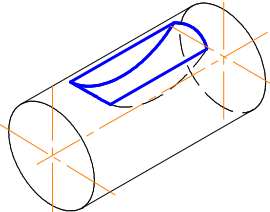
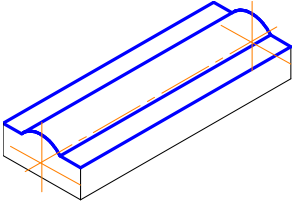
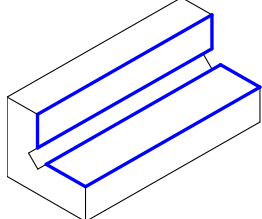
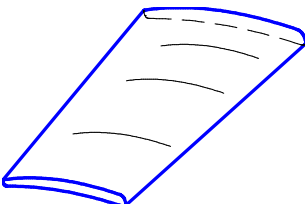
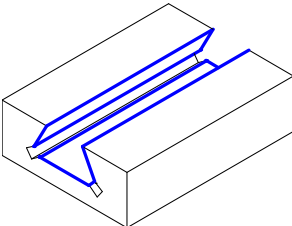
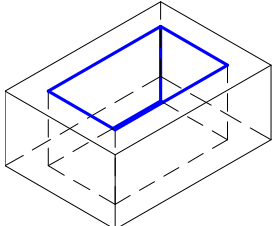
*Примітки:*

- співвідношення більшого  $D$  і меншого  $d$  діаметрів  $D / d = 2/1$ ;
- співвідношення довжини  $l$ , ширини  $b$  і глибини  $h$  пазу  $l / b / h = 10/1/1$ .

Таблиця 6.2.  
Вихідні дані. Типи поверхонь

Друга цифра варіанту	Типи поверхонь		
0	Плоска	Конічна зовнішня	Евольвентна
			
1	Циліндрична зовнішня гладка	Паз напіввідкритий під призматичну шпонку	Шліцьова зовнішня
			
2	Циліндрична внутрішня гладка	Паз наскрізний	Фасонна зовнішня поверхня обертання
			
3	Конічна внутрішня	Паз закритий під призматичну шпонку	Паз торцевий закритий
			
4	Циліндрична зовнішня ступінчаста	Контур замкнутий глухий внутрішній	Кулачок розподільчого валу
			

Таблиця 6.2 (продовження).  
Вихідні дані. Типи поверхонь

Друга цифра варіанту	Типи поверхонь		
5	Циліндрична внутрішня ступінчаста	Контур замкнутий зовнішній	Різьбова зовнішня
			
6	Плоска паралельна	Шпонковий паз внутрішній	Кулачок циліндричний
			
7	Кулачок торцевий відкритий	Шліцьова внутрішня	Різьбова внутрішня
			
8	Паз закритий під сегментну шпонку	Фасонна зовнішня	Уступ
			
9	Фасонна, лопатка	Фасонна, паз «ластівчин хвіст»	Контур замкнутий наскрізний внутрішній
			

### Питання для підготовки до виконання роботи

1. Мета та завдання роботи.
2. Що називають МОП?
3. Які МОП існують для оброблення зовнішніх незагартованих поверхонь обертання з чорних сплавів точності *IT 6*?
4. Які МОП існують для оброблення зовнішніх загартованих поверхонь обертання з чорних сплавів точності *IT 6*?
5. Які МОП існують для оброблення зовнішніх поверхонь обертання з кольорових металів та сплавів точності *IT 6*?
6. Які МОП існують для оброблення внутрішніх незагартованих поверхонь обертання з чорних сплавів точності *IT 7*?
7. Які МОП існують для оброблення внутрішніх загартованих поверхонь обертання з чорних сплавів точності *IT 7*?
8. Які МОП існують для оброблення внутрішніх поверхонь обертання з кольорових металів та сплавів точності *IT 7*?
9. Які МОП існують для оброблення плоских незагартованих поверхонь з чорних сплавів точності *IT 7*?
10. Які МОП існують для оброблення плоских загартованих поверхонь з чорних сплавів точності *IT 7*?
11. Які МОП існують для оброблення плоских поверхонь з кольорових металів та сплавів точності *IT 7*?
12. Які МОП існують для оброблення зовнішніх різьбових поверхонь?
13. Які МОП існують для оброблення внутрішніх різьбових поверхонь?
14. Які МОП існують для оброблення зовнішніх шліцьових поверхонь?
15. Які МОП існують для оброблення внутрішніх шліцьових поверхонь?
16. Які МОП існують для оброблення поверхонь зубців зубчастих коліс?
17. Які МОП існують для оброблення поверхонь зубців черв'ячних коліс?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Маталин А.А. Технология машиностроения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1985. – 496 с.
2. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1. Т.1, 2003. – 912 с.
3. Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. Справочник технолога-машиностроителя. 5-е изд., исправл. – М.: Машиностроение-1. Т.2, 2003. – 944 с.
4. Панов А.А., Аникин В.В. и др. Обработка металлов резанием. Справочник технолога. Второе издание, переработанное и дополн. – М.: Машиностроение. 2004. – 784 с.
5. Измерения и анализ шероховатости, волнистости и некруглости поверхности. Дунин-Барковский И.В., Карташова А.Н. – М.: Машиностроение., 1978. – 232 с.
6. Корольюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В. Справочник по теории вероятностей и математической статистике. – М.: Наука. 1985. – 640 с.
7. Радзевич С.П. Формообразование поверхностей деталей. Основы теории. Монография. – К.: Растан, 2001. – 592с.
8. ГОСТ 25346-89. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
9. ГОСТ 25347-2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов.
10. ГОСТ 25142-1982. Шероховатость поверхности. Термины и определения.
11. ГОСТ 10356-63. Отклонения формы и расположения поверхностей. Основные определения. Предельные отклонения.
12. ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.
13. ГОСТ Р 53442-2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.

## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЛАДНАННЯ ТА ВИМІРЮВАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

### ТОКАРНО-РЕВОЛЬВЕРНИЙ ЦЕНТР З ЧПК З ВІССЮ Y НААС ST-10Y



#### Параметры рабочей зоны

Максимально устанавливаемый диаметр заготовки, мм	
над станиной .....	641
над кареткой .....	413
Максимальный обрабатываемый наружный диаметр, мм .....	228
Максимальная длина точения, мм .....	356

#### Параметры шпинделя

Посадка шпинделя .....	A2-5
Максимальная частота вращения шпинделя, об/мин .....	6000
Максимальный крутящий момент на шпинделе (при n=1300 об/мин), Нм .....	102
Максимальная мощность на шпинделе, кВт .....	11,2
Диаметр отверстия в шпинделе, мм .....	58,7
Диаметр отверстия в тяговой гидравлической трубе, мм .....	46
Максимальный диаметр обрабатываемого прутка, мм .....	44
Диаметр трехкулачкового гидравлического патрона, мм .....	165

#### Параметры подач

Величина рабочих перемещений по осям, мм	
по оси OX .....	200
по оси OY .....	±50,8
по оси OZ .....	356
Максимальная скорость холостых перемещений рабочих органов по осям, м/мин	
по оси X .....	24,0
по оси Y .....	12,7
по оси Z .....	30,5
Максимальные допустимые усилия по осям, кН	
по оси OX .....	10,7
по оси OY .....	10,2
по оси OZ .....	16,5



## Параметры инструментального револьвера

Тип инструментального револьвера .....	VDI
Тип резцедержателей .....	VDI40
Количество позиций в револьвере .....	12
Сечения корпусов резцов, мм .....	25×25
Время смены инструмента, сек.....	1

## Параметры приводного инструмента и С-оси

Максимальная частота вращения, об/мин .....	3000
Максимальная мощность, кВт .....	3,7
Пиковый крутящий момент, Нм .....	22,0
Точность позиционирования С-оси, град .....	±0,01
Прижимное усилие тормоза, Н .....	4448

Включает 1 радиальную и 1 осевую приводные станции

## Параметры точности

Точность позиционирования суппорта, мм .....	±0,0050
Повторяемость позиционирования суппорта, мм.....	±0,0025

## Параметры устройства ЧПУ

Тип устройства .....	Haas-Fanuc
Количество управляемых осей .....	4
Тип монитора для отображения информации .....	LCD 15"
Скорость обработки программ, блоков/сек .....	до 1000
Тип интерфейса (скорость передачи данных, Бод).....	RS232 (115200)
Тип интерфейса для подключения съемных носителей памяти.....	USB
Объем памяти для хранения программ, кБ .....	1024
Минимальная дискретность задаваемых значений, мм .....	0,001

## Параметры управления УЧПУ

- ISO программирование в G-кодах;
- графическая 2D визуализация;
- 17 встроенных стандартных циклов обработки;
- текстовый редактор управляющих программ;
- круговой многофункциональный JOG-маховичок;
- калькулятор для расчета режимов резания и геометрии;
- мониторинг режущего инструмента по нагрузке и стойкости;
- функция компенсации инструмента с возможностью учета износа;
- метрическая и дюймовая система;
- возможность продолжения программы с любого кадра;
- автодиагностика станка;
- 5 дополнительных M-функций для вспомогательного оборудования.

## Параметры подключения и установки

Электропитание .....	3 ф. 400В, 50 Гц
Потребляемая электрическая мощность, кВА.....	14
Требования к сжатому воздуху	
рабочее давление в сети, бар.....	6,9
рабочий расход, л/мин .....	113
Габаритные размеры станка, мм	
длина .....	3048
глубина .....	2108
высота .....	1803
Масса ориентировочная, кг .....	2268

## Особенности конструкции

- Полностью литая чугунная станина
- Полностью закрытое герметичное защитное ограждение
- Серводвигатели перемещений по осям с прямой передачей момента
- Стальные закаленные подшипниковые блоки направляющих
- ШВП с двойным креплением и предварительно натянутой гайкой
- Система автоматической смазки направляющих и ШВП
- Система компенсации тепловых расширений ШВП
- Встроенный бак для СОЖ

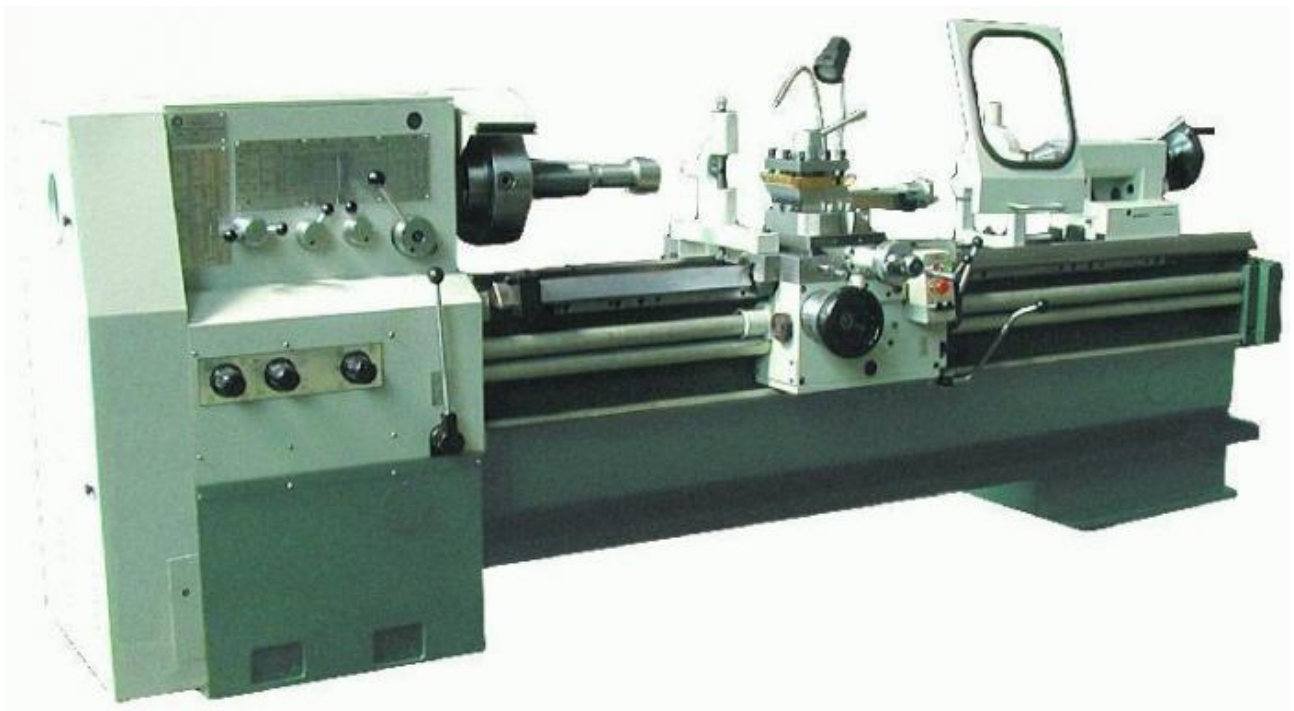
## Базовая комплектация

- Система СОЖ с баком на 114 л, насос 0,6 кВт;
- присоединительные части к пневмосистеме: (фильтр, редуктор);
- ручной пневмопистолет для удаления стружки с детали;
- станочное освещение;
- лампа индикации состояния станка;
- электромеханический замок дверей ограждения рабочей зоны;
- функция автоматического отключения станка;
- комплект регулировочных опор;

## Опции, включенные в европейскую комплектацию

LT2-HT	Система приводного инструмента и С-оси
USB	USB порт
SO	Ориентация шпинделя
RTAP	Цикл прямого резьбонарезания
EXPACK	Экспортная упаковка
INTRN	Внутренний автотрансформатор (354–480 В)
KEY	Кнопочный выключатель для блокировки памяти
CE	Соответствие нормам безопасности CE

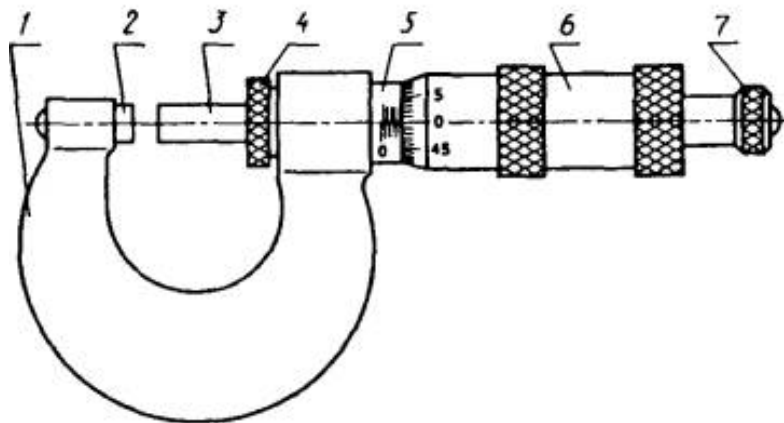
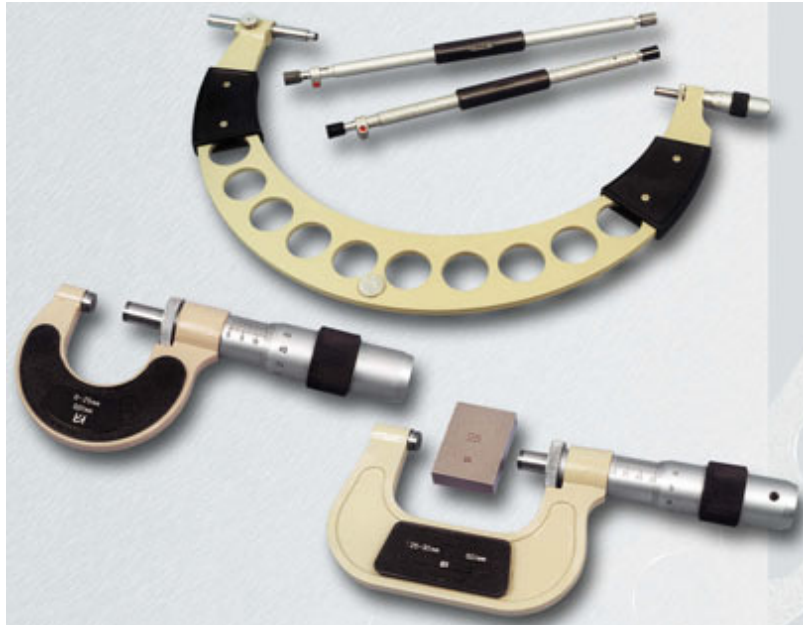
## ТОКАРНО-ГВИНТОРИЗНЫЙ ВЕРСТАТ 16K20 (1K62)



Технічні характеристики верстату 16K20 (1K62)	Параметри
Діаметр оброблення над станиною, мм	400
Діаметр оброблення над супортом, мм	220
Відстань між центрами	1000 / 1500
Клас точності за ГОСТ 8-82	H
Розмір внутрішнього конуса в шпинделі	Морзе 6 M80*
Кінець шпинделя за ГОСТ 12593-72	6K
Діаметр наскрізного отвору в шпинделі, мм	55
Максимальна маса заготовки, закріпленої в патроні, кг	300
Максимальна маса деталі, закріпленої в центрах, кг	1 300
Число ступенів частот зворотного обертання шпинделя	12
Межі частот прямого обертання шпинделя, хв-1	12,5 - 2 000
Межі частот зворотного обертання шпинделя, хв-1	19 - 2 420
Число ступенів робочих подач - повздовжніх	42
Число ступенів робочих подач - поперечних	42
Межі робочих подач - повздовжніх, мм/об.	0.7 - 4,16
Межі робочих подач - поперечних, мм/об.	0,035-2,08
Число нарізаних метричних різьб	45
Число нарізаних дюймових різьб	28
Число нарізаних модульних різьб	38
Число нарізаних пітчевих різьб	37
Число нарізаних різьб - Архімедової спіралі	5
Найбільший крутний момент, кНм	2
Найбільше переміщення пінолі, мм	200
Поперечний зсув корпусу, мм	±15
Найбільший перетин різця, мм	25
Потужність електродвигуна головного приводу	10 кВт
Потужність електродвигуна приводу швидких переміщень супорта, кВт	0,75 або 1.1
Потужність насоса охолодження, кВт	0,12
Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В), мм	2 812 / 3 200 x 1 166 x 1 324
Маса верстату, кг	3 035



## МІКРОМЕТР ГЛАДКИЙ ТИПУ МК



1 – скоба, 2 – п'ятка, 3 – мікрометричний гвинт, 4 – стопор, 5 – барабан, 6 – тріскачка (фрикціон)

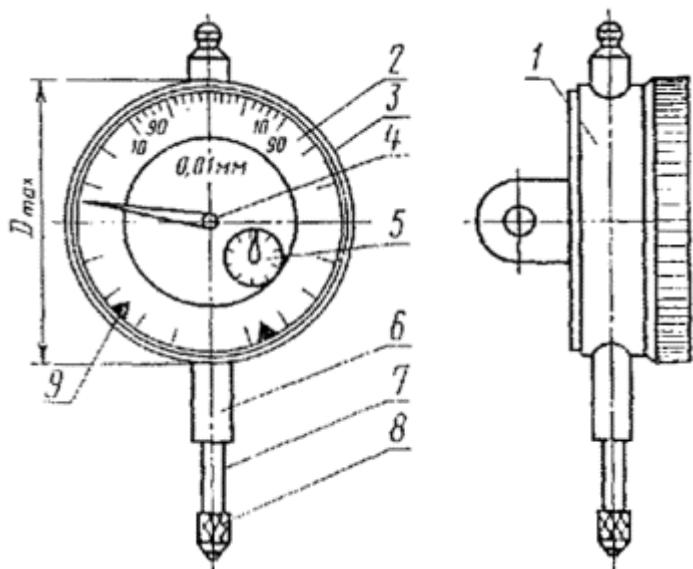
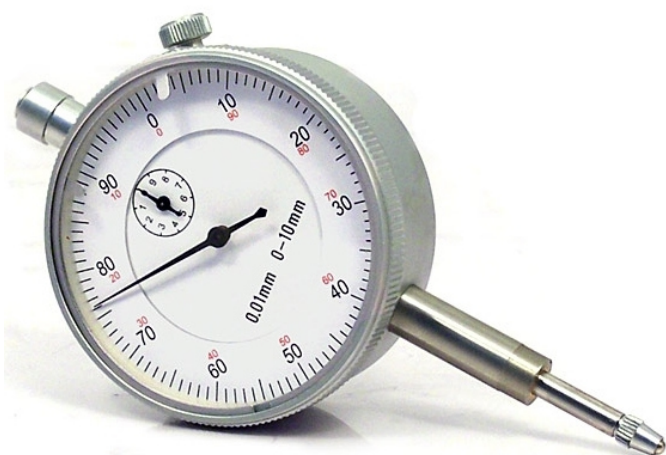
Основні параметри, розміри та класи точності мікрометрів, мм

Тип мікрометра	Діапазон измерений мікрометра с отсчетом показаний				Шаг мікрометрического винта	Измерительное перемещение микровинта	
	по шкалам стебля и барабана классов точности		по шкалам стебля и барабана с нониусом	по электронному цифровому устройству классов точности			
	1	2		1			2
МК	0-25; 25-50; 50-75; 75-100				0,5	25	
	100-125; 125-150; 150-175; 175-200; 200-225; 225-250; 250-275; 275-300		-				
	300-400; 400-500; 500-600						

Ціна поділки мікрометра  $C = 0,01$  мм.

Приклад умовного позначення гладкого мікрометру з діапазоном вимірювань 25-50 мм 1-го класу точності: *Мікрометр МК 50-1 ГОСТ 6507-90.*

## ІНДИКАТОР ГОДИННИКОВОГО ТИПУ

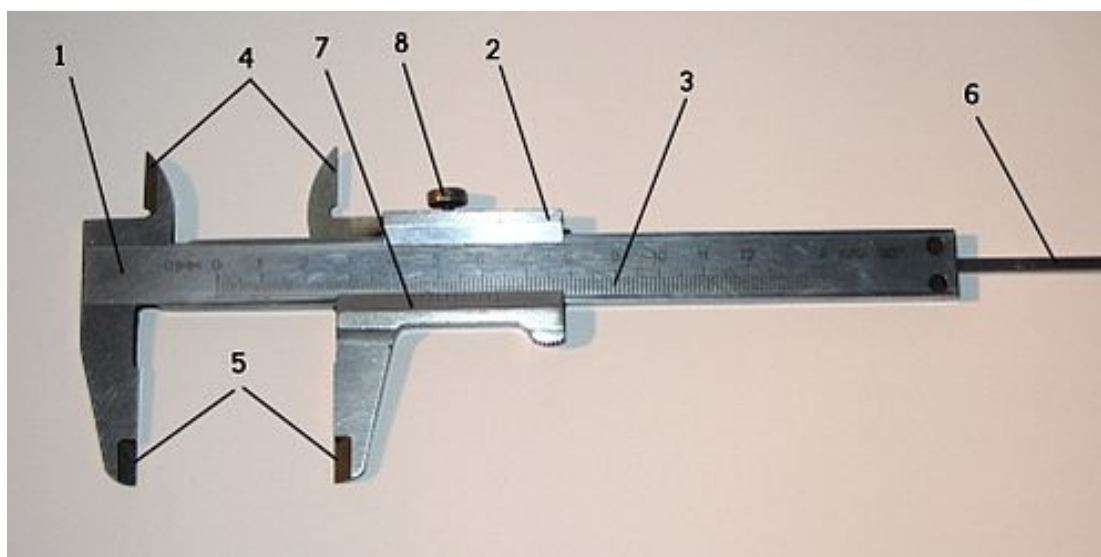
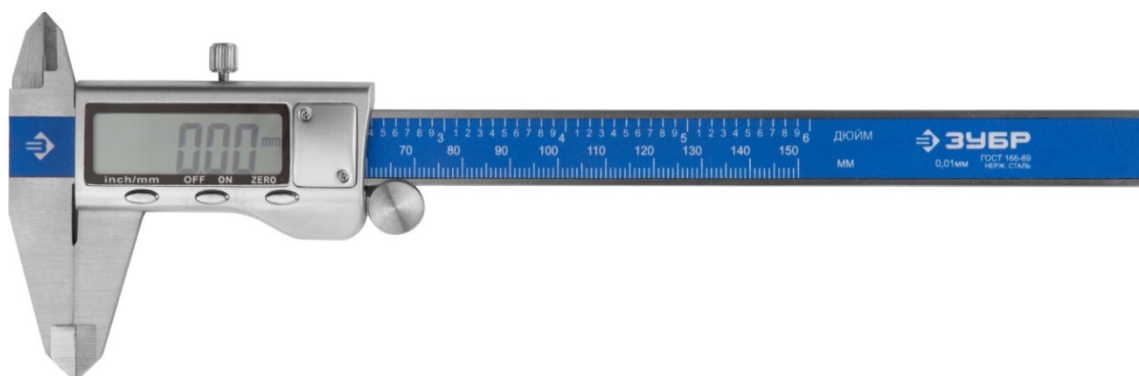
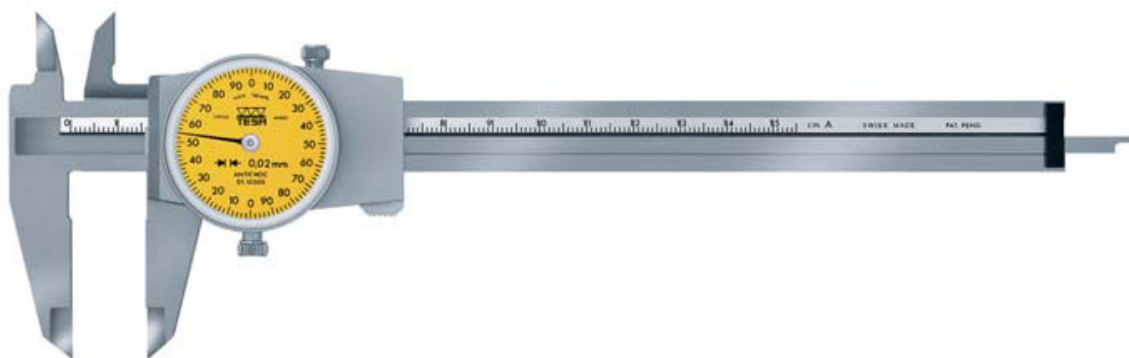


- 1 – корпус, 2 – циферблат, 3 – ободок,  
 4 – стрілка, 5 – покажчик, 6 – гільза,  
 7 – вимірювальний стрижень,  
 8 – вимірювальний наконечник,  
 9 – покажчик нуля допуску

Ціна поділки індикаторів  $C = 0,01$  мм,  $0,002$  мм,  $0,001$  мм.

Приклад умовного позначення індикатора виконання ІЧ з діапазоном вимірювань  $0-2$  мм, звичайного, класу точності 0: *Індикатор ІЧ02 кл.0 ГОСТ 577-68.*

## ШТАНГЕНЦИРКУЛЬ



1 – штанга, 2 – рухома рамка, 3 – шкала штанги, 4 – губки для внутрішніх вимірювань, 5 – губки для зовнішніх вимірювань, 6 – лінійка глибиноміру, 7 – шкала ноніусу, 8 – гвинт для затиску рамки

Ціна поділки штангенциркулів  $C = 0,1, 0,05$  мм (з ноніусом),  $C = 0,1, 0,05, 0,02$  мм (з круговою шкалою відліку), крок дискретності цифрового пристрою відліку –  $0,01$  мм.

Приклад умовного позначення штангенциркуля типу II з діапазоном вимірювань 0-250 мм та значенням відліку по ноніусу 0,05 мм: Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89.

***t*-КРИТЕРІЙ СТЬЮДЕНТА**

Число ступеней вільності <i>f</i>	Рівень значущості $\alpha$			Число ступеней вільності <i>f</i>	Рівень значущості $\alpha$		
	0,01	0,05	0,10		0,01	0,05	0,10
1	63,66	12,71	6,31	18	2,88	2,10	1,73
2	9,93	4,30	2,92	19	2,86	2,09	1,73
3	5,84	3,18	2,35	20	2,85	2,09	1,72
4	4,60	2,78	2,13	22	2,82	2,07	1,72
5	4,03	2,57	2,02	24	2,80	2,06	1,71
6	3,71	2,45	1,94	26	2,78	2,06	1,71
7	3,50	2,36	1,90	28	2,76	2,05	1,70
8	3,36	2,31	1,86	30	2,75	2,04	1,70
9	3,25	2,26	1,83	35	2,72	2,03	1,69
10	3,17	2,23	1,81	40	2,70	2,02	1,68
11	3,11	2,20	1,80	45	2,69	2,01	1,68
12	3,06	2,18	1,78	50	2,68	2,01	1,68
13	3,01	2,16	1,77	60	2,66	2,00	1,67
14	2,98	2,14	1,76	80	2,64	1,99	1,66
15	2,95	2,13	1,75	100	2,63	1,98	1,66
16	2,92	2,12	1,75	120	2,62	1,98	1,66
17	2,90	2,11	1,74	$\infty$	2,58	1,96	1,65

## АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКІВ ТА ПОБУДОВА КРИВОЇ НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ MICROSOFT EXCEL

Відомо, що розподіл дійсних розмірів заготовок, оброблених на попередньо налагоджених верстатах, дуже часто підпорядковується закону нормального розподілу (закону Гауса).

Метод побудови кривої нормального розподілу передбачає достатньо громіздкі розрахунки. Це досить монотонна робота з великою кількістю дій, які неодноразово повторюються, що призводить до появи помилок в розрахунках.

Пропонується виконувати такі розрахунки за допомогою програмного продукту Microsoft Excel. При цьому кінцевий результат отримується після вводу вихідних даних та вводу у вікно для введення формул програмного продукту Microsoft Excel розробленої програми. В сусідньому вікні отримаємо необхідні дані для побудови експериментальної та теоретичної кривих розподілу та самі графіки, що відображають ці криві.

При використанні розробленої програми зникла необхідність в зверненні до допоміжної літератури у вигляді таблиці «Густина вірогідності нормального розподілу  $\varphi(z)$ ». Програма самостійно посилається на таблицю для визначення  $\varphi(z)$ , а також на всі необхідні формули. Експериментальна та теоретична криві нормального розподілу виводяться на екран у вигляді графіка, представленого на рис.Д.3.1.

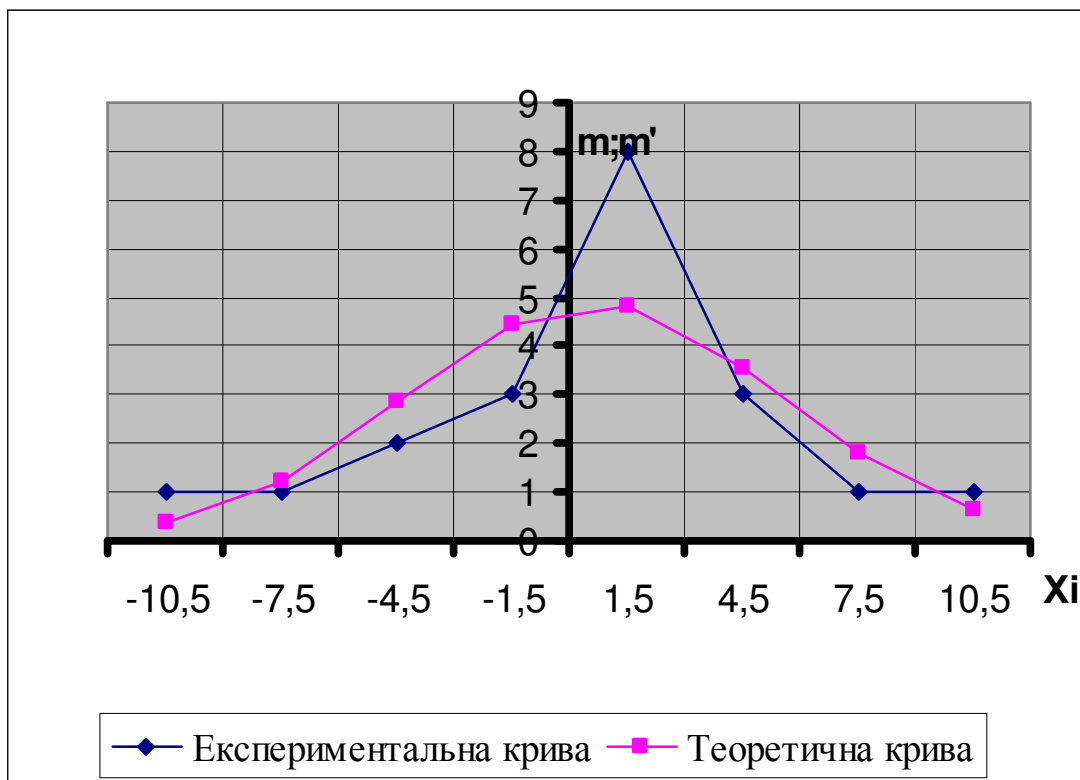


Рис.Д.3.1. Експериментальна та теоретична криві розподілу випадкової величини



Порядок розрахунку приведений на рис.Д.3.2.



Рис.Д.3.2. Порядок розрахунку

В формулах використовувались наступні позначення:  $N$  – кількість значень випадкової величини;  $S$  – середньоквадратичне відхилення;  $\varphi(z_u)$  – густина вірогідності нормального розподілу;  $P'_u$  – теоретична вірогідність;  $m'_u$  – теоретична частота потрапляння заданих значень в певний інтервал.

## ДОДАТОК 4

# ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ ГРАФІКУ РОЗПОДІЛУ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН ЗА НОРМАЛЬНИМ ЗАКОНОМ

Програмний засіб призначений для вирішення задачі визначення підпорядкування масиву експериментальних даних закону нормально розподілу Гауса.

Процедура оброблення експериментальних даних відбувається в середовищі програмного продукту DELPHI. На рис.Д.4.1 приведено інтерфейс вікна вводу експериментальних даних, на рис.Д.4.2 – інтерфейс вікна з результатами розрахунків та побудованими графіками.

За допомогою програми визначаються:  $x_{min}$  – мінімальне значення випадкової величини;  $x_{max}$  – максимальне значення випадкової величини;  $R_{експ}$  – експериментальний розмах випадкової величини;  $R_{розн}$  – розрахунковий розмах випадкової величини;  $K$  – кількість інтервалів;  $h$  – ширина інтервалу;  $\bar{X}$  – середньоарифметичне значення випадкової величини;  $S$  – середньоквадратичне відхилення випадкової величини;  $6S$  – величина поля розсіювання випадкової величини.

В багатьох практичних задачах точний закон розподілу випадкової величини невідомий, тобто є гіпотезою, яка потребує статистичної перевірки. Для перевірки гіпотези необхідно порівняти експериментальний і теоретичний розподіли випадкової величини за допомогою критерію згоди. В даному випадку перевірка гіпотези про закон розподілу виконується за  $\chi^2$  – критерієм Пірсона.

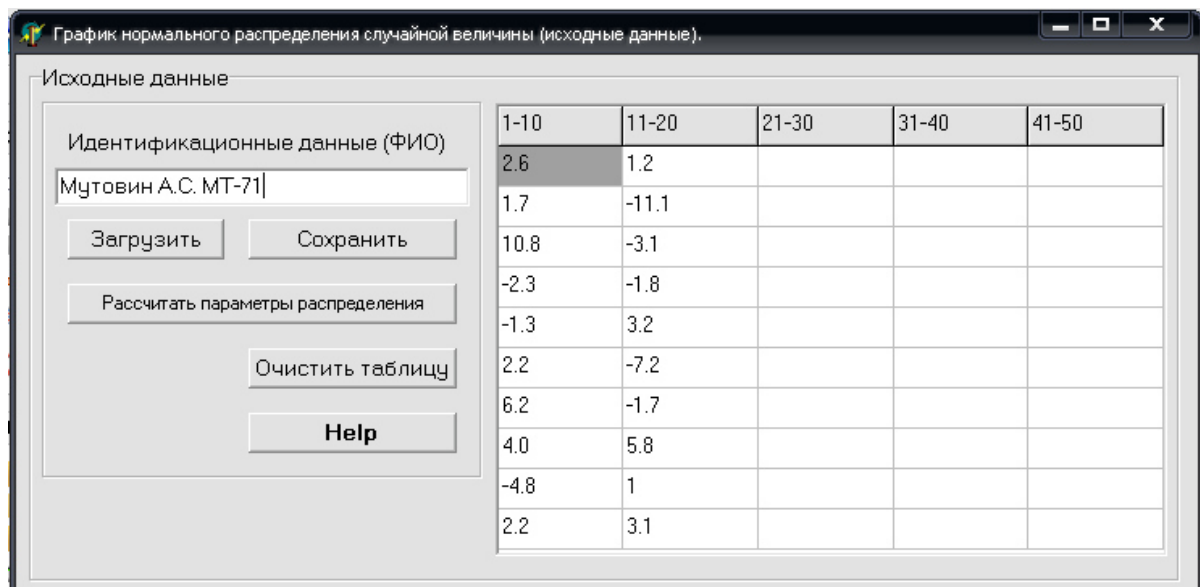


Рис.Д.4.1. Інтерфейс вікна вводу вихідних даних

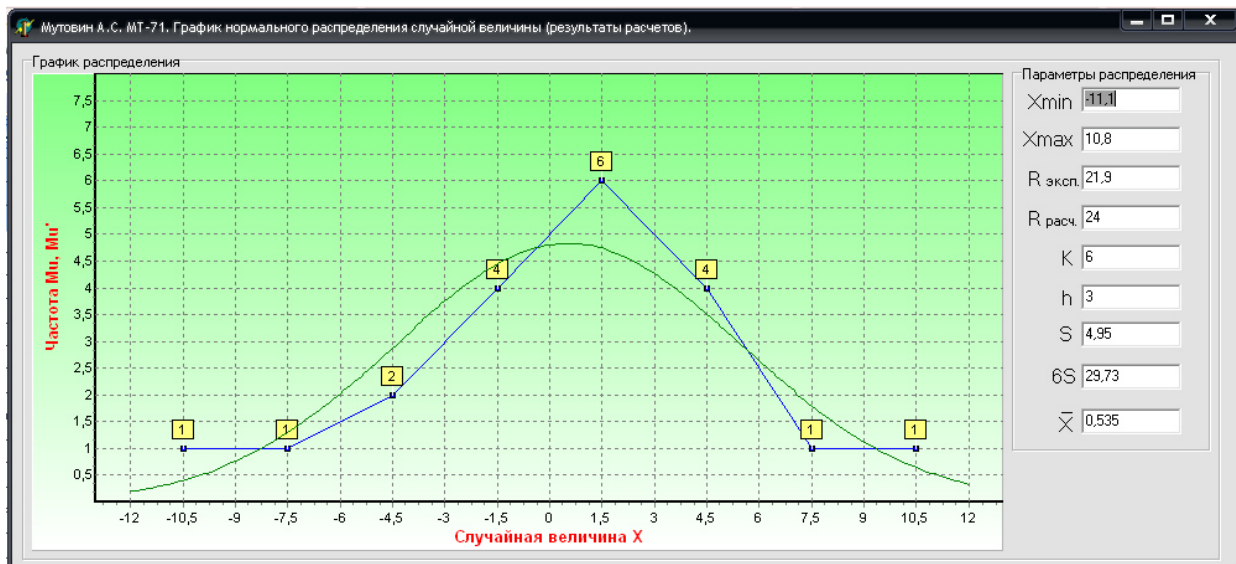


Рис.Д.4.2. Интерфейс вікна з результатами розрахунків

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОРЕЛЯЦІЇ ДВОХ ВИБІРОК ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

Для аналізу явищ технологічної спадковості виникає необхідність порівняння точності оброблення деталей на суміжних операціях технологічного процесу. Це можливо шляхом розрахунку коефіцієнту кореляції двох вибірок випадкових величин (наприклад, точності розмірів, шорсткості поверхні, глибини залягання поверхневих напружень тощо) до і після виконання певної операції і визначення значущості коефіцієнту кореляції.

Програмний засіб призначений для вирішення задачі визначення коефіцієнту кореляції двох вибірок випадкових величин і його значущості.

Процедура оброблення експериментальних даних відбувається в середовищі програмного продукту DELPHI. На рис.Д.5.1 приведений інтерфейс вікна вводу експериментальних даних, на рис.Д.5.2 – інтерфейс вікна з результатами розрахунків та побудованим графіком, на рис.Д.5.3 – фрагмент інтерфейсу вікна "Help" з формулами для розрахунків.

За допомогою програми визначаються: вибірковий коефіцієнт кореляції  $\hat{r}_{xy}$ ; нормоване відхилення  $Z$ ; середньоквадратичне відхилення вибіркового коефіцієнту кореляції  $\hat{r}_{xy}$  від його теоретичного значення  $r_{xy} - S_r$ ; перетворене за  $Z$ -перетворенням Фішера значення  $\hat{Z}$ ; стандартне відхилення  $S_z$ ; коефіцієнт  $t$ . Наприкінці виконується оцінка значущості розрахованого коефіцієнту кореляції.

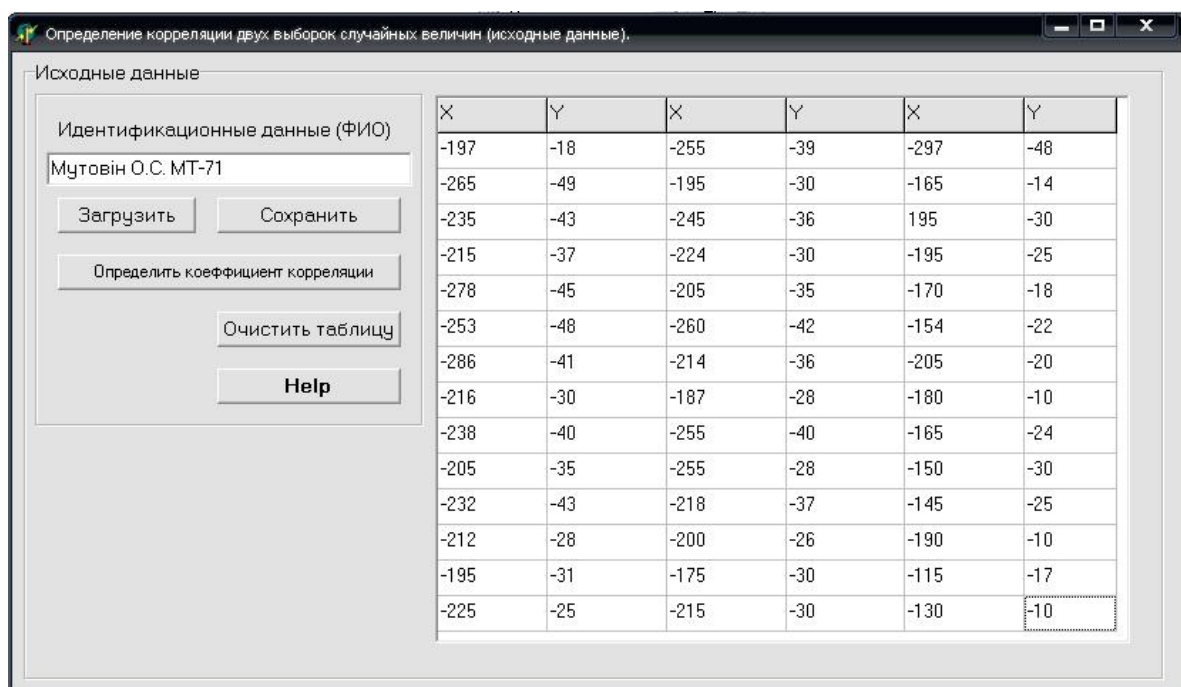


Рис.Д.5.1. Інтерфейс вікна вводу вихідних даних

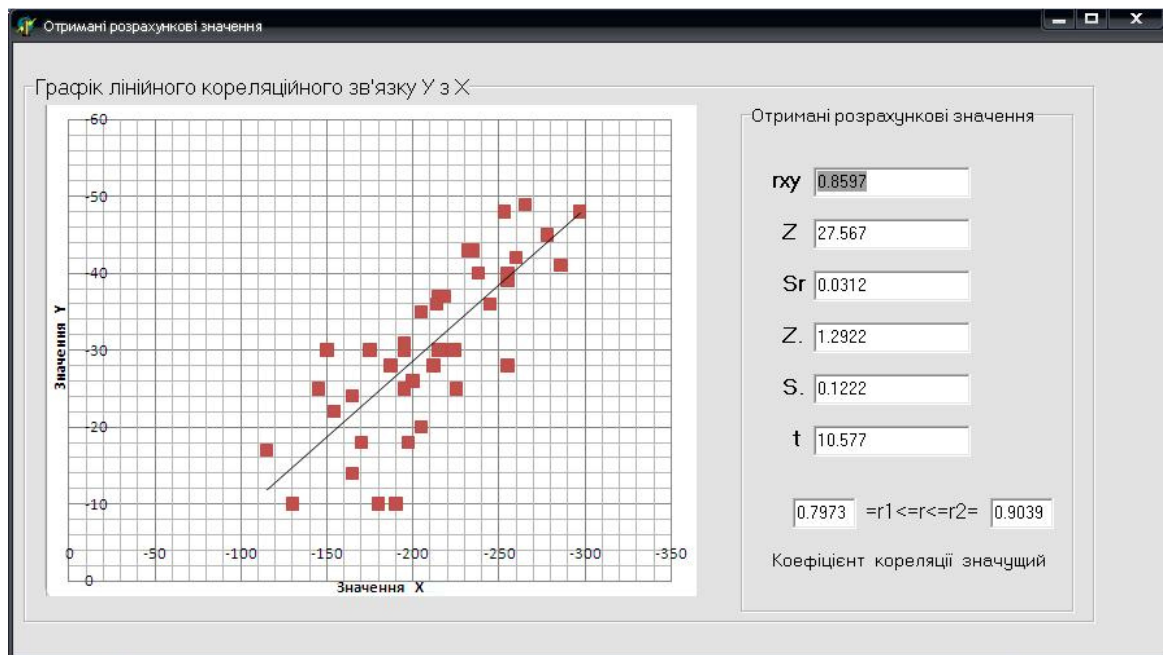


Рис.Д.5.2. Інтерфейс вікна з результатами розрахунків

Формули для расчетов

$$\hat{r}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad z = |\hat{r}_{xy}| / S_r = |\hat{r}_{xy}| \sqrt{N} / (1 - \hat{r}_{xy}^2) \quad S_r = (1 - \hat{r}_{xy}^2) / \sqrt{N}$$

$$\hat{z} = 0.5 \ln \left( \frac{1 + \hat{r}_{xy}}{1 - \hat{r}_{xy}} \right) \quad S_{\hat{z}} = (N - 3)^{-1/2} \quad t = z / S_{\hat{z}} \quad z - t_{kp} S_{\hat{z}} \leq \hat{z} \leq z + t_{kp} S_{\hat{z}}$$

Рис.Д.5.3. Фрагмент інтерфейсу вікна "Help" з формулами для розрахунків

## ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКТУ УНІФІКОВАНИХ ВЕРСТАТНИХ МОДУЛІВ UNIMAT 1 – CLASSIC

UNIMAT 1 – торгівельна марка модульних наборів (конструкторів), які виготовляються фірмою “The Cool Tool” (Австрія).

Деталі та модулі з набору UNIMAT 1 – CLASSIC дозволяють скласти декілька повнофункціональних моделей верстатів:

- токарний верстат для оброблення деталей з дерева;
- токарний верстат для оброблення деталей з пластмаси та металу;
- лобзик;
- шліфувальний верстат;
- вертикальний свердлильно-фрезерний верстат;
- горизонтально-фрезерний верстат.





## Технічні характеристики верстатів

### Токарный станок для обработки металла

- высота центров над станиной 25 мм;
- межцентровое расстояние 135 мм.

### Лобзик

- амплитуда хода пилы - 4 мм;
- размер стола - 90x90 мм.

### Шлифовальный станок

- диаметр шлифовального диска - 50 мм;
- скорость вращения - 2000 или 6000 об/мин.

### Вертикальный сверлильно-фрезерный станок

- перемещение шпинделя по вертикали - 30 мм;
- перемещение стола по оси X - 50 мм, по оси Y - 30 мм.

### Горизонтальный фрезерный станок

- перемещение по осям Y и Z - 30 мм;
- перемещение по оси X - 50 мм.
  
- напряжение 12 В.

## МЕТОДИКА ТА ПРИКЛАД ПОБУДОВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ І ТЕОРЕТИЧНИХ КРИВИХ НОРМАЛЬНОГО ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ГАУССА

### Позначення та терміни:

$M$  – математичне очікування випадкової величини;

$D$  – дисперсія випадкової величини;

$\sigma$  – середньоквадратичне відхилення випадкової величини;

$W$  – поле розсіювання випадкової величини;

$P$  – ймовірність події, що випадкова величина прийме відповідне значення;

$\bar{x}$  – експериментальне (емпіричне) середнє арифметичне значення випадкової величини (оцінка математичного очікування);

$S^2$  – експериментальна (емпірична) дисперсія випадкової величини (оцінка дисперсії);

$S$  – експериментальне (емпіричне) середньоквадратичне відхилення випадкової величини (оцінка середньоквадратичного відхилення);

$\omega$  – експериментальне (емпіричне) поле розсіювання;

$x_{min}$  – мінімальне значення випадкової величини;

$x_{max}$  – максимальне значення випадкової величини;

$R$  – експериментальний розмах випадкової величини;

$x'_{min}$  – скореговане мінімальне значення випадкової величини;

$x'_{max}$  – скореговане максимальне значення випадкової величини;

$R'$  – скорегований розмах випадкової величини;

$N$  – кількість значень випадкової величини;

$k$  – кількість інтервалів;

$h$  – величина інтервалу;

$m_u$  – експериментальна частота попадання випадкової величини в  $u$ -й інтервал;

$P_u$  – експериментальна ймовірність попадання випадкової величини в  $u$ -й інтервал;

$m'_u$  – скорегована частота попадання випадкової величини в  $u$ -й інтервал;

$P'_u$  – скорегована ймовірність попадання випадкової величини в  $u$ -й інтервал;

$z_u$  – нормована координата середини інтервалу;

$\varphi(z_u)$  – густина ймовірності нормального розподілу.



**Завдання:**

За експериментальними даними, приведеними у табл.Д.7.1, побудувати експериментальну (емпіричну) та скореговану (згладжену) криві розподілу випадкової величини. Передбачуваний закон розподілу випадкової величини – нормальний Гаусса. Кількість значень випадкової величини  $N = 20$ .

Таблиця Д.7.1.

Експериментальні дані

№ з/п	Значення випадкової величини $x_i$ , мм	№ з/п	Значення випадкової величини $x_i$ , мм
1	2,8	11	1,2
2	1,7	12	-11,2
3	10,8	13	-3,1
4	-2,3	14	-1,8
5	-1,3	15	3,2
6	2,2	16	-7,2
7	2,2	17	1,7
8	6,2	18	5,8
9	4,0	19	1
10	-4,8	20	3,1

**Рішення:**

1. Визначається мінімальне та максимальне значення випадкової величини

$$x_{min} = -11,2 \text{ мм}; \quad x_{max} = 10,8 \text{ мм.}$$

2. Визначається розмах випадкової величини

$$R = x_{max} - x_{min} = 10,8 - (-11,2) = 22 \text{ мм.}$$

3. Обчислюється мінімально можлива кількість інтервалів. При кількості значень випадкової величини  $N \leq 100$ :

$$k = 1 + 1,443 \cdot \ln N = 1 + 1,443 \cdot \ln 20 = 5,32.$$

Округлюється до найближчого більшого цілого:  $k = 6$ .

4. Визначається величина інтервалу

$$h = \frac{R}{k} = \frac{22}{6} = 3,67 \text{ мм.}$$

Округлюється до найближчого більшого цілого:  $h = 4 \text{ мм.}$

5. Визначається скорегований розмах випадкової величини

$$R' = h \cdot k = 4 \cdot 6 = 24 \text{ мм.}$$

6. Визначається скореговане значення величини  $x_{min}$ :

$$x'_{min} = x_{min} - \frac{R' - R}{2} = -11,2 - \frac{24 - 22}{2} = -12,2.$$

Значення  $x'_{min}$  можна округлити до найближчого знаку  $x'_{min} = 12$ , якщо виконується умова:

$$x'_{max} \geq x_{max}.$$

Визначається  $x'_{max} = x'_{min} + R' = -12 + 24 = 12$ .

Умова виконується:  $12 \geq 10,2$ .

Значення  $x'_{min}$  округлюється до найближчого знаку  $x'_{min} = 12$ .

7. Визначаються межі інтервалів:

$$\begin{aligned}x_{1min} &= x'_{min}; \\x_{1max} &= x_{2min} = x'_{min} + h; \\x_{2max} &= x_{3min} = x_{2min} + h; \\x_{3max} &= x_{4min} = x_{3min} + h; \\x_{u max} &= x_{u min} + h;\end{aligned}$$

8. Визначаються середини інтервалів

$$x_u = \frac{x_{u max} + x_{u min}}{2}.$$

9. Визначаються експериментальні частоти  $m_u$  (кількість попадань випадкової величини у відповідний інтервал) з таблиці Д.7.1. Значення  $x_i$  належить до певного інтервалу, якщо

$$x_{u min} \leq x_i < x_{u max}.$$

Для останнього інтервалу:

$$x_{k min} \leq x_i \leq x_{k max}.$$

10. Визначаються експериментальні ймовірності  $P_u$  попадання випадкової величини у відповідний інтервал

$$P_u = \frac{m_u}{N}.$$

11. Результати розрахунків за п.п.7-10 заносяться до табл.Д.7.2.

Таблиця Д.7.2.

Групування результатів вимірів

№ інтервалу	Межі інтервалу, мм		Середина інтервалу $x_u$ , мм	Експериментальна частота $m_u$	Експериментальна ймовірність $P_u$
	$x_u \min$	$x_u \max$			
1	-12	-9	-10	1	0,05
2	-8	-4	-6	2	0,10
3	-4	-0	-2	4	0,20
4	0	4	2	9	0,45
5	4	8	6	3	0,15
6	8	12	10	1	0,05
Сума				20	1,0

12. Визначається статистична характеристика розподілу  $x_u m_u$ . Результати розрахунків заносяться до табл.Д.7.3.

13. Визначається експериментальне середнє арифметичне значення

$$\bar{x} = \frac{\sum_{u=1}^k x_u m_u}{\sum_{u=1}^k m_u} = \frac{16}{20} = 0,8 \text{ мм.}$$

14. Визначається статистична характеристика розподілу  $(x_u - \bar{x})^2 m_u$ . Результати розрахунків заносяться до табл.Д.7.3.

Таблиця Д.7.3.

Розрахунок статистичних характеристик розподілу

№ інтервалу	$x_u m_u$	$(x_u - \bar{x})^2 m_u$
1	-10	116,64
2	-12	92,48
3	-8	31,36
4	18	12,96
5	18	81,12
6	10	84,64
Сума	16	419,20

15. Розраховується експериментальне значення середньоквадратичного відхилення  $S$  за формулами:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^k (x_u - \bar{x})^2 m_u}{N-1}} \quad \text{при } N < 25;$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^k (x_u - \bar{x})^2 m_u}{N}} \quad \text{при } N \geq 25.$$

Для даної задачі:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^k (x_u - \bar{x})^2 m_u}{N-1}} = \sqrt{\frac{419,2}{19}} = 4,697 \text{ мм.}$$

16. Розраховуються експериментальні значення дисперсії  $S^2$  та поля розсіювання  $\omega$ :

$$S^2 = 22,06 \text{ мм}^2;$$

$$\omega = 6S = 28,18 \text{ мм.}$$

17. Визначаються статистичні характеристики згладженої експериментальної кривої розподілу та заносяться до табл.Д.7.4:

- нормована координата середини інтервалу

$$z_u = \left| \frac{x_u - \bar{x}}{S} \right|;$$

- густина ймовірності нормального розподілу  $\varphi(z_u)$  (визначається з таблиці Додатку 9);

- скорегована ймовірність

$$P'_u = \frac{h}{S} \varphi(z_u);$$

- скорегована частота

$$m'_u = P'_u N.$$

Таблиця Д.7.4.

Статистичні характеристики для побудови згладженої експериментальної кривої розподілу

№ інтервалу	$z_u$	$\varphi(z_u)$	$P'_u$	$m'_u$
1	2,30	0,0283	0,0241	0,482
2	1,45	0,1394	0,1185	2,370
3	0,60	0,3332	0,2832	5,664
4	0,26	0,3857	0,3278	6,556
5	1,11	0,2155	0,1832	3,664
6	1,96	0,0584	0,0496	0,992
Сума			0,9864	19,728

18. За даними табл.Д.7.2 та табл.Д.7.4 будуються графіки експериментальної кривої (полігону розподілу) та згладженої експериментальної кривої розподілу. Якщо ці графіки побудовано в координатах  $(m_u - X_i)$ , вони називаються полігоном частот, або розподілом

частот (рис.Д.7.1). Якщо ж в координатах  $(P_u - x_i)$ , – полігоном ймовірностей, або розподілом ймовірностей (рис.Д.7.2).

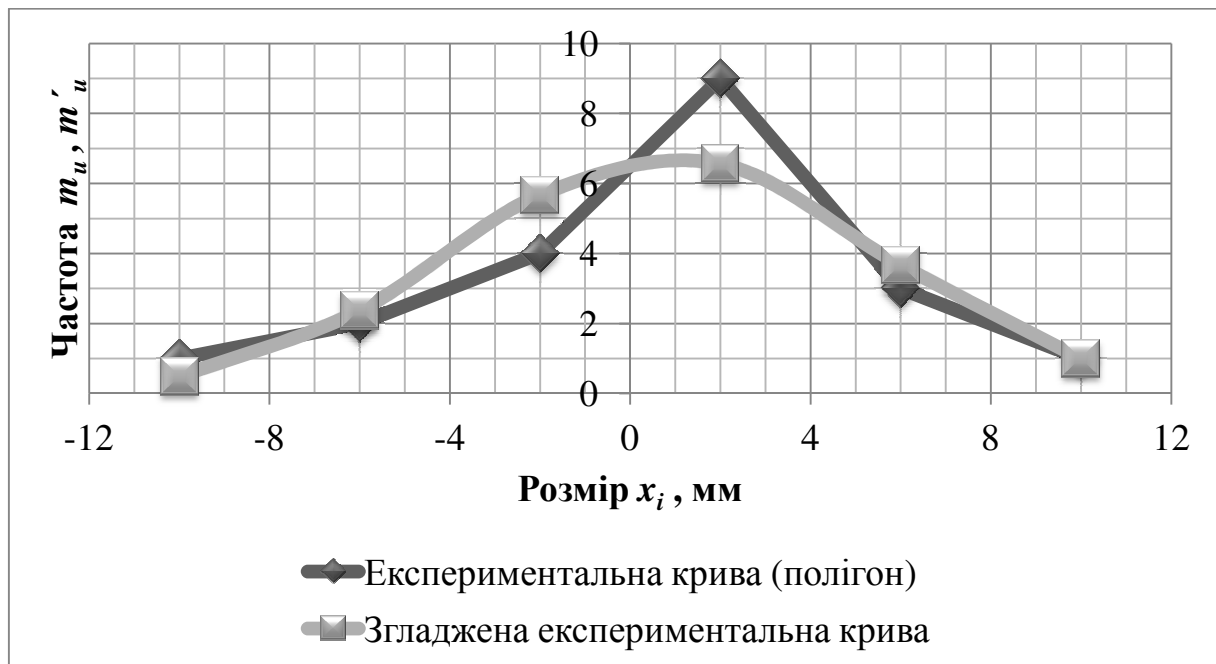


Рис.Д.7.1. Розподіл частот. Графіки експериментальної кривої та згладженої експериментальної кривої розподілу

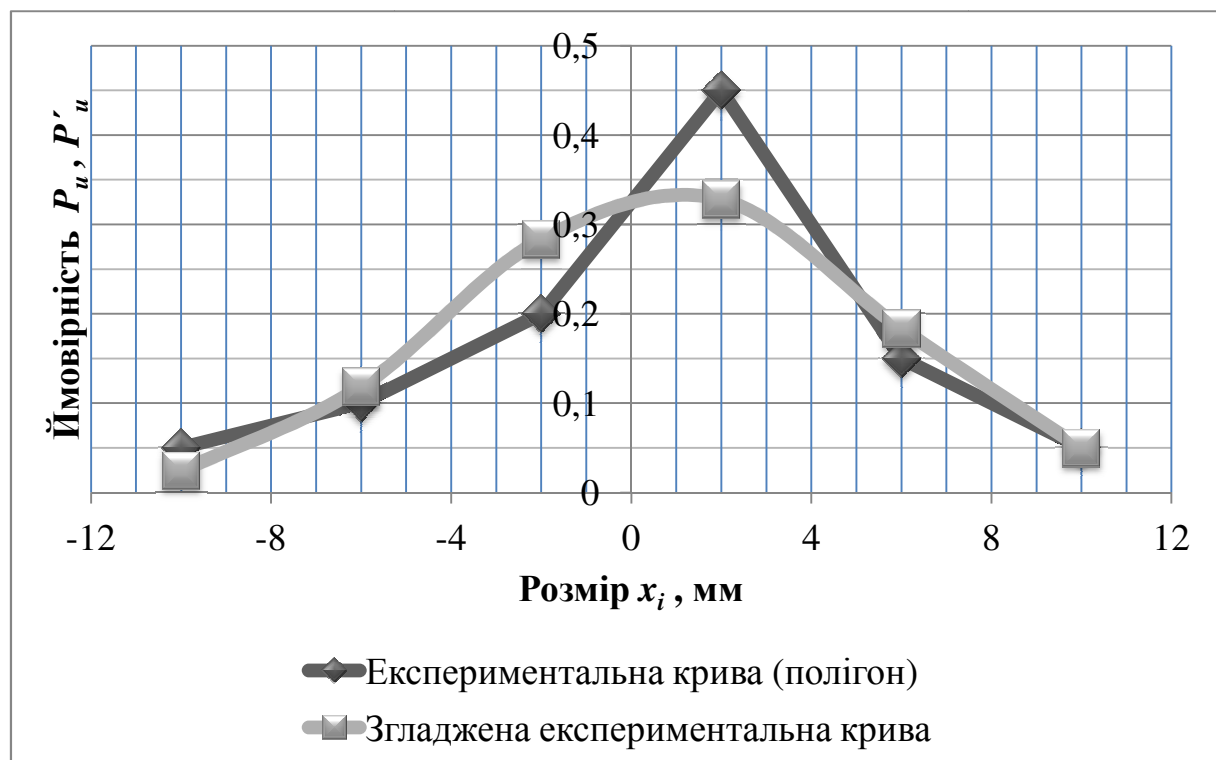


Рис.Д.7.2. Розподіл ймовірностей. Графіки експериментальної кривої та згладженої експериментальної кривої розподілу

19. Для порівняння будується теоретична крива нормального закону розподілу Гаусса з математичним очікуванням випадкової величини  $M = 0,8$  мм, дисперсією  $D = 22,06$  мм<sup>2</sup>, середньоквадратичним відхиленням  $\sigma = 4,697$  мм та полем розсіювання  $W = 28,18$  мм, тобто графік функції густини ймовірності

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}.$$

Графік представлено на (рис.Д.7.3).

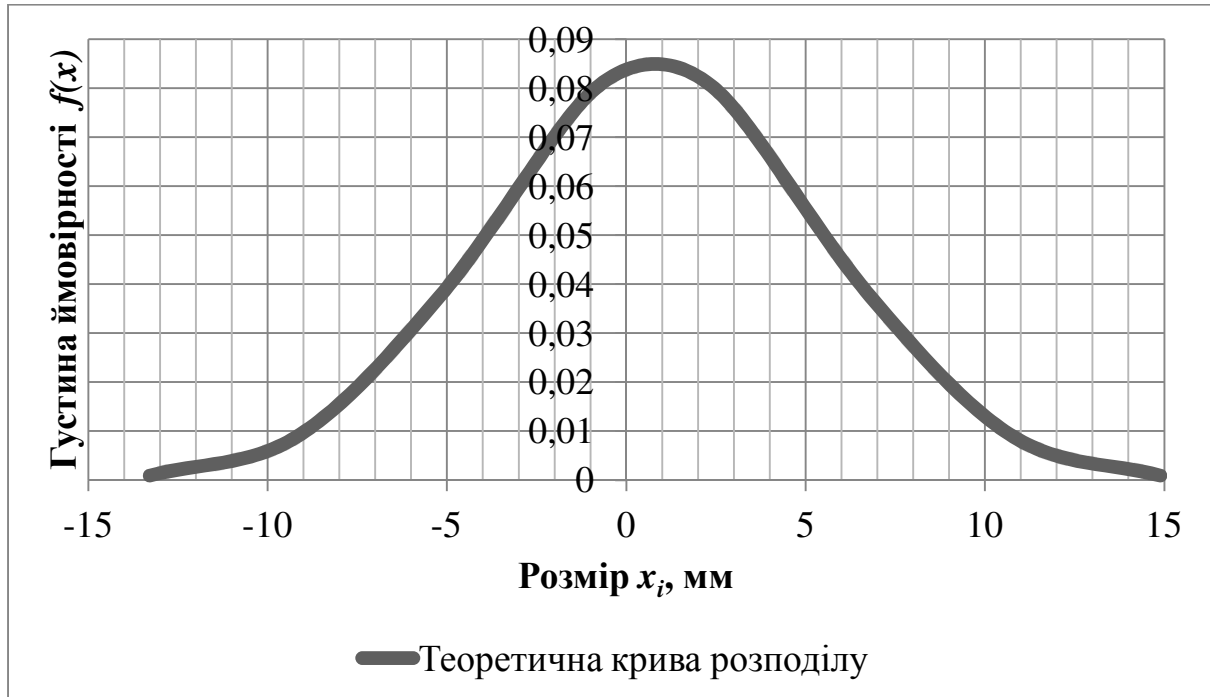


Рис.Д.7.3. Графік теоретичної кривої нормального розподілу Гаусса

**ДОДАТОК 8**

**ПЕРЕВІРКА ГІПОТЕЗИ ПРО УЗГОДЖЕНІСТЬ ЗАКОНІВ  
РОЗПОДІЛУ ЗА  $\chi^2$ - КРИТЕРІЄМ ПІРСОНА**

При статистичному обробленні результатів експериментів виникає необхідність перевірки узгодженості двох розподілів випадкових величин – експериментального та теоретичного або двох експериментальних (дійсного та скорегованого). Для цього застосовуються декілька критеріїв згоди, один з яких –  $\chi^2$ - критерій Пірсона. За допомогою цього критерію визначається ступінь розходження між частотами порівнюваних розподілів.

**МЕТОДИКА ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ**

При побудові експериментальної кривої розподілу визначають дійсні частоти попадання випадкової величини в певний інтервал  $m_u$ , а при побудові згладженої експериментальної кривої – скореговані  $m'_u$  (див. Додаток 7). Якщо дійсні частоти значно відрізняються від скорегованих, то гіпотезу про відповідність двох експериментальних (дійсного та скорегованого) законів розподілу одне одному слід відкинути, в протилежному випадку – прийняти.

Ступінь розходження між дійсними та скорегованими частотами визначає  $\chi^2$ - критерій Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{u=1}^k \frac{(m_u - m'_u)^2}{m'_u},$$

де  $k$  – кількість інтервалів.

Критерій має  $f$  ступенів вільності:

$$f = k - r - 1,$$

де  $r$  – число параметрів розподілу.

Правило застосування  $\chi^2$ - критерію наступне. Розрахувавши значення  $\chi^2$  та вибравши рівень значущості  $\alpha$ , за таблицею  $\chi^2$ - розподілу (див. нижче) визначають  $\chi^2_\alpha$ .

Якщо  $\chi^2 > \chi^2_\alpha$ , то гіпотезу про відповідність порівнюваних розподілів одне одному відкидають, якщо  $\chi^2 \leq \chi^2_\alpha$ , то гіпотезу приймають.

## ПРИКЛАД ПЕРЕВІРКИ ГІПОТЕЗИ

Перевіряється гіпотеза про узгодженість розподілів за  $\chi^2$ -критерієм Пірсона для дійсного та скорегованого експериментальних законів розподілу, отриманих в Додатку 7. Вихідні дані заносяться до табл.Д.8.1.

Таблиця Д.8.1.  
Вихідні дані

№ інтервалу	Межі інтервалу, мм		Експериментальна частота $m_u$	Дійсна частота $m'_u$
	$x_{u \min}$	$x_{u \max}$		
1	-12	-9	1	0,248
2	-8	-4	2	1,986
3	-4	-0	4	6,148
4	0	4	9	7,428
5	4	8	3	3,502
6	8	12	1	0,644
Сума			20	19,956

Розраховується  $\chi^2$ -критерій Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{u=1}^k \frac{(m_u - m'_u)^2}{m'_u} = \frac{8,031}{19,956} = 0,40$$

при кількості інтервалів  $k=6$ .

Нормальний закон розподілу двопараметричний\*, він характеризується математичним очікуванням  $M$  (або експериментальним середнім арифметичним значенням випадкової величини  $\bar{x}$ ) та дисперсією  $D$  (або експериментальною дисперсією  $S^2$ ). В такому випадку  $r = 2$ , а число ступенів вільності складає:

$$f = 6 - 2 - 1 = 3.$$

За таблицею  $\chi^2$ -розподілу (при числі ступенів вільності  $f=3$  та рівні значущості  $\alpha=0,05$ ) визначаємо  $\chi^2_\alpha = 7,81$ .

Порівнявши  $\chi^2 = 0,40$  та  $\chi^2_\alpha = 7,81$ , можна зробити висновок, що гіпотеза про узгодженість дійсного та скорегованого експериментальних законів розподілу приймається.

\*Примітка: при перевірці гіпотези для закону ексцентриситету Релея необхідно враховувати, що він є однопараметричним (характеризується дисперсією  $D$ ), тобто для закону Релея  $r = 1$ .



$\chi^2$  - РОЗПОДІЛ

Число ступенів вільності $f$	Рівень значущості $\alpha$						
	0,975	0,95	0,90	0,10	0,05	0,025	0,01
3	0,216	0,352	0,584	6,25	7,81	9,35	11,34
4	0,484	0,711	1,06	7,78	9,49	11,14	13,28
5	0,831	1,15	1,61	9,24	11,07	12,83	15,09
6	1,24	1,64	2,20	10,64	12,59	14,45	16,81
7	1,69	2,17	2,83	12,02	14,07	16,01	18,48
8	2,18	2,73	3,49	13,36	15,51	17,53	20,09
9	2,70	3,33	4,17	14,68	16,92	19,02	21,67
10	3,25	3,94	4,87	15,99	18,31	20,48	23,21
11	3,82	4,57	5,58	17,28	19,68	21,92	24,73
12	4,40	5,23	6,30	18,55	21,03	23,34	26,22
13	5,01	5,89	7,04	19,81	22,36	24,74	27,69
14	5,63	6,57	7,79	21,06	23,68	26,12	29,14
15	6,26	7,26	8,55	22,31	25,00	27,49	30,58
20	9,59	10,85	12,44	28,41	31,41	34,17	37,57
26	13,84	15,38	17,29	35,56	38,88	41,92	45,64
30	16,79	18,49	20,60	40,26	43,77	46,98	50,89
40	24,43	26,51	29,05	51,81	55,76	59,34	63,69
60	40,48	43,19	46,46	74,40	79,08	83,20	88,38
120	91,57	95,70	100,6	140,2	146,6	152,2	158,9

## ДОДАТОК 9

ГУСТИНА ЙМОВІРНОСТІ НОРМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ  $\varphi(z)$ 

$z$	Другий знак після коми для $z$									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	0,3989	0,3989	0,3988	0,3986	0,3984	0,3982	0,03980	0,3977	0,3973
0,1	0,3970	0,3965	0,3961	0,3956	0,3951	0,3945	0,3939	0,3932	0,3925	0,3918
0,2	0,3910	0,3902	0,3894	0,3885	0,3876	0,3867	0,3857	0,3847	0,3836	0,3825
0,3	0,3814	0,3802	0,3790	0,3778	0,3765	0,3752	0,3739	0,3726	0,3712	0,3697
0,4	0,3683	0,3668	0,3653	0,3637	0,3621	0,3605	0,3589	0,3572	0,3555	0,3558
0,5	0,3521	0,3503	0,3485	0,3467	0,3448	0,3429	0,3410	0,3391	0,3372	0,3352
0,6	0,3332	0,3312	0,3292	0,3271	0,3251	0,3230	0,3209	0,3187	0,3166	0,3114
0,7	0,3123	0,3101	0,3079	0,3056	0,3034	0,3011	0,2989	0,2966	0,2943	0,2920
0,8	0,2897	0,2874	0,2851	0,2827	0,2803	0,2780	0,2756	0,2732	0,2709	0,2685
0,9	0,2661	0,2637	0,2613	0,2589	0,2565	0,2541	0,2516	0,2492	0,2468	0,2444
1,0	0,2420	0,2396	0,2371	0,2347	0,2323	0,2299	0,2275	0,2251	0,2227	0,2203
1,1	0,2179	0,2155	0,2131	0,2107	0,2083	0,2059	0,2036	0,2012	0,1989	0,1965
1,2	0,1942	0,1919	0,1895	0,1872	0,1849	0,1826	0,1804	0,1781	0,1758	0,1736
1,3	0,1714	0,1691	0,1669	0,1647	0,1626	0,1604	0,1582	0,1561	0,1539	0,1518
1,4	0,1497	0,1476	0,1456	0,1435	0,1415	0,1394	0,1374	0,1354	0,1334	0,1315
1,5	0,1295	0,1276	0,1257	0,1238	0,1219	0,1200	0,1182	0,1163	0,1145	0,1127
1,6	0,1109	0,1092	0,1074	0,1057	0,1040	0,1023	0,1006	0,0989	0,0973	0,0957
1,7	0,0940	0,0925	0,0909	0,0883	0,0878	0,0863	0,0848	0,0833	0,0818	0,0804
1,8	0,0790	0,0775	0,0761	0,0748	0,0734	0,0721	0,0707	0,0694	0,0681	0,0669
1,9	0,0656	0,0644	0,0632	0,0620	0,0608	0,0596	0,0584	0,0573	0,0562	0,0551
2,0	0,0540	0,0529	0,0519	0,0508	0,0498	0,0488	0,0478	0,0468	0,0459	0,0449
2,1	0,0440	0,0431	0,0422	0,0413	0,0404	0,0396	0,0387	0,0379	0,0371	0,0363
2,2	0,0355	0,0347	0,0339	0,0332	0,0327	0,0317	0,0310	0,0303	0,0297	0,0290
2,3	0,0283	0,0277	0,0270	0,0264	0,0258	0,0252	0,0246	0,0241	0,0235	0,0229
2,4	0,0224	0,0219	0,0213	0,0208	0,0203	0,0198	0,0194	0,0189	0,0184	0,0180
2,5	0,0175	0,0171	0,0167	0,0163	0,0158	0,0154	0,0151	0,0147	0,0143	0,0139
2,6	0,0136	0,0132	0,0128	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110	0,0107
2,7	0,0104	0,0101	0,0099	0,0096	0,0093	0,0091	0,0088	0,0086	0,0084	0,0081
2,8	0,0079	0,0077	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0067	0,0065	0,0063	0,0061
2,9	0,0060	0,0058	0,0056	0,0055	0,0053	0,0051	0,0050	0,0048	0,0047	0,0046
3,0	0,0044	0,0043	0,0042	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036	0,0035	0,0034
3,1	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026	0,0025	0,0025
3,2	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0020	0,0020	0,0019	0,0018	0,0018
3,3	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014	0,0013	0,0013
3,4	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0009	0,0009
3,5	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006
3,6	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004
3,7	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
3,8	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
3,9	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0001	0,0001