

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

# **Метрологія**

**Методичні вказівки**  
до виконання практичних робіт  
для студентів приладобудівного факультету  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

*Рекомендовано Вченою радою  
Приладобудівного факультету КПІ імені Ігоря Сікорського*

Київ  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського*  
2017

**Метрологія** [Текст]: методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів приладобудівного факультету спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Уклад.: М.В. Філіппова, О.В. Волошко, С.С. Заєць – К.: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. – 85 с.

*Рекомендовано Вченою радою ПБФ КПІ імені Ігоря Сікорського  
(Протокол № 6/17 від 26 червня 2017 р.)*

Методичні вказівки призначено для студентів приладобудівного факультету спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології У методичних вказівках наведено мету і завдання практичних робіт, їх зміст та обсяг. Розглянуто організаційні питання роботи над практичними дослідженнями, послідовність та методику виконання, наведено вимоги щодо оформлення та процесу захисту готових робіт.

Навчально–методичне видання

**МЕТРОЛОГІЯ**  
Методичні вказівки  
до виконання практичних робіт  
для студентів приладобудівного факультету  
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Укладачі: *Філіппова Марина В'ячеславівна*, канд. техн. наук,  
доц.

*Волошко Оксана Вячеславівна*, асистент.

*Заєць Сергій Сергійович*, асистент.

Відповідальний  
редактор

*Тимчик Г.С.* д.т.н. професор

Рецензенти:

*Нечай С.О.* канд. техн. наук, доц.

*За редакцією укладачів*

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
Практична робота № 1	
Основні поняття метрології. Фізичні величини, одиниці вимірювання.....	5
Практична робота № 2	
Вибір параметрів та нормальних розмірів за рядами переважних чисел та нормальних лінійних розмірів.....	11
Практична робота № 3	
Визначення метрологічних характеристик засобів вимірювання.....	28
Практична робота № 4	
Обробка результатів багаторазових вимірювань.....	33
Практична робота №5.....	
Параметри шорсткості.....	
Практична робота № 6	
Основні поняття взаємозамінності. Граничні розміри, відхилення, допуски та поля допусків.....	42
Практична робота № 7	
Посадки, їх групи та системи.....	51
Практична робота № 8	
Розмірний аналіз.....	58
Практична робота № 9	
Вибір й обґрунтування норм точності.....	65
Література.....	77

## **ВСТУП**

Практичні заняття з дисципліни «Метрологія» для студентів спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології сприятимуть закріпленню, поглибленню та узагальненню отриманих знань та умінь, а також сприятимуть розвитку навичок самостійної творчої роботи студентів у процесі їх навчання, при дипломному проектуванні, а також у професійній діяльності.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

### Основні поняття метрології. Фізичні величини, одиниці вимірювання

**Мета роботи:** навчитися користуватися міжнародною системою фізичних одиниць і набути практичних навичок застосування теорії розмірностей; вивчити одиниці системи СІ, навчитися виявляти залежності між похідними і основними одиницями СІ.

### Теоретичні відомості

Галузь науки, яка вивчає вимірювання, називають метрологією. Слово «метрологія» утворене із двох грецьких слів: «metron» – міра і «logos» – наука. Дослівний переклад – наука про міри.

*Метрологія* в її сучасному розумінні – це наука про вимірювання, методи та засоби забезпечення єдності вимірювань і способи досягнення необхідної їх точності. *Єдність вимірювань* – стан вимірювань, коли результати виражені в прийнятих одиницях, а похибки вимірювань прийняті із заданою ймовірністю. Єдність вимірювань необхідна для порівняння результатів вимірювань, що проведені в різних місцях, в різний час, з використанням різних методів і засобів вимірювання. Результати при цьому повинні бути однаковими, незалежно від використання методів і засобів вимірювання.

*Точність вимірювань* – максимальна наближеність їх результатів до істинного значення вимірюваної величини.

*Правильність вимірювання* – характеристика якості вимірювання, що відображає близькість до нуля систематичної похибки вимірювання.

*Об'єкт вимірювання* – матеріальний об'єкт, одна або декілька властивостей якого підлягають вимірюванню. Об'єктами вимірювання можуть бути фізичні величини або ж параметри технологічних процесів, апаратів; наприклад, температура, тиск, рівень, витрата, густина, концентрація, якість продукції тощо.

*Вимірювані величини* – фізичні величини чи параметри, які відображають властивості об'єкта як в кількісному, так і якісному відношеннях. Термін «параметр» походить від грецького слова, що в перекладі значить «вимірюю, співвідношу» і як фізична величина відображає властивості об'єкта. Параметри можуть бути як поодинокими, так і комплексними показниками властивостей об'єкта.

*Засіб вимірювальної техніки* – технічний засіб, який застосовують під час вимірювання і має нормовані метрологічні характеристики. З огляду на те, що в житті доводиться вимірювати надзвичайно велику кількість фізичних величин і користуватися при цьому різними приладами, вони мають відповідати своєму класу точності, мати нормовані метрологічні характеристики, своєчасно пройти повірки і бути одноманітними.

*Одноманітність засобів вимірювальної техніки* – такий стан засобів, за якого вони проградуйовані в узаконених одиницях і їх метрологічні характеристики відповідають нормам.

### *Фізичні величини та їх одиниці*

Поняття фізичної величини – це найзагальніше поняття у фізиці та метрології. Під *фізичною величиною* слід розуміти властивість, спільну в

якісному відношенні для багатьох матеріальних об'єктів та індивідуальну в кількісному відношенні для кожного з них.

Для встановлення різниці за кількісним вмістом властивостей у кожному об'єкті вводять поняття «розмір фізичної величини».

Між розмірами кожної фізичної величини існує відношення, яке має ту саму логічну структуру, що й між числовими формами (цілими, раціональними чи дійсними числами, векторами). Тому множина числових форм з визначеними співвідношеннями між ними може бути моделлю фізичної величини, тобто множини її розмірів та співвідношення між ними.

У 1997 році Держстандарт України ухвалив постанову щодо введення в державі Міжнародної системи одиниць – ДСТУ 3651.097 «Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні назви, положення та позначення».

Визначення основних одиниць відповідно до рішення Генеральної конференції з мір і ваги:

*метр* – довжина шляху, яку проходить світло у вакуумі за  $1/299792458$  частину секунди;

*кілограм* – одиниця маси, що дорівнює масі Міжнародного прототипу кілограма;

*секунда* –  $9\,192\,631\,770$  періодів випромінювання переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133;

*ампер* – сила незмінного струму, який, проходячи через два паралельних прямолінійних провідники нескінченної довжини і занадто малого круглого перерізу, що розміщені на відстані метра один від одного у вакуумі, утворив би між провідниками силу в  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на кожний метр довжини;

*кельвін* – одиниця термодинамічної температури –  $1/273,16$  частини термодинамічної температури потрійної точки води;

*кандела* – сила світла, що випромінюється з площі у  $1/600000$  м<sup>2</sup> перерізу повного випромінювача у перпендикулярному до цього перерізу напрямку при температурі затвердіння платини та тиску  $101325$  Па;

*моль* – кількість речовини, яка вміщує стільки ж молекул (атомів, частинок), скільки вміщується атомів у нукліді вуглецю-12 масою в  $0,012$  кг.

Крім основних одиниць СІ є велика група похідних одиниць, які визначають за законами взаємозв'язків між фізичними величинами або ж на основі визначення фізичних величин. Відповідні похідні одиниці СІ виводяться із рівнянь зв'язку між величинами. Залежно від наукового напрямку утворені похідні одиниці для простору, часу, механічних, теплових, електричних, магнітних, акустичних, світлових та величин іонізуючого випромінювання.

Найпрогресивнішим способом утворення кратних та частинних одиниць є прийнята у метричній системі мір десяткова кратність між великими і малими одиницями. Десяткові кратні та частинні одиниці від одиниць СІ утворюються шляхом використання множників та приставок від  $10^{18}$  до  $10^{-24}$ .

*Розмірність фізичної величини* – вираз, який відображає її зв'язок з основними величинами системи величин. Розмірність величин позначають знаком  $\dim$  (*dimension* – розмірність). В міжнародній системі одиниць СІ розмінностям основних одиниць присвоєні наступні позначення:  $\dim(m) = M$  – розмірність маси;  $\dim(l) = L$  – розмірність довжини;  $\dim(t) = T$  – розмірність часу;  $\dim(T) = \Theta$  – розмірність температури;



$\dim(i) = I$  – розмірність сили струму;  $\dim(j) = J$  – розмірність сили світла;  
 $\dim(n) = N$  – розмірність кількості речовини.

*Розмірність похідної одиниці* – добуток розмірностей відповідних основних одиниць, взятих в степенях згідно з фізичними рівняннями взаємозв'язку між даними величинами:

$$\dim(x) = k \times L^\alpha \times M^\beta \times T^\gamma \times \Theta^\eta I^\xi \times J^\tau \times N^\mu, \quad (1.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності.

Розмірність фізичної величини є більш загальною характеристикою, ніж визначальне величину рівняння, оскільки одна і та ж розмірність може бути властива величинам, що мають різну якісну сторону.

Розмірність дозволяє визначити, як зміниться розмір похідної величини при зміні розмірів основних величин. Якщо розмірність величини  $X$  дорівнює  $L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma$  та довжина від  $L$  до  $L'$ , маса від  $M$  до  $M'$  та час від  $T$  до  $T'$ , то новий розмір величини буде більше попереднього у  $(L'/L)^\alpha (M'/M)^\beta (T'/T)^\gamma$  разів, тобто  $X'/X = (L'/L)^\alpha (M'/M)^\beta (T'/T)^\gamma$ .

*Приклад.* Визначити зміни моменту інерції системи при збільшенні лінійних розмірів в 3 рази та маси в 2 рази.

Розмірність моменту інерції  $\dim(J) = L^2 M$ . Використовуючи вище наведену формулу знайдемо

$$J'/J = (L'/L)^2 (M'/M) = 3^2 \cdot 2 = 18,$$

тобто, момент інерції збільшиться у 18 разів.

*Ступінь розмірності фізичної величини* – показник, в який зведена розмірність основної фізичної величини, що входить в розмірність похідної фізичної величини.

Розмірності широко використовують при утворенні похідних одиниць і перевірки однорідності рівнянь. Якщо всі показники ступеня розмірності рівні нулю, то така фізична величина називається безрозмірною. Всі відносні величини (відношення однойменних величин) є безрозмірними.

Використовуючи розмірності фізичних величин можна визначити зміни похідної величини при зміні основних одиниць, а також встановити співвідношення одиниць в різних системах.

*Приклад 1.* Визначити одиницю роботи – ерг СГС у джоулях СІ.

Можна записати:

$$1 \text{ ерг} = 1 \text{ г} \cdot \text{см}^2 / \text{с}^2 = 10^{-3} \text{ кг} \cdot (10^{-2} \text{ м})^2 / \text{с}^2 = 10^{-3} \text{ кг} \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 / \text{с}^2 = 10^7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2$$

Розмірність роботи  $\dim A = L^2 \cdot M \cdot T^{-2}$ . Згідно приведеної формули для  $X' / X$  отримуємо:

$$X' / X = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ ерг} (1 \text{ м} / 1 \text{ см}) (1 \text{ кг} / 1 \text{ г}) (1 \text{ с} / 1 \text{ с})^2 = (100)^2 (100) (1)^2 = 10^7$$

Тобто  $1 \text{ ерг} = 10^7 \text{ Дж}$ .

*Приклад 2.* Похідна одиниця Герц (Гц) – частота періодичного процесу, при якій за час в 1 с відбувається один цикл процесу. Частота періодичного процесу визначається за формулою:

$$\nu = \frac{1}{T}, \quad (1.2)$$

де  $T$  – період періодичного процесу, с.

Замінивши позначення величин в формулі (1.2) позначенням одиниць СІ отримаємо:

$$\Gamma_{\text{ц}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}. \quad (1.3.)$$

Рівняння (1.3) показує зв'язок похідною одиниці Гц з основними одиницями СІ.

*Приклад 3.* Похідна одиниця Ньютон ( $H$ ) – сила, що змінює за 1с

швидкість тіла масою  $1_{\text{кг}}$  на  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  напрямку дії сили. Числове значення сили можна визначити за допомогою другого закону Ньютона

$$F = m \cdot a, \quad (1.4)$$

де  $m$  – маса крейди, кг;  $a$  – прискорення тіла, викликане прикладеною силою,  $\text{м/с}^2$ . Замінімо позначення величин у формулі (1.4) позначеннями одиниць СІ

$$H = m \frac{\text{кг}}{\text{с}^2} = \frac{\text{м} \cdot \text{кг}}{\text{с}^2}. \quad (1.5)$$

Рівняння (1.5) показує зв'язок похідною одиниці  $H$  з основними одиницями СІ.

*Кратна одиниця* – одиниця фізичної величини, в ціле число разів більша системної або позасистемної одиниці. Множники і приставки, використовуються для утворення кратних одиниць, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Множники і приставки, що використовуються для утворення кратних одиниць

Десятичний множник	Приставка	Позначення приставки	
		міжнародне	українське
$10^{24}$	іютта	Y	І
$10^{21}$	зетта	Z	З
$10^{18}$	екса	E	Е
$10^{15}$	пета	P	П
$10^{12}$	тера	T	Т
$10^9$	гіга	G	Г
$10^6$	мега	M	М
$10^3$	кіло	k	к
$10^2$	гекто	h	г
$10^1$	дека	da	да

*Часткова одиниця* – одиниця фізичної величини, в ціле число разів менше системної або позасистемної одиниці. Множники і приставки,

використовуються для утворення часткових одиниць, наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Множники і приставки, що використовуються для утворення часткових одиниць

Десятичний множник	Приставка	Позначення приставки	
		міжнародне	українське
$10^{-1}$	деці	d	д
$10^{-2}$	санті	c	с
$10^{-3}$	міллі	m	м
$10^{-6}$	мікро	$\mu$	мк
$10^{-9}$	нано	n	н
$10^{-12}$	піко	p	п
$10^{-15}$	фемто	f	ф
$10^{-18}$	атто	a	а
$10^{-21}$	зепто	z	з
$10^{-24}$	іокто	y	і

### Завдання до виконання

Для кожної одиниці вимірювань свого варіанту вкажіть фізичну величину, фізичний зміст одиниці виміру, найпростіше рівняння для визначення фізичної величини, виведіть взаємозв'язок похідною одиниці з основними одиницями СІ. Роботу виконати відповідно до прикладів 1 і 2.

Таблиця 1.3

#### Варіанти індивідуальних завдань

Варіанти		Одиниці вимірювання		
1	2	3	4	5
1	16	радіан	герц	грей
2	17	паскаль	катал	люкс
3	18	кулон	вольт	фарад
4	19	ом	стерадіан	бекерель
5	20	сіменс	вебер	тесла
6	21	градус Цельсія	люмен	ват
7	22	ньютон	зіверт	джоуль
8	23	вольт	вебер	тесла
9	24	грей	люкс	фарад
10	25	бекерель	ват	джоуль
11	26	вольт	радіан	паскаль
12	27	катал	кулон	тесла
13	28	стерадіан	градус Цельсія	ньютон
14	29	люмен	ват	зіверт
15	30	грей	кулон	тесла

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### **Вибір параметрів та нормальних розмірів за рядами переважних чисел та нормальних лінійних розмірів**

**Мета роботи:** отримання навичок вибору параметрів та нормальних розмірів за рядами переважних чисел та нормальних лінійних розмірів.

### **Теоретичні відомості**

Одним з завдань стандартизації є обмеження застосування числових характеристик об'єктів стандартизації. При цьому числа, які характеризують параметри стандартизованих виробів, повинні бути не випадковими, не хаотично прийнятими, а представляти собою впорядковані ряди чисел, створені за законами математики. Це дозволяє узгодити між собою як геометричні параметри (розміри), так і функціональні параметри. З цією метою створені ряди переважних чисел, з яких обирають необхідні числові значення параметрів продукції. Переважними їх називають тому, що вони використовуються для переважного застосування в конструюванні та розрахунках, в стандартизації та уніфікації. Система переважних чисел є теоретичною базою і основою розвитку параметричної стандартизації.

Ряди переважних чисел визначені ГОСТ 8032-84.

## Принципи побудови рядів переважних чисел

Найбільш доцільними є ряди переважних чисел, побудовані за арифметичними або геометричними прогресіями.

Ряди переважних чисел, побудовані за *арифметичними прогресіями*, являють собою таку послідовність чисел, в якій різниця  $d$  між будь-якими сусідніми членами  $a_i$  та  $a_{i-1}$  чи  $a_{i+1}$  та  $a_i$  є сталою, тобто:

$$d = a_i - a_{i-1} = a_{i+1} - a_i = \text{const} . \quad (2.1)$$

Цю сталу величину називають різницею арифметичної прогресії.

*Наприклад:* за чинними стандартами внутрішні діаметри підшипників кочення середньої серії в інтервалі розмірів від 20 до 110 мм мають такі значення: 20, 25, 30, 35, ..., 100, 105 і 110 мм, тобто утворюють арифметичну прогресію з різницею  $d = 5$ .

Суттєвим недоліком рядів переважних чисел, побудованих за арифметичними прогресіями є нерівномірне розподілення членів ряду в заданих межах, тобто розрідження значень в зоні малих величин і щільність їх в зоні великих величин (збільшення кількості великих розмірів продукції порівняно з кількістю малих розмірів). Арифметичні ряди переважних чисел застосовували переважно на початковій стадії стандартизації.

Частіше застосовують ступінчасто-арифметичні ряди, в яких різниця значень між сусідніми членами є величиною сталою не для всього ряду, а тільки для певної його частини, при цьому для малих розмірів різниця вибирається меншою, а для великих – більшою. *Прикладом* такого вирішення є ступінчасто-арифметичні ряди стандартної різьби. Діаметри різьби згідно ГОСТ 8724-81 мають такі значення: 1-1,1-1,2, -...- 1,4 - 1,6-...

-2,5-3,0-3,5-4,0-... -145 - 150 - 155 - 160... мм, у яких різниця зростає із збільшенням розміру і дорівнює 0,1; 0,2; 0,5; і 5,0 відповідно.

В даний час у стандартизації в основному використовують ряди переважних чисел, побудовані за *геометричною прогресією*, яка є послідовним рядом чисел, в яких відношення двох сусідніх членів завжди стало для конкретного ряду і дорівнює множнику прогресії.

Важливими властивостями геометричної прогресії, які мають практичне значення, є:

1. Відношення двох сусідніх членів завжди стало і дорівнює знаменнику прогресії;

2. Добуток чи частка від ділення будь-яких двох членів такої прогресії завжди є членом цієї прогресії;

3. Цілий додатній чи від'ємний ступінь будь-якого числа такої прогресії завжди є членом цієї прогресії.

Недоліками геометричної прогресії є:

1. Сума і різниця членів прогресії загалом не є членами прогресії;

2. Члени геометричної прогресії загалом не є цілими числами, тому для практичного використання потребують заокруглення.

Вперше властивості геометричної прогресії були використані в 1877-1879 роках офіцером французького інженерного корпусу Ш.Ренаром, який розробив числовий ряд для характеристики маси канатів, які б могли виготовлятися завчасно, незалежно від сфери їх застосування.

За основу побудови рядів переважних чисел відповідно до ГОСТ 8032-84 прийняті геометричні прогресії з множниками, поданими в таблиці 2.1.

Члени прогресії розташовані в інтервалі від 1,0 до 10,0 утворюють *вихідний ряд*. Показник ряду (число в умовному позначеній ряду) є ступінь кореня із 10 і в той же час вказує на кількість членів у межах вихідного



ряду. З наведених у таблиці 2.1 – ряди  $R5...R40$  є основними, а ряди  $R80$  та  $R160$  – додатковими.

Таблиця 2.1

Ряди переважних чисел (відповідно до ГОСТ 8032-84)

Умовне позначення ряду	Формула і округлене значення знаменника	Кількість членів у межах початкового ряду
R5	$\sqrt[5]{10}=1,6$	5
R10	$\sqrt[10]{10}=1,25$	10
R20	$\sqrt[20]{10}=1,12$	20
R40	$\sqrt[40]{10}=1,06$	40
R80	$\sqrt[80]{10}=1,03$	80
R160	$\sqrt[160]{10}=1,015$	160

Основні ряди переважних чисел в межах вихідного ряду наведені в таблиці 2.2 відповідно до ГОСТ 8032-84.

Таблиця 2.2

Основні ряди переважних чисел в межах вихідного ряду

Номери чисел	Переважні числа	Належність числа до ряду			
		R40	R20	R10	R5
1	2	3	4	5	6
0	1,00	+	+	+	+
1	1,06	+			
2	1,12	+	+		
3	1,18	+			
4	1,25	+	+	+	
5	1,32	+			
6	1,40	+	+		
7	1,50	+			
8	1,6	+	+	+	+
9	1,7	+			
10	1,8	+	+		
11	1,9	+			

Продовження таблиці 2.2					
1	2	3	4	5	6
12	2,00	+	+	+	
13	2,12	+			
14	2,24	+	+		
15	2,36	+			
16	2,5	+	+	+	+
17	2,65	+			
18	2,8	+	+		
19	3,00	+			
20	3,15	+	+	+	
21	3,35	+			
22	3,55	+	+		
23	3,75	+			
24	4,00	+	+	+	+
25	4,25	+			
26	4,50	+	+		
27	4,75	+			
28	5,00	+	+	+	
29	5,3	+			
30	5,6	+	+		
31	6,00	+			
32	6,3	+	+	+	+
33	6,7	+			
34	7,10	+	+		
35	7,5	+			
36	8,00	+	+	+	
37	8,5	+			
38	9,00	+	+		
39	9,5	+			
40	10,00	+	+	+	+

У таблиці 2.2 ряди переважних чисел подані в десятковому інтервалі від 1,00 до 10,00 (вихідні ряди), однак вони не обмежуються в обох напрямках, при цьому переважні числа менші ніж 1 і більші 10 отримують діленням або множенням членів вихідного ряду на число 10, 100, 1000 і т.д.

При необхідності обмеження основних рядів у їх позначенні зазначаються граничні члени, які завжди входять до похідних рядів, наприклад:

$R_{10} (1,25\dots)$  – ряд  $R_{10}$ , обмежений членом 1,25 (включно) як нижня межа;

$R_{20} (\dots 45)$  – ряд  $R_{20}$ , обмежений членом 45 (включно) як верхня межа;

$R_{40} (75\dots 300)$  – ряд  $R_{40}$ , обмежений членами 75 і 300, який містить обидва ці члени.

### *Вибіркові ряди переважних чисел*

Не завжди є потреба використовувати усі числа того чи іншого ряду. Стандартом допускається використовувати вибіркові і складові ряди. *Вибіркові ряди* переважних чисел отримують шляхом відбирання кожного другого, кожного третього, кожного четвертого чи кожного  $n$ -го члена основного або додаткового ряду, починаючи з будь-якого числа ряду.

Позначення вибіркового ряду складається з позначення вихідного основного чи додаткового ряду, після чого ставиться похила риска і число 2, 3, 4, ...,  $n$  – відповідно. Якщо вибіркового ряд обмежений, позначення повинно містити члени, які обмежують ряд. Якщо ряд не обмежений, то повинен бути зазначений хоч один його член, *наприклад*:

$R_{5/2} (1\dots 100)$  – вибіркового ряд, складений з кожного другого члена основного ряду  $R_5$ , обмежений членами 1 і 100;

$R_{10/3} (\dots 80\dots)$  – вибіркового ряд, складений з кожного третього члена основного ряду  $R_{10}$ , який містить число 80 і не обмежений в обох напрямках;

$R20/4$  (112...) – вибіркового ряду, складений з кожного четвертого члена основного ряду  $R20$  і обмежений з нижньої межі членом 112;

$R40/5$  (...60) – вибіркового ряду, складений з кожного п'ятого члена основного ряду  $R40$  і обмежений з верхньої межі членом 60.

Вибіркові ряди переважних чисел повинні застосовуватися, якщо зменшення числа градацій створює додатковий ефект порівняно з використанням повних рядів.

При складанні вибірових рядів, перевагу слід надавати рядам, наведеним у таблиці 2.3 відповідно до ГОСТ 8032-84.

Таблиця 2.3

Переважні вибірові ряди переважних чисел

Умовне позначення вибірового ряду	Округлене значення знаменника ряду	Умовне позначення вибірового ряду	Округлене значення знаменника ряду
$R5/3$	4	$R20/2$	1,25
$R5/2$	2,5	$R40/4$	1,25
$R10/3$	2	$R40/3$	1,18
$R10/2$	1,6	$R40/2$	1,12
$R40/8$	1,6	$R80/3$	1,09
$R20/3$	1,4	$R80/2$	1,06

З вибірових рядів з однаковими знаменниками перевагу слід надавати рядові, який містить одиницю або число, єдиною значущою цифрою якого є одиниця (наприклад 0,01; 01; 10; 100 і т.д.).

#### Складові ряди

Складові ряди переважних чисел отримують методом поєднання різних основних і (або) вибірових рядів. Складовий ряд в різних інтервалах має неоднакові значення знаменників.

Кількість основних і вибірових рядів, які використовуються для отримання складового ряду, повинна бути мінімальною. Кінцеві і початкові члени суміжних рядів, що утворюють складовий ряд, повинні бути однаковими, *наприклад*:  $R_{20}$  (1...2);  $R_{10}$  (2...10);  $R_5$  (10...100). Заданий таким чином складовий ряд переважних чисел буде містити такі числа: 1; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3; 8,0; 10; 16; 25; 40; 63; 100.

Складові ряди переважних чисел повинні застосовуватись, якщо необхідна щільність значень параметру продукції є неоднаковою в інтервалі, що розглядається.

В обґрунтованих випадках замість основних рядів переважних чисел  $R$  та окремих чисел цих рядів допускається застосовувати ряди наближених переважних чисел, а також окремі наближені переважні числа.

Відповідно до ГОСТ 8032-84 ряди переважних чисел, які містять числа першого округлення, позначаються  $R'$ , а ряди, що містять числа другого округлення, позначаються  $R''$ .

Безпосередньо за рядами переважних чисел встановлюють параметри і числові характеристики продукції, що не є лінійними розмірами.

На основі рядів переважних чисел розроблений стандарт на нормальні лінійні розміри (ГОСТ 6636-69 «Нормальні лінійні розміри»).

ГОСТ 6636-69 встановлює ряди лінійних розмірів у діапазоні від 0,001 до 20000 мм, призначених для застосування у машинобудуванні і рекомендовані для використання в інших галузях промисловості.

З урахуванням округлення ряди нормальних лінійних розмірів умовно позначаються  $R_a 5$ ,  $R_a 10$ ,  $R_a 20$ ,  $R_a 40$  і т.д.

При вибиранні розмірів члени ряду  $R_a5$  мають перевагу перед членами ряду  $R_a10$ , члени ряду  $R_a10$  перед членами ряду  $R_a20$ ,  $R_a20$  перед  $R_a40$  і т.д.

Додаткові розміри, наведені у зазначених стандартах, допускаються застосовувати лише в обґрунтованих випадках.

З основних рядів лінійних розмірів допускається створювати вибіркові і складові ряди переважних чисел.

### *Розмірні і параметричні ряди*

При стандартизації параметричних (розмірних) рядів необхідно визначити головні, основні і допоміжні параметри продукції. Під *параметром продукції* слід розуміти ознаку продукції, яка кількісно характеризує будь-яку її властивість або стан.

*Головним* називається такий параметр з числа основних, який найповніше *характеризує* даний виріб, залишається сталим тривалий час і може змінюватися лише при розробленні досконаліших виробів.

*Допоміжними* називаються параметри, які для даного виробу не є сталими, залежать від різних удосконалень і тому їх не рекомендується вносити до стандартів.

Для параметрів машин і обладнання застосовується класифікація з виділенням головних і допоміжних параметрів.

За головним параметром продукції створюється параметричний ряд. Цей параметр є базою при визначенні числових значень основних параметрів продукції.

*Параметричним рядом* називається закономірно побудована в певному діапазоні сукупність числових значень головного параметру

продукції (машин або інших виробів) одного функціонального призначення.

Якщо певному рядові чисел відповідає значення будь-якого геометричного параметру (розміру) продукції, то такий *ряд* називається *розмірним*.

Вибір параметрів (розмірів), за якими розробляються параметричні (розмірні) ряди продукції, має велике значення і визначається призначенням продукції, її взаємозв'язками з іншою продукцією.

При стандартизації продукції важливим є вибір і обґрунтування оптимального параметричного чи розмірного ряду виробів, який задовольняє умови їх виготовлення і експлуатації.

Для цього необхідно послідовно вирішити такі завдання:

- вибір головного параметру продукції;
- встановлення залежності між головним параметром та іншими;
- техніко-економічне обґрунтування розмірного чи параметричного ряду головного параметру і встановлення оптимального числа типорозмірів уніфікованого виробу (тобто слід передбачити границі ряду, характер градації ряду і числа членів ряду).

*Діапазон* параметричного ряду визначається практичною потребою у виробках даного типу чи виду і можливостями їх реалізації.

*Під градацією* параметричного чи розмірного ряду слід розуміти закономірність утворення ряду, яка визначає характер інтервалів між членами даного ряду (основний, похідний чи складовий ряд).

*Число членів* ряду визначає число типорозмірів продукції. Оптимальне число членів ряду (число типорозмірів виробів) визначають на основі техніко-економічного аналізу і розрахунків, виходячи з умов забезпечення необхідної програми випуску продукції при найменших затратах в сфері виробництва і експлуатації.

Таким, чином, *система переважних чисел* – система чисел, яким надається перевага перед іншими, при цьому рядам переважних чисел з великою градацією надається перевага перед рядами з дрібнішою градацією.

Стандартизація параметрів на основі параметричних (розмірних) рядів призводить до спеціалізації виробництва, зменшення виробничих витрат і здешевлення продукції, повнішого використання машин і обладнання, розширюється рівень взаємозамінності, збільшуються обсяги виробництва, створюються кращі умови для спеціалізації і кооперування виробництва, підвищується якість продукції.

*Приклад 1.* Запишемо в розгорнутому вигляді ряди переважних чисел  $R_{40}$  (15...28),  $R_{10}$  (...50),  $R_5$  (...40...),  $R_{20/3}$  (14...40),  $R_{10/2}$  (1,25...) у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4

Ряди переважних чисел

Данні:	Розв'язок :
$R_{40}$ (15...28):	15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26; 28
$R_{10}$ (.....50):	25; 31,5; 40; 50
$R_5$ (...40...):	16; 25; 40; 63; 100
$R_{20/3}$ (14...40):	14; 20; 28; 40
$R_{10/2}$ (1,25...):	1,25; 2; 2,15; 5,00; 8,00

*Приклад 2.* Розрахувати собівартість річного випуску валів, довжини яких призначені за рядом  $R_{20}$ , витрати на експлуатацію незмінні та при розрахунках не враховувати  $z = 0,2$ . Встановити економічну доцільність виготовлення валів з довжинами за рядом  $R_{10}$ . Річна програма  $B$ , витрати на матеріал  $m$ , інші витрати  $c'$  представлені у таблиці 2.5.

*Розв'язок:* Собівартість валів, які мають довжину за  $R_{20}$ , розрахуємо за формулою:



$$C = B \cdot c, \quad (2.2)$$

де  $B$  – річна програма, тис. грн.;  $c$  – собівартість виробу в об'ємі річної програми, грн.:

$$c = m + c', \quad (2.3)$$

де  $m$  – вартість матеріалу, грн.;  $c'$  – інші витрати на виготовлення одного виробу, грн.

Таблиця 2.5

Початкові дані обчислення

Довжина валу $l$ , мм	Річна програма $B$ , тис шт	Витрати на матеріали $m$ , грн	Інші витрати $c'$ , грн
400	10,0	84	42
450	16,0	90	45
500	3,0	96	53
560	10,0	102	121
630	3,6	113	124

Таблиця 2.6

Розрахунок собівартості валів

Довжина валу $l$ , мм	400	450	500	560	630
Собівартість виробу $c$ , грн	126	135	149	223	237
Собівартість річної програми $C$ , тис. грн	1260	2160	447	2230	853
Загальна собівартість	$\sum C = 6950$ тис. грн				

Визначимо собівартість виготовлення валів з довжинами, які відповідають ряду  $R10$ . Загальна річна програма не змінюється. Число валів, довжини яких відповідають ряду  $R10$ , додається до числа валів, які мають найближчу довжину відповідну розмірам прийнятого валу.

Розрахункова річна програма валів з довжиною 500 мм:  $B_n = 16 + 3 = 19$  тис. шт.; с довжиною 630 мм  $B_n = 3,6 + 10 = 13,6$  тис. шт.

Значення  $K_{i.n}$ , розраховуємо за формулами (2.4)–(2.8) та зводимо у таблицю 2.7.

$$C_n = c_n \cdot B_n \quad (2.4)$$

де  $C_n$  – собівартість річної програми, виготовленої за рядом R10, тис. грн.;  
 $c_n$  – собівартість виробу, грн.;  $B_n$  – річні програма, тис.грн.

$$c_n = m + c'_n, \quad (2.5)$$

де  $c'$  – інші витрати на одиницю виробу при зміні програми, грн.

$$c'_n = c' \cdot K_{i.e}, \quad (2.6)$$

де  $K_{i.e}$  – коефіцієнт змін інших витрат:

$$K_{i.e} = \frac{1}{K_{i.n}}, \quad (2.7)$$

де  $K_{i.n}$  – коефіцієнт зміни програми,

$$K_{i.n} = \frac{B_n}{B}. \quad (2.8)$$

Таблиця 2.7

Розрахунок собівартості річної програми виготовлення валів

Довжина валу $l$ , мм	Річна програма $B_n$ тис.шт.	Витрати на матеріал $m$ , грн	Коефіцієнт змін		Інші витрати $c'_n$ , грн	Собівартість виробу – $c_n$ , грн	Собівартість річної програми $C_n$ , тис.грн
			Програми $K_{i.n}$ .	Інших витрат $K_{i.e}$ .			
400	10,0	84	1,00	1,000	42	126	1260
500	19	96	6,33	0,690	37	133	2527
630	13,6	113	3,78	0,766	95	208	2829
							$\sum C = 6616$

Собівартість річної програми при використанні ряду  $R_{10}$  виявилось меншою, ніж  $R_{20}$ , тому використання ряду  $R_{10}$  є економічно доцільною.

### Завдання до виконання

1. Запишіть в розгорнутому вигляді ряди переважних чисел у відповідності з вашим варіантом (таблиця 2.8).

Таблиця 2.8

#### Варіанти індивідуальних завдань

Варіант:	Данні:	Варіант:	Данні:
1	2	3	4
1.	$R_{40}/4$ (0,001...0,01); $R_{5}/5$ (25...100); $R_{10}$ (...400); $R_{20}$ (...10...);	16.	$R_{20}/4$ (1,0...25,0); $R_{10}/3$ (1,25...); $R_{40}$ (... 0,1); $R_{5}$ (...10...);
2.	$R_{5}$ (0,25...8); $R_{10}/7$ (1,6...80); $R_{20}/8$ (16...80); $R_{40}$ (...4,0);	17.	$R_{5}/2$ (10...100); $R_{10}$ (...100); $R_{20}/6$ (0,63...); $R_{40}$ (...10...);
3.	$R_{20}/4$ (1,0...25,0); $R_{10}/3$ (1,25...); $R_{40}$ (... 0,2); $R_{5}$ (...10...);	18.	$R_{40}/2$ (1,6...4,0); $R_{10}/3$ (...50); $R_{20}$ (100...); $R_{5}$ (40...100);
4.	$R_{40}/2$ (1,6...4,0); $R_{10}/3$ (...50); $R_{20}$ (100...); $R_{5}$ (40...100);	19.	$R_{40}/4$ (0,001...0,01); $R_{5}/5$ (25...100); $R_{10}$ (...400); $R_{20}$ (...10...);
5.	$R_{40}/2$ (1,6...4,0); $R_{10}/3$ (...50); $R_{20}$ (100...); $R_{5}$ (40...100);	20.	$R_{5}$ (0,25...8); $R_{10}/7$ (1,6...80); $R_{20}/8$ (16...80); $R_{40}$ (...4,0);
6.	$R_{5}/2$ (10...100); $R_{10}$ (...100); $R_{20}/6$ (0,63...); $R_{40}$ (...10...);	21.	$R_{20}/4$ (1,0...25,0); $R_{10}/3$ (1,25...); $R_{40}$ (... 0,1); $R_{5}$ (...10...)

1	2	3	4
7.	<i>R20/4 (1,0...25,0); R10/3 (1,25...); R40 (... 0,1); R5 (...10...)</i>	22.	<i>R5/2 (10...100); R10 (...100); R20/6 (0,63...); R40 (...10...);</i>
8.	<i>R5 (0,25...8); R10/7 (1,6...80); R20/8 (16...80); R40 (...4,0);</i>	23.	<i>R20/4 (1,0...25,0); R10/3 (1,25...); R40 (... 0,1); R5 (...10...);</i>
9.	<i>R20/4 (1,0...25,0); R10/3 (1,25...); R40 (... 0,1); R5 (...10...)</i>	24.	<i>R40/4 (0,001...0,01); R5/5 (25...100); R10 (...400); R20 (...10...);</i>
10.	<i>R5 (0,25...8); R10/7 (1,6...80); R20/8 (16...80); R40 (...4,0);</i>	25.	<i>R40/2 (1,6...4,0); R10/3 (...50); R20 (100...); R5 (40...100);</i>
11.	<i>R40/2 (1,6...4,0); R10/3 (...50); R20 (100...); R5 (40...100);</i>	26.	<i>R20/4 (1,0...25,0); R10/3 (1,25...); R40 (... 0,1); R5 (...10...);</i>
12.	<i>R20/4 (1,0...25,0); R10/3 (1,25...); R40 (... 0,1); R5 (...10...);</i>	27.	<i>R40/2 (1,6...4,0); R10/3 (...50); R20 (100...); R5 (40...100);</i>
13.	<i>R40/2 (1,6...4,0); R10/3 (...50); R20 (100...); R5 (40...100);</i>	28.	<i>R5/2 (0...100); R10 (...100); R20/6 (0,63...); R40 (...10...);</i>
14.	<i>R40/2 (1,6...4,0); R10/3 (...50); R20 (100...); R5 (40...100);</i>	29.	<i>R5 (0,25...8); R10/7 (1,6...80); R20/8 (16...80); R40 (...4,0);</i>
15.	<i>R5/2 (10...100); R10 (...100); R20/6 (0,26...); R40 (...10...);</i>	30.	<i>R20/4 (1,0...25,0); R10/3 (1,25...); R40 (... 0,1); R5 (...10...)</i>

2. Задано обсяг та собівартість виготовлення муфт та діаметри отворів у напівмуфтах за рядом *R40* (таблиця 2.9). Визначити доцільність

виготовлення муфт за рядом  $R20$  з діаметром  $d$ . Витрати на експлуатацію муфт незмінні  $z = 0,1$ .  $B$  – річна програма,  $m$  – витрати та матеріали,  $c$  – інші витрати.

Таблиця 2.9

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1				Варіант 2				Варіант 3			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
25	35	150	47	12	7	80	18	10	12	99	50
26	36	180	49	13	14	90	20	10,5	13	95	45
28	37	220	53	14	18	100	22	11	14	84	52
30	38	260	54	15	3	110	24	11,5	15	80	54
32	39	360	56	16	6	120	26	12	16	79	45
Варіант 4				Варіант 5				Варіант 6			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
10,5	41	55	30	42	3	50	24	15	25	100	61
11	42	57	20	45	8	60	26	16	26	105	65
11,5	43	60	25	48	2	70	28	17	30	110	64
12	44	62	40	50	16	80	30	18	24	115	63
12,5	45	65	40	52	10	85	32	19	20	120	65
Варіант 7				Варіант 8				Варіант 9			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
50	8	60	20	71	6	69	52	20	15	143	70
53	13	65	21	75	18	75	54	21	9	150	71
56	3	70	22	80	10	80	56	22	30	146	72
60	16	75	23	85	5	85	58	24	25	136	73
63	7	80	24	90	8	90	60	25	8	150	74

Варіант 10				Варіант 11				Варіант 12			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
90	4	240	60	100	2	100	60	25	36	121	55
95	5	250	70	105	10	110	80	26	40	122	56
100	8	260	80	110	12	115	85	28	55	125	57
105	6	270	30	120	16	120	90	30	43	140	58
110	7	280	40	125	18	125	95	32	50	150	59
Варіант 13				Варіант 14				Варіант 15			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
14	12	340	40	12	21	390	170	28	20	160	80
15	4	350	80	13	70	400	190	30	21	155	82
16	8	360	60	14	50	410	210	32	22	158	84
17	6	370	70	15	30	420	200	34	23	165	86
18	3	380	90	16	10	430	180	36	26	166	88
Варіант 16				Варіант 17				Варіант 18			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
110	12	350	100	14	25	54	20	40	54	65	36
120	54	360	120	15	26	58	21	42	56	65	35
125	23	350	136	16	23	55	22	45	65	69	35
130	25	389	154	17	54	69	30	48	85	63	32
140	60	400	150	18	12	60	20	50	47	62	30
Варіант 19				Варіант 20				Варіант 21			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
16	100	30	10	20	56	254	123	18	20	45	20
17	120	30	13	21	58	265	145	19	21	47	18
18	98	32	15	22	50	214	125	20	22	48	14
19	68	33	15	24	52	300	146	21	23	49	15
20	80	35	13	25	54	255	153	22	25	50	12

Варіант 22				Варіант 23				Варіант 24			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
12	25	98	25	12	20	87	54	32	36	65	36
13	26	96	24	13	21	85	56	34	35	68	35
14	24	95	26	14	22	84	58	36	39	69	38
15	28	93	28	15	24	86	52	38	30	63	39
16	29	97	23	16	25	82	54	40	35	63	37
Варіант25				Варіант26				Варіант27			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
40	36	87	45	32	12	45	25	100	45	54	10
42	35	85	47	34	15	47	25	105	48	58	12
45	34	85	44	36	14	48	24	110	47	57	13
48	38	87	45	38	16	41	26	120	46	59	14
50	39	89	41	40	13	42	23	125	49	51	15
Варіант 28				Варіант 29				Варіант 30			
$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн	$d$ , мм	$B$ , тис шт	$m$ , грн	$c$ , грн
90	41	54	38	28	45	75	25	14	65	54	36
95	45	52	36	30	46	58	24	15	66	58	35
100	42	56	36	32	48	60	22	16	68	55	36
105	43	58	35	34	47	65	21	17	69	56	33
110	46	59	32	36	49	68	23	18	63	59	39

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

### Визначення метрологічних характеристик засобів вимірювання

**Мета роботи:** розвиток здібностей оволодіння основними прийомами отримання, обробки та представлення даних вимірювань, випробувань та контролю; організувати метрологічне забезпечення виробництва.

### Теоретичні відомості

Похибка є головним показником точності вимірювання. Залежно від форми подання похибки поділяють на абсолютні, відносні і приведені. *Абсолютною похибкою* називають різницю між показанням приладу  $X_0$  і дійсним значенням вимірюваної величини  $X_\rho$ :

$$\pm \Delta = X_0 - X_\rho. \quad (3.1)$$

*Відносна похибка* є відношенням абсолютної похибки  $\pm \Delta$  до дійсного (показання приладу  $X_0$ ) значення вимірюваної величини  $X_\rho$  і виражається у відсотках:

$$\delta = \frac{\pm \Delta}{X_\rho} \cdot 100\% \quad (3.2)$$

За характером виникнення похибки засобів вимірювання поділяються на основні та додаткові.

*Основна похибка* – похибка, яка спостерігається при нормальних умовах експлуатації засобу вимірювання.

*Додаткова похибка* – зміна похибки засобу вимірювання, викликане відхиленням, однієї з впливаючих фізичних величин, від нормального значення або виходом її за межі області нормальних значень.



*Чутливість засобу* вимірювання визначається відношенням зміни вихідного сигналу засобу вимірювань  $\Delta Y$  до сигналу який викликає зміни вимірюваної фізичної величини  $\Delta X$  :

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (3.3)$$

Чутливість засобу вимірювання може бути визначена також як зворотна величина цін поділки шкали засобу вимірювання.

Під ціною поділки шкали засобу вимірювання розуміють різницю між значенням, двох сусідніх відміток шкали.

Ціну поділки шкали  $\Delta N$  засобу вимірювання визначають за формулою:

$$\Delta N = \frac{X_K - X_X}{N}, \quad (3.4)$$

де  $N$  – число поділок шкали.

*Клас точності* – узагальнена характеристика засобу вимірювання, яка визначається границями допустимої основної похибки, та відображає рівень їх точності при нормальних умовах експлуатації. Рівень точності засобу вимірювання може характеризуватись набором інших метрологічних характеристик, що нормуються, пов'язаних визначеним співвідношенням з класом точності, таких, як допустимі додаткові похибки, допустимі варіації та розмах.

Для технічних засобів вимірювання клас точності приймають рівним границі допустимої основної приведенної похибки у відсотках

$$K = \gamma_{\text{дон}} = \frac{\pm \Delta_{\text{дон}}}{X_N} \quad (3.5)$$

де  $\Delta_{\text{дон}}$  – границя допустимої основної абсолютної похибки.

Для знаходження приведенної максимальної похибки вимірювання у формулі (3.5) до розрахунку береться  $\pm \Delta_{\text{MAX}}$ .

Границя допустимої основної абсолютної похибки в одиницях вимірювання визначається за формулою:

$$\pm \Delta_{\text{дон}} = \frac{\pm \gamma_{\text{дон}} \cdot (X_K - X_N)}{100} \quad (3.6)$$

Відносна похибка визначається відношенням абсолютної похибки до дійсного значення вимірюваної величини у відсотках:

$$\delta_{\text{MAX}} = \frac{\pm \Delta_{\text{MAX}}}{X_X} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

*Варіація* – отримана експериментально різниця між показниками приладу вимірювання, які відповідають одному й тому самому дійсному значенню вимірюваної фізичної величини прямому та зворотному русі стрілки засобу вимірювання.

Границя допустимої варіації  $V_{\text{дон}}$  визначається наступним чином

$$V_{\text{дон}} = (0,5 \div 1) \cdot |\Delta_{\text{дон}}| \quad (3.8)$$

*Повірка засобів вимірювання* – сукупність операцій, які виконуються державною метрологічною службою з метою визначення та підтвердження відповідних метрологічних характеристик засобів вимірювання встановленим технічним вимогам.

Засіб вимірювання є придатним до експлуатації, якщо максимальне значення похибки та варіації засобу вимірювання не перевищують допустимих значень:

$$|\Delta_{\text{max}}| \leq |\Delta_{\text{дон}}|; \quad (3.9)$$

$$|V_{\text{max}}| \leq |V_{\text{дон}}|. \quad (3.10)$$

Або хоча б одна з вимог не виконується, то прилад не придатний для подальшої експлуатації та віддається на ремонт.

### Завдання до виконання

Проведено повірку приладу, призначеного для вимірювання напруги.

*Визначити:* границю допустимої абсолютної похибки показників ( $\pm \Delta_{\text{дон}}$ ), максимальну відносну похибку вимірювання ( $\pm \delta_{\text{MAX}}$ ), ціну поділки шкали ( $\Delta N$ ), чутливість приладу ( $S$ ), приведену максимальну похибку вимірювання ( $\pm \gamma_{\text{MAX}}$ ) та метрологічну придатність приладу, якщо відомо нижню границю шкали приладу  $X_H$ , верхню границю шкали приладу  $X_K$ , клас точності приладу  $K$ , число інтервалів рівномірної шкали  $N$ , відмітка шкали, на який стоїть показник (стрілка)  $X_X$ , в якому визначена максимальна абсолютна похибка  $\Delta_{\text{max}}$ , максимальна варіація  $V_{\text{max}}$ . Варіанти завдання приведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

#### Варіанти індивідуальних завдань

№ вар.	$X_H$	$X_K$	Од. вим.	$K$	$N$	$X_X$	$\pm \Delta_{\text{max}}$	$V_{\text{max}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	10	мВ	0,5	100	5	0,05	0,03
2	0	20	мВ	0,5	100	10	0,1	0,07
3	0	50	мВ	0,5	100	30	0,25	0,30
4	0	100	мВ	0,5	100	75	0,5	0,40
5	0	200	мВ	0,5	100	150	1,0	0,90
6	0	500	мВ	0,5	100	400	2,5	3,00
7	-10	10	мВ	1,5	100	-5	0,3	0,60
8	-20	20	мВ	1,5	80	-5	0,6	0,50
9	-50	50	мВ	1,5	50	40	1,5	0,80
10	-100	100	мВ	1,5	100	75	3,0	2,40
11	-200	200	мВ	1,5	80	-150	6,0	6,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	-500	500	mB	1,5	100	250	15,0	10,00
13	0	75	mB	1,5	75	5	1,125	1,00
14	-75	75	mB	1,5	75	50	2,25	2,0
15	0	1	B	0,5	50	0,5	0,4	0,003
16	0	1.5	B	0,5	75	0,5	0,02	0,007
17	0	3	B	0,5	150	2,8	0,01	0,005
18	0	7.5	B	0,5	75	7	0,1	0,11
19	-1	1	B	0,5	100	0,8	0,008	0,01
20	1,5	1,5	B	0,5	150	0,8	0,016	0,01
21	0	1	B	0,5	50	0,5	0,3	0,003
22	0	1.5	B	0,5	75	0,5	0,03	0,006
23	0	10	mB	0,5	100	20	0,1	0,07
24	0	20	mB	0,5	100	40	0,25	0,30
25	0	50	mB	0,5	100	80	0,5	0,40
26	0	100	mB	0,5	100	120	1,0	0,90
27	-50	50	mB	1,5	40	40	1,5	0,80
28	-100	100	mB	1,5	100	75	3,0	2,50
29	-200	200	mB	1,5	90	-150	6,0	6,00
30	-500	500	mB	1,5	100	250	15,0	10,00

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### Обробка результатів багаторазових вимірювань

**Мета роботи:** отримання навичок виконання статистичного аналізу даних, отриманих експериментальним шляхом, вивчення методів пошуку і виключення грубих помилок вимірювання із сукупності результатів вимірів.

### Теоретичні відомості

#### *Відомості про критерії пошуку грубих помилок вимірювання*

Виключення грубих систематичних похибок – одне з головних завдань при плануванні, підготовці проведенні та обробці результатів експерименту.

Відомо кілька методів, що дозволяють визначати грубі помилки статистичного ряду результатів експерименту. Найбільш простим способом виключення грубих помилок із статистичного ряду результатів вимірювань є правило трьох сигм: розкид випадкової величини від середнього значення не повинна перевищувати  $3\sigma$ :

$$a_m = \bar{a} \pm 3\sigma, \quad (4.1)$$

де  $a_m$  – максимальне або мінімальне значення статистичного ряду;  $\bar{a}$  – середнє арифметичне статистичного ряду (математичне очікування);  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення.

Кращими з точки зору достовірності є методи, засновані на використанні довірчих інтервалів.

Нехай є статистичний ряд результатів вимірювань невеликої вибірки (кількість результатів вимірювань в якій не перевищує 20), який описується законом нормального розподілу, то при наявності грубих помилок критерії їх появи  $\beta_1, \beta_2$  визначаються виразами:

$$\beta_1 = \frac{a_{\max} - M_a}{\sigma \cdot \sqrt{(n-1)/n}}; \quad (4.2)$$

$$\beta_2 = \frac{M_a - a_{\min}}{\sigma \cdot \sqrt{(n-1)/n}}, \quad (4.3)$$

де  $a_{\max}, a_{\min}$  – найбільше і найменше значення з  $n$  вимірювань.

У таблиці 4.1 наведено максимальні значення критеріїв появи грубих помилок  $\beta_{\max}$  залежно від довірчої ймовірності, що виникають внаслідок статистичного розкиду результатів вимірювань:

– якщо  $\beta_1, \beta_{\max}$ , то значення  $a_{\max}$  слід виключати із статистичного ряду результатів вимірювань як грубу помилку;

– якщо  $\beta_{\min}, \beta_2$ , то значення  $a_{\min}$  слід виключати із статистичного ряду результатів вимірювань як грубу помилку.

Після виключення знову визначають величини  $M_a, \sigma, \beta_1, \beta_2$  для  $(n-1)$  вимірювань.

Таблиця 4.1

Максимальне значення критерію  $\beta_{\max}$

$n$	$\beta_{\max}$ при $P_D$			$n$	$\beta_{\max}$ при $P_D$		
	0,90	0,95	0,99		0,90	0,95	0,99
1	2	3	4	5	6	7	8
3	1,41	1,41	1,41	15	2,33	2,49	2,80
4	1,64	1,69	1,72	16	2,35	2,52	2,84

1	2	3	4	5	6	7	8
5	1,79	1,87	1,96	17	2,38	2,55	2,87
6	1,89	2,00	2,13	15	2,40	2,58	2,90
7	1,97	2,09	2,26	19	2,43	2,60	2,93
8	2,04	2,17	2,37	20	2,45	2,62	2,9В
9	2,10	2,24	2,46	25	2,54	2,72	3,07
10	2,15	2,29	2,54	30	2,61	2,79	3,16
11	2,19	2,34	2,61	35	2,67	2,85	3,22
12	2,21	2,35	2,66	40	2,72	2,90	3,28
13	2,26	2,43	2,71	45	2,76	2,95	3,33
14	2,30	2,46	2,76	50	2,80	2,99	3,37

Другим з найбільш часто використовуваних методів визначення наявності грубих помилок є метод, заснований на застосуванні критерію Романовського. Цей метод також застосовується для малої вибірки результатів вимірювань. Критерієм виявлення грубої помилки служить гранично допустима абсолютна помилка  $\varepsilon_{gp}$  результату окремого вимірювання:

$$\varepsilon_{gp} = \sigma \cdot q, \quad (4.4)$$

де  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення;  $q$  – величина, що обумовлена залежно від числа вимірювань  $n$  і значення довірчої ймовірності  $P_D$  (таблиця 4.2).

Оцінкою дійсного значення випадкової фізичної величини  $A$  є значення  $\bar{a}$  – величина математичного очікування.

Якщо  $a_{\max} - \bar{a} > \varepsilon_{gp}$ , тоді результат вимірювання  $a_{\max}$  виключають з ряду як грубу помилку. Якщо  $\bar{a} - a_{\min} > \varepsilon_{gp}$ , тоді результат вимірювання  $a_{\min}$  виключають з ряду як грубу помилку. Після виключення однієї або двох грубих помилок знову знаходять величину  $q$ .

Таблиця 4.2

Критерій наявності грубих помилок  $q$  в малій вибірці

$n$	$q$ при $P_D$		
	0,90	0,95	0,99
2	15,56	38,97	77,96
3	4,97	8,04	11,46
4	3,56	5,08	6,53
5	3,04	4,10	5,04
6	2,78	3,64	4,36
7	2,62	3,36	3,96
8	2,51	3,18	3,71
9	2,43	3,05	1,54
10	2,37	2,96	1,41
12	2,29	2,83	1,23
14	2,24	2,74	3,15
16	2,20	2,68	3,04
18	2,17	2,64	3,00
20	2,15	2,60	2,93
$\infty$	1,96	2,33	2,58

Після виключення обчислюється гранично допустима абсолютна помилка результату окремого вимірювання  $\varepsilon_{zp} = \sigma \cdot q$  для нового числа членів статистичного ряду  $n$  і максимальні абсолютні похибки  $\Delta_{\max} = a_{\max} - \bar{a}$  та  $\Delta_{\min} = \bar{a} - a_{\min}$  порівнюються з величиною гранично допустимої абсолютної помилки результату окремого вимірювання  $\varepsilon_{zp}$ . Виняток грубих помилок продовжують до тих пір, поки абсолютні похибки  $\Delta_{\max}$  і  $\Delta_{\min}$  не стануть менше гранично допустимої абсолютної помилки результату окремого вимірювання  $\varepsilon_{zp}$ .

### Завдання до виконання

Провести перевірку та виключення грубих помилок з результатів вимірювання (таблиця 4.3) за допомогою двох критеріїв – критерію трьох



сигм і заданого відповідно до індивідуального варіанту. У звіті представити завдання на практичну роботу, порядок виконання роботи із зазначенням проміжних результатів, звіт оформлюється відповідно до СТО ТПУ 2.5.01-2011.

Таблиця 4.3

Варіанти індивідуальних завдань

№ вар.	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$	$n_7$	$n_8$	$n_9$	$n_{10}$	$P_D$
1	1,45	1,45	1,43	1,25	1,28	1,29	1,38	1,39	1,42	1,48	0,95
2	1,09	1,08	1,12	1,13	1,15	1,16	1,18	1,19	1,19	1,20	0,90
3	1,98	1,92	1,93	1,94	1,95	1,96	1,98	1,97	1,94	1,96	0,99
4	2,48	2,49	2,35	2,36	2,02	2,49	2,48	2,47	2,46	2,45	0,95
5	2,35	2,28	2,29	2,29	2,30	2,31	2,32	2,34	2,38	2,45	0,90
6	2,04	2,05	2,03	2,04	2,05	2,06	2,07	2,02	2,06	2,06	0,99
7	1,38	1,39	1,48	1,40	1,45	1,46	1,48	1,49	1,52	1,53	0,90
8	2,56	2,57	2,55	2,42	2,59	2,43	2,24	2,42	2,59	2,58	0,99
9	2,58	2,59	2,48	2,49	2,53	2,54	2,55	2,56	2,48	2,78	0,95
10	3,78	3,81	3,82	2,5	3,87	3,84	3,85	3,85	3,92	3,94	0,90
11	3,25	3,26	3,28	3,29	3,40	3,42	3,45	3,30	3,31	3,32	0,99
12	3,45	3,46	3,48	3,49	3,52	3,51	3,48	3,02	3,48	3,58	0,90
13	0,48	0,49	0,48	0,47	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,99
14	0,12	0,08	0,01	0,02	0,13	0,12	0,14	0,11	0,10	0,09	0,95
15	0,38	0,39	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,31	0,32	0,34	0,90
16	0,42	0,43	0,38	0,48	0,78	0,73	0,42	0,35	0,36	0,35	0,99
17	0,78	0,79	0,78	0,77	0,78	0,43	0,81	0,80	0,79	0,76	0,95
18	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,92	0,93	1,24	1,01	1,05	0,90
19	4,58	4,59	4,61	4,64	4,61	4,63	4,65	4,66	4,96	5,98	0,95
20	10,48	10,48	10,58	10,59	10,58	10,59	10,57	11,2	11,3	8,5	0,90
21	14,3	14,4	14,5	14,6	16,2	16,4	15,2	16,3	15,1	14,2	0,99
22	5,89	5,89	5,13	5,54	5,68	6,21	6,32	5,48	5,85	6,13	0,95
23	6,13	6,58	6,12	6,85	6,45	6,95	9,23	7,45	8,12	8,16	0,90
24	7,12	7,15	7,16	7,85	7,52	7,32	7,45	7,46	8,15	9,12	0,99
25	0,49	0,47	0,44	0,42	0,40	0,38	0,36	0,41	0,45	0,39	0,95
26	1,97	2,05	2,15	2,24	2,35	2,22	2,32	2,85	2,38	2,41	0,99
27	10,24	10,56	10,89	11,22	11,26	11,56	11,90	12,25	11,85	11,91	0,95
28	0,56	0,57	0,63	0,69	0,69	0,66	0,62	0,58	0,54	0,49	0,95
29	39,30	41,06	42,88	44,74	46,66	48,63	50,65	49,56	47,54	45,62	0,90
30	0,15	0,20	0,25	0,30	0,36	0,42	0,35	0,23	0,34	0,29	0,90

Критерії перевірки:

- для варіантів, що мають парні номери – критерій Романовського;
- для варіантів, що мають непарні номери – критерій  $\beta$ .

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №5

### ПАРАМЕТРИ ШОРСТКОСТІ

**Мета роботи:** Вивчення структури параметрів шорсткості, методики визначення значень параметрів, позначення на кресленнях.

#### ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Шорсткість поверхні – сукупність мікронерівностей поверхні з відносно малими кроками, виділена за допомогою базової довжини.

Шорсткість поверхні виробів незалежно від матеріалу і способу виготовлення (отримання поверхні) можна оцінювати кількісно одним або декількома параметрами.

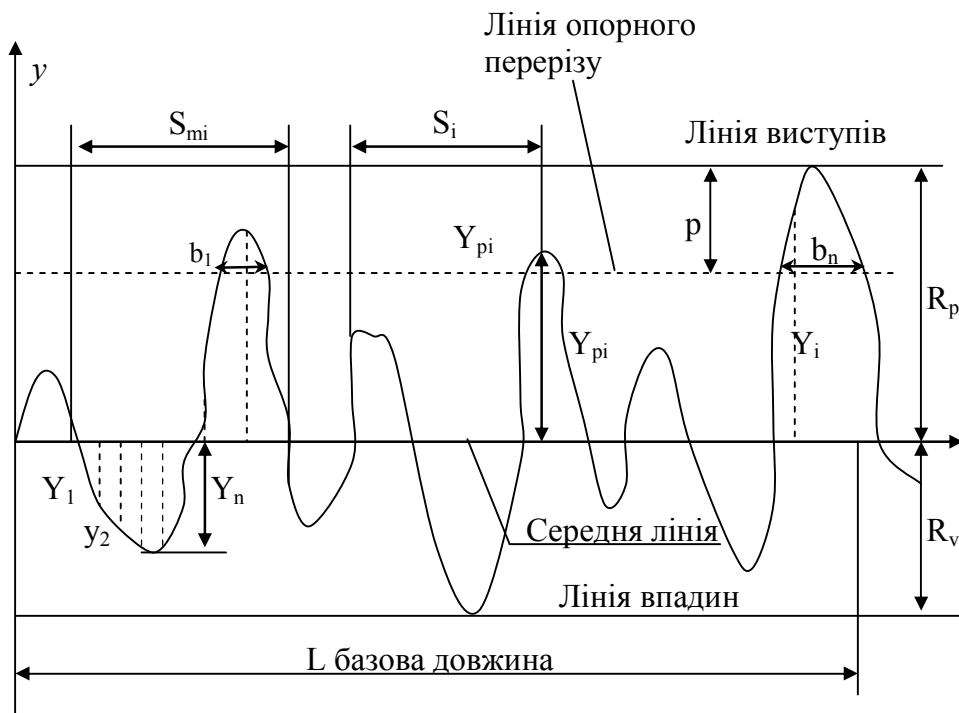


Рис. 5.1. Профілограма поверхні

Числові значення шорсткості поверхні визначають від середньої лінії профілю, що має форму номінального профілю і проведена так, що у

межах базової довжини середнє квадратичне відхилення профілю до цієї лінії мінімальне.

Звичайно параметри ділять на 3 групи:

Параметри, зв'язані з висотними властивостями нерівностей (середнє арифметичне відхилення профілю  $R_a$  від середньої лінії, кількість яких  $n$  повинно бути не менш ніж 20; висота нерівностей профілю по 10 екстремальним точкам  $R_z$ ; найбільша висота нерівностей профілю  $R_{\max}$ ) у межах базової довжини:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i| \quad (5.1)$$

$$R_z = \frac{1}{5} \left[ \sum_{i=1}^5 |y_{p_i}| + \sum_{i=1}^5 |y_{v_i}| \right] \quad (5.2)$$

$$R_{\max} = R_v + R_p \quad (5.3)$$

Параметри, зв'язані з властивостями нерівностей у напрямі довжини профілю (середній крок нерівностей профілю  $S_m$  по середній лінії; середній крок місцевих виступів профілю  $S$ ) в межах базової довжини:

$$S_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_{mi} \quad (5.4)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (5.5)$$

Параметри шорсткості, зв'язані з формою нерівностей профілю (опорна довжина профілю  $\eta_p$ , як сума розмірів відрізків  $b_1$  перерізу мікровиступів лінією опорного перерізу, яка задається розміром  $P$  у кількості відсотків від  $R_{\max}$  (10%, 20%, 30%, 40%); відносна опорна довжина профілю  $t_p$  як відношення величини суми відрізків  $\eta_p$  до розміру базової довжини виміру шорсткості  $l$ ):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i \quad (3.6)$$

$$t_p = \frac{\eta_p}{l} \quad (3.7)$$

*Позначення шорсткості поверхні:*

Шорсткість поверхонь позначають на кресленні для всіх виконуваних по даному кресленню поверхонь деталі, незалежно від методів їх отримання, крім поверхонь, шорсткість яких не обумовлена вимогами конструкції. Структура позначення шорсткості поверхні приведена на рисунку 5.2.

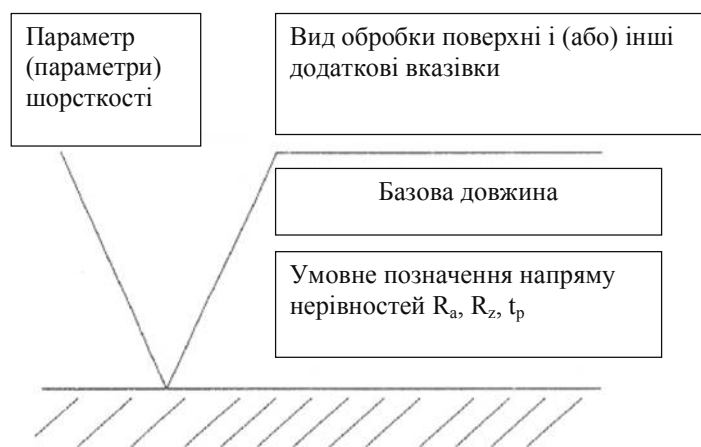


Рис. 5.2. Структура позначення шорсткості поверхні

При вказанні двох або більше чисел параметрів шорсткості поверхні в позначенні їх значення записують зверху вниз в наступному порядку: параметр висоти нерівності профілю; параметр кроку нерівностей профілю; відносна опорна довжина профілю. При вказанні однакової шорсткості для всіх поверхонь деталі позначення шорсткості поміщають в правому верхньому куті креслення і на зображення не наносять.

Кількісний контроль параметрів шорсткості здійснюється як контактними, так і безконтактними методами. До контактних (щупових) пристроях відносять профілометри і профілографи.

### Порядок роботи:

1. Ознайомитися із загальними положеннями методичних вказівок і змістом лекційного матеріалу по відповідній темі;
2. Ознайомитися з представленим викладачем варіантом профілограми реального профілю поверхні. Звернути увагу на додаткову інформацію: крім малюнка профілю на профілограмі вказані значення вертикального і горизонтального збільшень, вид механічної обробки поверхні, а також рівень перетину  $p\%$ ;
3. По варіанту профілограми визначити:
  - 3.1 Положення середньої лінії;
  - 3.2 Масштаб по вертикальній і горизонтальній осях профілограми залежно від заданого збільшення (на профілограмі вертикальне збільшення позначено ВУ, горизонтальне - ГУ);
  - 3.3 Параметри шорсткості по трьом групам і за наслідками розрахунків заповнити таблицю 5.1;

Таблиця 5.1

№	$l_{факт}$	$l_{норм}$	$R_a$	$R_z$	$R_{max}$	$S$	$S_m$	$\eta_3$	$t_p$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Отримане значення параметра  $t_p$  привести до нормального ряду значень.

3.4 Визначити стандартні базові довжини  $l$  для параметрів  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ;

3.5. Представити позначення знаку шорсткості за правилами, приведеними на рисунку 3.2.

## **ЗВІТ ПО РОБОТІ:**

Звіт по роботі повинен містити:

1. Найменування теми і мета роботи;
2. Дані варіанту (профілограма);
3. Необхідні розрахунки з обґрунтуванням; заповнену таблицю 3.1;
4. Графічне зображення структури позначення шорсткості поверхні з указанням всіх необхідних позицій;

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

### Основні поняття взаємозамінності. Граничні розміри, відхилення, допуски та поля допусків

**Мета роботи:** закріпити знання про утворення посадок в Єдиній системі допусків та посадок (ЄСДП); набути практичні навички з використання стандартів ЄСДП гладких з'єднань для розрахунків посадок різного призначення.

#### Теоретичні відомості

*Номинальний розмір* ( $D_H, d_H$ ) – розмір, відносно якого визначаються відхилення. При позначенні на кресленнях номінальних розмірів і сполучень, отриманих лічильним шляхом, число слід округляти до розмірів стандартних рядів (ГОСТ 6636-69). При цьому перевагу надавати рядам з більшою градацією.

*Дійсний розмір* ( $D, d$ ) – розмір елемента (вала або отвору), встановлений шляхом вимірювання. Правильність отримання розмірів при обробці перевіряється їх вимірюваннями.

*Граничні розміри* – два розміри, між якими повинен знаходитись або яким повинен дорівнювати дійсний розмір.

Враховуючи похибки обробки, конструктор вказує на кресленнях не один, а два граничні допустимі розміри, більший з яких має назву «найбільший граничний розмір» ( $D_{\max}, d_{\max}$ ), а менший – «найменший граничний розмір» ( $D_{\min}, d_{\min}$ ) (рис. 6.1). Усі розміри на кресленнях подаються у міліметрах.



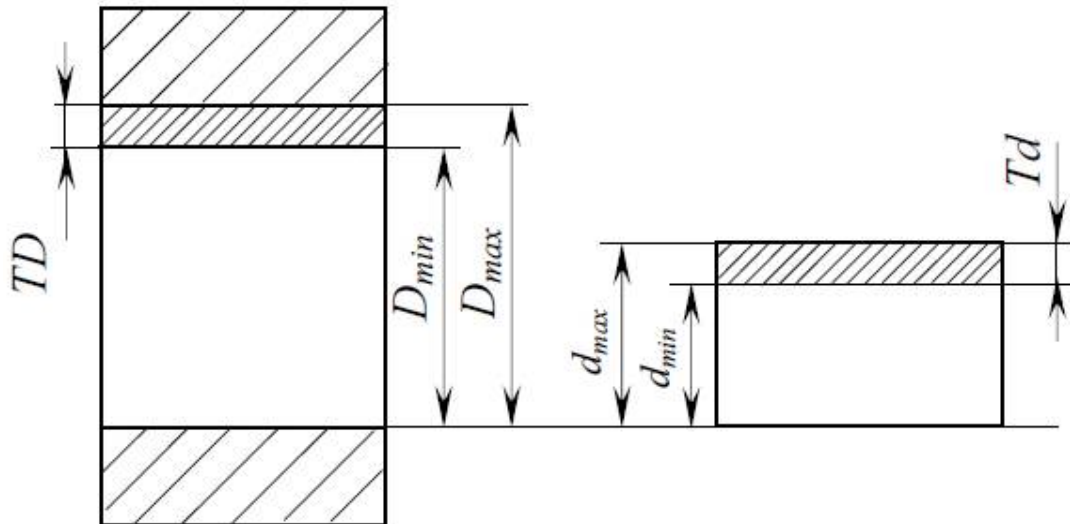


Рис. 6.1 Позначення граничних розмірів

*Граничне відхилення* – алгебраїчна різниця між граничним та номінальним розміром.

*Верхнє граничне відхилення* – алгебраїчна різниця між найбільшим граничним та номінальним розміром, позначається  $es$  – для валу,  $ES$  – для отвору:

$$ES = D_{\max} - D_H - \text{отвір};$$

$$es = d_{\max} - d_H - \text{вал}.$$

*Нижнє граничне відхилення* – алгебраїчна різниця між найменшим граничним та номінальними розмірами, позначається  $ei$  – для валу,  $EI$  – для отвору.

$$EI = D_{\min} - D_H - \text{отвір}$$

$$ei = d_{\min} - d_H - \text{вал}$$

*Допуск (T)* – різниця між найбільшим та найменшим граничними розмірами.

$$TD = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI - \text{для отвору}$$

$$Td = d_{\max} - d_{\min} = es - ei - \text{для валу}.$$

## Завдання до виконання

1. Визначити допуск, найбільші та найменші граничні розміри деталей за заданими номінальними розмірами та граничними відхиленнями (таблиця 6.1).

Таблиця 6.1

Номінальні розміри та граничні відхилення

Варіант	Номінальні розміри та граничні відхилення	
1	2	3
1.	$2.5^{+0.001}$	$50^{+0.01}_{-0.002}$
2.	$6^{+0.01}$	$5 \pm 0.001$
3.	$75_{-0.012}$	$150_{-0.0015}$
4.	$23^{+0.01}_{-0.005}$	$120^{+0.35}$
5.	$60^{+0.002}_{-0.01}$	$27^{+0.08}_{-0.06}$
6.	$23^{+0.1}_{-0.08}$	$58 \pm 0.001$
7.	$2^{+0.005}$	$125^{+0.1}_{-0.1}$
8.	$23^{+0.01}_{-0.005}$	$52^{+0.072}_{+0.053}$
9.	$80_{-0.035}$	$255^{+0.072}_{+0.002}$
10.	$115^{+0.045}_{+0.023}$	$455^{+0.086}_{+0.023}$
11.	$315^{+0.044}_{-0.044}$	$56_{-0.018}$
12.	$130^{+0.063}$	$65^{+0.38}_{+0.19}$
13.	$50^{+0.25}_{-0.05}$	$89 \pm 0.02$
14.	$32^{+0.05}_{-0.005}$	$50^{+0.003}_{-0.002}$
15.	$1^{+0.08}_{+0.02}$	$65^{+0.330}_{-0.140}$
16.	$10^{+0.09}$	$180^{+0.044}_{-0.064}$
17.	$320^{+0.150}_{+0.125}$	$5^{+0.02}$
18.	$98_{-0.05}$	$7^{+0.013}_{-0.019}$
19.	$100^{+0.04}_{-0.04}$	$57^{+0.002}_{-0.015}$
20.	$15^{+0.015}$	$225^{+0.55}_{+0.26}$
21.	$180^{+0.242}_{+0.17}$	$485^{+0.061}_{-0.088}$

1	2	3
22.	$78^{+0.1}_{-0.05}$	$150 \pm 0.07$
23.	$12_{-0.03}$	$10^{+0.001}_{-0.002}$
24.	$2.5^{-0.001}_{-0.002}$	$6_{-0.012}$
25.	$62^{+0.06}_{+0.002}$	$18^{-0.004}_{-0.009}$
26.	$165^{-0.011}_{-0.014}$	$36 \pm 0,125$
27.	$57_{-0.3}$	$300^{-0.54}_{-1.06}$
28.	$85^{+0.09}_{-0.01}$	$25^{+0.0065}_{-0.0065}$
29.	$362^{+0.125}_{-0.125}$	$25 \pm 0,016$
30.	$20^{+0.033}$	$90^{+0.006}_{-0.048}$

2. Визначити верхнє та нижнє граничні відхилення валу за заданими номінальними та граничними розмірами. Записати розмір так, як він повинен бути позначений на креслені. Завдання вказано у таблиці 6.2.

Таблиця 6.2

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Розміри, мм		
	Номінальний	Найбільший граничний	Найменший граничний
1	2	3	4
1.	23	23,01	22,89
2.	56	56,00	55,99
3.	63	62,99	62,89
4.	5	5,001	4,999
5.	89	88,99	88,89
6.	150	150,02	149,98
7.	45	45,001	44,985
8.	56	56,02	56,01
9.	78	78,005	78,003
10.	63	63,056	62,98
11.	54	54,001	54,001
12.	55	55,02	54,9
13.	8	7,99	7,98

1	2	3	4
14.	10	10,01	9,95
15.	12	12,03	12,01
16.	16	16,002	15,992
17.	95	95,05	95
18.	120	120,08	119,993
19.	250	250,172	250,05
20.	55	55,073	55,06
21.	1	1,018	1,014
22.	18	18,053	18,04
23.	125	124,963	124,96
24.	75	75,017	74,993
25.	6	6,031	6,019
26.	315	315	315,943
27.	255	255	254,994
28.	1	1,0015	0,9985
29.	56	56,046	56
30.	456	456,029	455,932

3. Накреслити в масштабі поля допуску валу за заданими номінальним розміром та граничними відхиленнями (таблиця 6.3)

Таблиця 6.3

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Розміри та відхилення		
	Номінальний розмір, мм	Верхнє відхилення, мкм	Нижнє відхилення, мкм
1	2	3	4
1.	3	0	-10
2.	5	0	-12
3.	8	-13	-28
4.	14	+19	+1
5.	25	+10	-10
6.	35	0	-25
7.	18	-20	-41
8.	45	+23	+2
9.	75	-60	-90
10.	60	+15	-15

1	2	3	4
11.	90	+17	-17
12.	92	+38	+3
13.	110	+48	+13
14.	125	-43	-83
15.	50	-60	-90
16.	20	+19	+1
17.	15	+7	-7
18.	7	-13	-28
19.	300	-110	-162
20.	365	0	-57
21.	450	+31	-31
22.	30	+68	+43
23.	140	-145	-185
24.	450	-230	-480
25.	65	+50	+20
26.	148	-14	-54
27.	355	+210	+158
28.	80	-12	-34
29.	24	+41	+28
30.	315	0	+36

4. Накреслити в масштабі поля допуску отвору за заданими номінальним розміром та граничними відхиленнями згідно до варіанту (таблиця 6.4).

Таблиця 6.4

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Розміри та відхилення		
	Номінальний розмір, мм	Верхнє відхилення, мкм	Нижнє відхилення, мкм
1	2	3	4
1.	2	+20	+6
2.	4	+18	0
3.	7	+22	0
4.	15	+23	+12
5.	24	0	-21

1	2	3	4
6.	41	-25	-87
7.	10	+4,5	-4,5
8.	3	+10	0
9.	12	+43	+16
10.	35	+33	+17
11.	11	0	-18
12.	9	-13	-49
13.	29	+6,5	-6,5
14.	7	+35	+13
15.	16	+23	+12
16.	17	-16	-34
17.	120	-36	-123
18.	48	+8	-8
19.	3	+10	0
20.	280	-14	-66
21.	100	+45	+23
22.	67	0	-30
23.	89	+50	+34
24.	10	+2	-7
25.	13	+6	-12
26.	1	+14	0
27.	15	+23	+12
28.	38	0	-25
29.	161	-43	-143
30.	65	+9,5	-9,5

5. Визначити придатність валу за результатами вимірювання занесених до таблиці 6.5.

Таблиця 6.5

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Розміри та відхилення	
	Номінальний розмір та граничні відхилення, мм	Дійсний розмір
1	2	3
1.	$50^{+0.01}_{-0.002}$	50,01
2.	$5 \pm 0.001$	4,9
3.	$150_{-0.0015}$	150,001

1	2	3
4.	$120^{+0.35}$	119,9
5.	$27^{+0.08}_{-0.06}$	27,06
6.	$58 \pm 0.001$	58
7.	$125^{+0.1}_{-0.1}$	125,001
8.	$52^{+0.072}_{+0.053}$	52,05
9.	$255^{+0.072}_{+0.002}$	255,072
10.	$455^{+0.086}_{+0.023}$	455,023
11.	$56_{-0.018}$	55,982
12.	$65^{+0.38}_{+0.19}$	65
13.	$89 \pm 0.02$	79,98
14.	$50^{+0.003}_{-0.002}$	49,9
15.	$65^{+0.330}_{-0.140}$	64,9
16.	$180^{-0.044}_{-0.064}$	180
17.	$5^{+0.02}$	5
18.	$7^{-0.013}_{-0.019}$	6,5
19.	$57^{-0.015}_{-0.002}$	56,9
20.	$225^{+0.55}_{+0.26}$	224,8
21.	$485^{-0.061}_{-0.088}$	485
22.	$150 \pm 0,07$	150,01
23.	$10^{+0.001}_{-0.002}$	10,01
24.	$6_{-0.012}$	6,0
25.	$18^{-0.009}_{-0.004}$	17,99
26.	$36 \pm 0,125$	35,975
27.	$300^{-0.54}_{-1.06}$	300
28.	$25^{+0.0065}_{-0.0065}$	25,05
29.	$25 \pm 0,016$	24,95
30.	$90^{+0.006}_{-0.048}$	90,08

6. Визначити придатність отвору за результатами вимірювання занесених до таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

## Варіанти індивідуальних завдань

Варіант	Розміри та відхилення	
	Номінальний розмір та граничні відхилення, мм	Дійсний розмір
1	2	3
1.	$2,5^{+0.001}$	2,45
2.	$6^{+0.01}$	6,001
3.	$75_{-0.012}$	75
4.	$23^{+0.01}_{-0.005}$	22,98
5.	$60^{-0.002}_{-0.01}$	61
6.	$23^{+0.1}_{-0.08}$	22,75
7.	$2^{+0.005}$	2
8.	$23^{+0.01}_{-0.005}$	23
9.	$80_{-0.035}$	79,99
10.	$115^{+0.045}_{+0.023}$	114,89
11.	$315^{+0.044}_{-0.044}$	316
12.	$130^{+0.063}$	131
13.	$50^{+0.25}_{-0.05}$	49,5
14.	$32^{+0.05}_{-0.005}$	32
15.	$1^{+0.08}_{+0.02}$	1
16.	$10^{+0.09}$	10
17.	$320^{+0.150}_{+0.125}$	320,001
18.	$98_{-0.05}$	97,98
19.	$100^{+0.04}_{-0.04}$	100
20.	$15^{+0.015}$	15
21.	$180^{+0.242}_{+0.17}$	180,024
22.	$78^{+0.1}_{-0.05}$	77,999
23.	$12_{-0.03}$	12
24.	$2.5^{-0.001}_{-0.002}$	2,5
25.	$62^{+0.06}_{+0.002}$	62,06
26.	$165^{-0.011}_{-0.014}$	164,99
27.	$57_{-0.3}$	57



1	2	3
28.	$85^{+0.09}_{-0.01}$	85
29.	$362^{+0.125}_{-0.125}$	362,01
30.	$20^{+0.033}$	19,9

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

### Посадки, їх групи та системи

**Мета роботи:** закріпити знання про параметри допусків і посадок; набути практичних навичок з вибору системи утворення посадок та типу посадок у з'єднаннях деталей приладів

#### Теоретичні відомості

*Зазор  $S$*  – різниця розмірів отвору та валу, якщо розмір отвору більше розміру валу. Зазор забезпечує можливість вільного переміщення деталей, що сполучаються.

*Натяг  $N$*  – різниця розмірів валу і отвору до складання, якщо розмір валу більше розміру отвору. Натяг забезпечує взаємну нерухомість деталей після їх складання.

*Типи посадок.* Залежно від взаємного розташування полів допусків отвору і валу посадка може бути із зазором, з натягом або перехідна (рис. 7.1.). Загальноприйнято зображати схеми посадок без зображення деталей

*Посадка із зазором* – посадка, при якій гарантується зазор в з'єднанні (поле допуску отвору розташовано вищим поля допуску валу або нижня межа поля допуску отвору співпадає з верхньою межею поля допуску валу). Посадки із зазором призначаються для рухомих з'єднань. В цьому випадку отвір завжди більше валу.  $S_{\min} = S_2$  – гарантований зазор.  $S_{\max} = S_{\min} + IT_o + IT_g = ES - ei$ . Окремий випадок  $S_2 = 0$  – ковзаючий контакт.

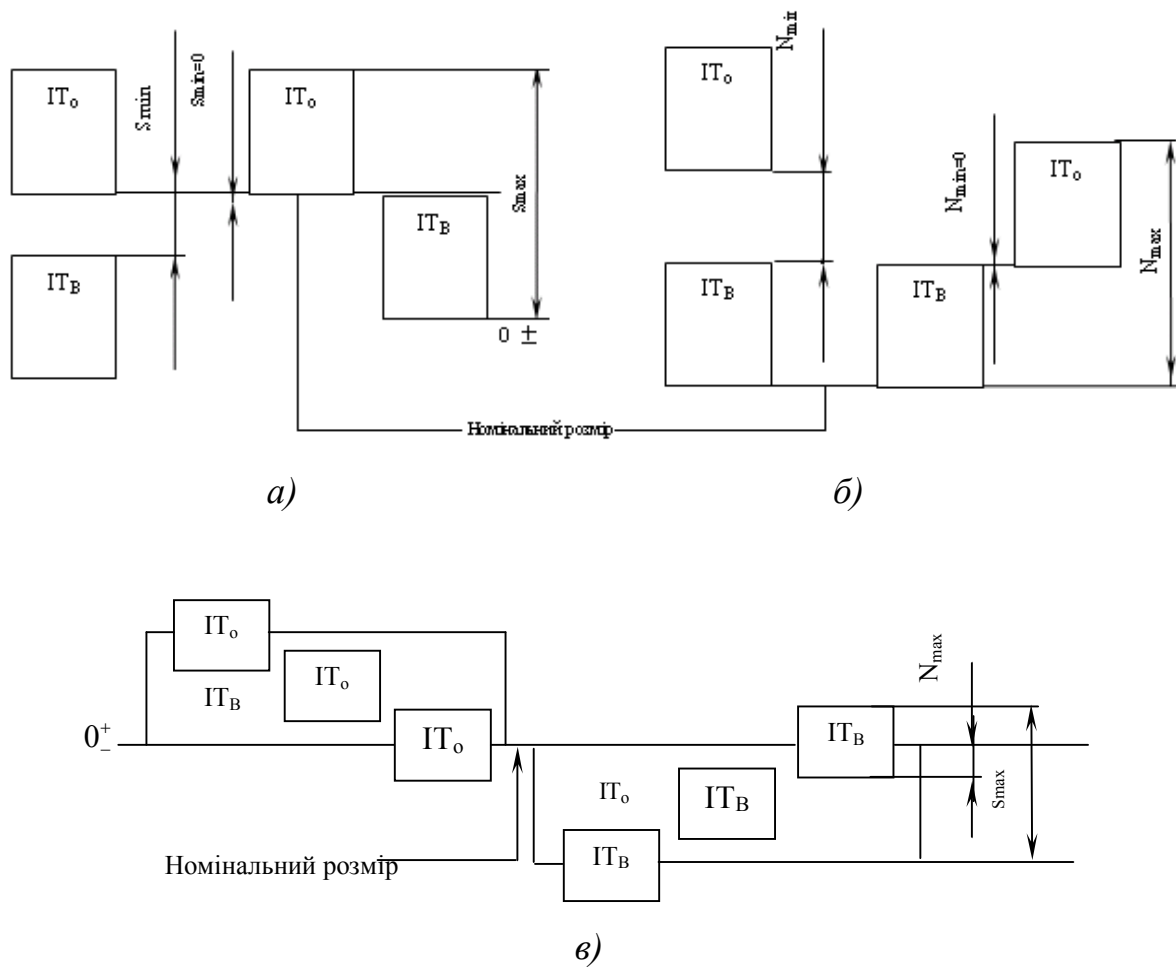


Рис. 7.1. Типи посадок: посадка із зазором (а); посадка з натягом (б);  
перехідні посадки (в)

*Посадка з натягом* – посадка, при якій гарантується натяг в з'єднанні (поле допуску отвору розташовано нижче поля допуску валу або верхня межа поля допуску отвору співпадає з нижньою межею поля допуску валу).

Посадки з натягом призначаються для нероз'ємних з'єднань. В цьому випадку отвір завжди менше валу.  $N_{min} = ei - ES$ ,  
 $N_{max} = N_{min} + IT_o + IT_B = es - EI$ . Величина пружних сил визначається величинами натягу.

*Перехідна посадка* – посадка, при якій в з'єднанні можуть вийти як натяг, так і зазор (поля допусків отвору і валу частково або повністю перекриваються). Натяг виходить при найбільшому граничному розмірі валу і найменшому граничному розмірі отвору, а у разі найбільшого граничного розміру отвору і найменшого граничного розміру валу виходить зазор.

Перехідні посадки призначаються для нерухомих з'єднань, що піддаються періодичному розбиранню. Ці посадки відрізняються тим, що під час складання деталей можуть утворювати як зазор, так і натяг, а також беззазорну вільну (що ковзає) посадку  $S = 0, N = 0$ .

Посадки із зазором (рис. 7.1, а) і з натягом (рис. 7.1,б) забезпечують при сполученні деталей гарантовані зазори і натяг. При цьому такі елементи рівні:  $S_z = S_{\min}, N_z = N_{\min}$ . Максимальний натяг і зазори визначаються:

$$\begin{aligned} S_{\max} &= S_{\min} + \delta_o + \delta_B \\ N_{\max} &= N_{\min} + \delta_o + \delta_B \end{aligned} \quad (7.1)$$

де  $\delta_o, \delta_B$  – допуски відповідно отворів і валів.

### **Завдання до виконання**

1. Ознайомитися із загальними положеннями методичних вказівок, змістом запропонованого викладачем стандарту СЕВ;

2. За даними варіантів робіт (номінальний розмір, квалітети – дані стовпців 2 і 3 таблиці) представити графічне зображення системи отвору і системи валу в заданих квалітетах з вказівками всіх граничних відхилень.

Поля допусків валів і отворів при номінальних розмірах менше 10 мм представлені у таблицях 7.1 і 7.2.

Таблиця 7.1

## Поля допусків валів і отворів

Номинальний. розмір	Система отвору, мкм			Система вала, мкм		
	10	H9	d9	-40	h9	D9
Квалітет			-76			+40
9		e9	-25		E9	+61
			-61			+25
		f9	-13		F9	+49
			-49			+13
		h9	0		H9	+36
			-36			0
		js9	+18		Js9	+18
			-18			-18

Отримані значення занести у таблицю 7.1. (у таблиці наведений приклад  $\varnothing 10$  квалітет 9).

3. Для всіх отриманих посадок визначити величини допусків, мінімальні і максимальні зазори і натяг, допуски посадок. Отримані значення занести у таблицю 7.2.

Таблиця 7.2

## Аналітичний розрахунок посадок

З'єднання	Посадки із зазором, мкм		З'єднання	Посадки із натягом		З'єднання	Посадки перехідні, мкм	
	10	$S_{\max}$		112	-		$N_{\max}$	-
H9/d9	$S_{\min}$	40		$N_{\min}$	-	H9/js9	$S_{\max}$	54
	TS	72		TN	-		TS(TN)	72
і т.д.								

5. Виконати ескізи деталей з'єднання і складання з вказівкою всіх способів позначення допусків на кресленнях (за даними таблиці 7.3).

Таблиця 7.3

Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанта	Номинальний розмір, мм	Квалітети	З'єднання
1	2	3	4
1	0,50	4	Ø95H8/e8
	10	8	
	850	6	
2	0,35	5	Ø15H6/k5
	14	7	
	980	6	
3	0,48	6	Ø25H8/s7
	70	8	
	730	7	
4	0,56	7	Ø55D10/h9
	200	9	
	950	8	
5	0,95	8	Ø95H6/n5
	350	5	
	630	6	
6	0,30	9	Ø80H7/g6
	24	6	
	560	7	
7	0,45	10	Ø14F7/h6
	50	7	
	850	8	
8	0,80	4	Ø15G7/h7
	32	8	
	710	6	
9	0,48	5	Ø60H11/d11
	120	6	
	60	7	
10	0,55	6	Ø55H7/r6
	30	7	
	800	8	

1	2	3	4
11	0,25	7	Ø35H5/p6
	65	8	
	900	6	
12	0,15	8	Ø75H7/js6
	80	8	
	1000	7	
13	0,70	9	Ø8E9/h8
	18	6	
	710	8	
14	0,86	10	Ø15H8/s7
	100	7	
	920	6	
15	0,90	4	Ø40Js8/h7
	30	6	
	850	7	
16	0,85	9	Ø105H7/n5
	250	7	
	730	7	
17	0,25	8	Ø75H6/g6
	34	7	
	650	6	
18	0,83	11	Ø56F8/h7
	30	9	
	425	6	
19	0,75	4	Ø24G7/h7
	22	8	
	510	6	
20	0,8	5	Ø56H12/d12
	130	6	
	600	7	
21	0,45	8	Ø45H8/r6
	32	6	
	450	6	
22	0,7	8	Ø74H6/p5
	63	6	
	950	7	
23	0,13	8	Ø65H6/js7
	56	8	
	630	8	

1	2	3	4
24	0,15	8	Ø10E9/h8
	23	9	
	560	7	
25	0,86	10	Ø15H8/s7
	100	7	
	920	6	
26	0,90	4	Ø40Js8/h7
	30	6	
	850	7	
27	0,85	6	Ø45H5/n6
	350	5	
	560	8	
28	0,36	7	Ø80H7/g6
	42	9	
	650	6	
29	0,35	6	Ø16F6/h7
	45	10	
	450	7	
30	0,90	6	Ø50G8/h8
	56	5	
	630	8	



## ПРАКТИЧНА РОБОТА №8

### Розмірний аналіз

**Мета роботи:** ознайомлення з методикою рішення розмірних ланцюгів методом повної взаємозамінності (розв'язання прямої та оберненої задач).

### Теоретичні відомості

*Розмірний ланцюг* (рис. 8.1) – сукупність розмірів, які утворюють правильний контур і що безпосередньо беруть участь в розв'язуванні задачі визначення точності взаємного розміщення вісей і поверхонь одної або декількох деталей.

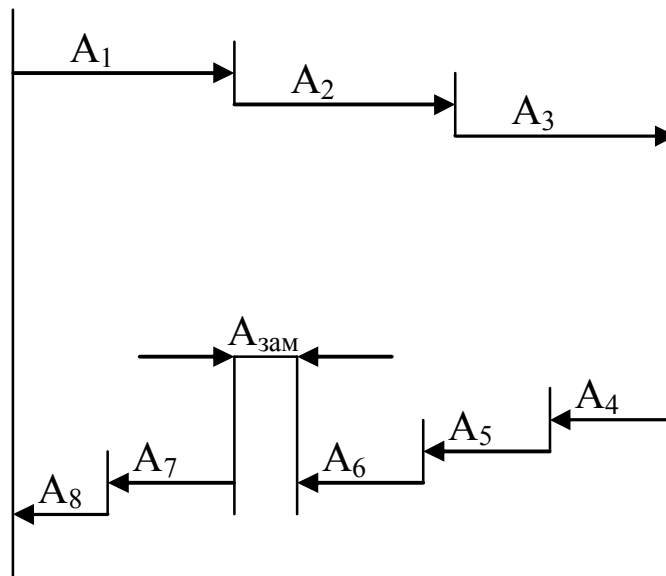


Рис. 8.1. Схема розмірного ланцюга ( $\rightarrow$  – ланка, яка збільшує;  
 $\leftarrow$  – ланка, яка зменшує;  $A_{зам}$  – ланка, яка замикає)

Номінальні значення замикаючої ланки знаходять різницею сум номінальних значень ланок, які збільшують  $A_{зб}$  та зменшують  $A_{зм}$

$$A_{зам} = \sum_{i=1}^n A_{ізб} - \sum_{j=1}^p A_{ізм} . \quad (8.1)$$

*Пряма задача* – визначення номінального розміру, граничних відхилень і допуску замикаючої ланки по заданим номінальним розмірам і граничним відхиленням складових ланок (перевірочний розрахунок).

*Обернена задача* – визначення допуску і граничних відхилень складових розмірів по заданим граничним розмірам вихідної ланки (проектний розрахунок).

### *Метод повної взаємозамінності*

Даний метод передбачає забезпечення необхідної точності складання за будь-яких можливих гранично допустимих відхилень розмірів деталей, які входять до єдиного розмірного ланцюга.

У ході організації складання цей метод є найпростішим, він не потребує додаткових налагоджувальних та регулювальних робіт і зводиться до звичайного стикування та послідовного з'єднання деталей даної складальної одиниці або виробу в цілому. Метод не забезпечує високої точності складання.

Оскільки гранично можливі похибки розмірів виготовлення деталей  $\Delta A_i$  за умови придатності продукції дорівнюють відповідним межах допусків у їх абсолютному значенні, тобто  $\Delta A_1 = |\delta_1|$ ,  $\Delta A_2 = |\delta_2|, \dots$ ,  $\Delta A_{m-1} = |\delta_{m-1}|$ , при цьому допуск замикаючої ланки дорівнює арифметичній сумі абсолютних значень допуску складових ланок:

$$\delta_{зам} = \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_i|, \quad (8.2)$$

де  $m$  – кількість ланок у розмірному ланцюгу;  $|\delta_i|$  – допуски складових ланок.

Визначення точності складальних елементів зручніше починати з розгляду прямої задачі.

### *Пряма задача*

#### *Координатний метод*

Знаходимо координату середини кожного допуску зі своїми знаками (+) або (-) згідно посадки допуску відносно базової основної лінії 0-0:

$$K = \frac{(BV) + (HB)}{2} \quad (8.3)$$

де  $BV$  та  $HB$  – верхнє та нижнє відхилення кожного допуску розмірної ланки зі своїм знаком (+) або (-). При цьому  $BV$  або  $HB$  можуть дорівнювати нулю.

Знаходимо величину допуску на замикаючу ланку  $\delta_{зам}$  за формулою (8.2).

Визначимо координату середини допуску  $K_{зам}$  зі знаком:

$$K_{зам} = \sum_{i=1}^n K_{i\delta} - \sum_{j=1}^p K_{i\delta} , \quad (8.4)$$

де  $K_{i\delta}$  та  $K_{i\delta}$  – координати середини допусків ланок, що збільшують та зменшують, зі своїми знаками (8.3).

Визначимо необхідні відхилення допуску замикаючої ланки:

$$(BV)_{зам} = K_{зам} + 0,5 \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_{зам}| \quad (8.5)$$

$$(HB)_{зам} = K_{зам} - 0,5 \sum_{i=1}^{m-1} |\delta_{зам}|$$

### Екстремальний метод з врахуванням номіналів

На виробництві він має назву метод “максимуму -мінімуму”.

Максимальне та мінімальне значення замикаючої ланки визначається за формулами:

$$\begin{aligned} A_{зам}^{max} &= \sum_{i=1}^m A_{ізб}^{max} - \sum_{j=1}^p A_{ізм}^{min} \\ A_{зам}^{min} &= \sum_{i=1}^m A_{ізб}^{min} - \sum_{j=1}^p A_{ізм}^{max} \end{aligned} \quad (8.6)$$

де суми максимальних та мінімальних величин ланок, які збільшують або зменшують, беруть з урахуванням їх номінальних значень.

Верхнє та нижнє відхилення допуску замикаючої ланки

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= A_{зам}^{max} - A_{зам} \\ (HB)_{зам} &= A_{зам}^{min} - A_{зам} \end{aligned} \quad (8.7)$$

### Метод екстремальний без номінальний

Цей метод найпростіший і рекомендується виробництву. У разі застосування методу визначають  $(BB)_{зам}$  і  $(HB)_{зам}$ :

$$\begin{aligned} (BB)_{зам} &= \sum_{i=1}^n (BB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (HB_j)_{зм} \\ (HB)_{зам} &= \sum_{i=1}^n (HB_i)_{зб} - \sum_{j=1}^p (BB_j)_{зм} \end{aligned} \quad (8.8)$$

де  $(BB)$ ,  $(HB)$  – верхнє і нижнє відхилення допусків складових ланок, які взято зі своїми знаками. Очевидно, що даний метод найтехнологічніший і простий у застосуванні.

Визначимо кінцеву відповідь у цифровому виді:

$$A_{зам} \begin{matrix} (BB)_{зам} \\ (HB)_{зам} \end{matrix} ММ$$

Наприклад:  $5^{+0,25}_{-0,12}$  мм.

Всі три методи повинні мати однакові відповіді.

### Завдання до виконання

1. Ознайомитися із загальними положеннями методичних вказівок і змістом лекційного матеріалу по відповідній темі;
2. Ознайомитися з методиками рішення розмірних ланцюгів, представлених у формі алгоритмів;
3. Викреслити на основі ескізу вузла механізму (рис. 8.2) без масштабну схему розмірного ланцюга з позначенням всіх ланок: збільшуючих ( $\bar{A}_j$ ), зменшуючих ( $\bar{A}_j$ ) і замикаючого ( $\bar{A}_\Delta$ );

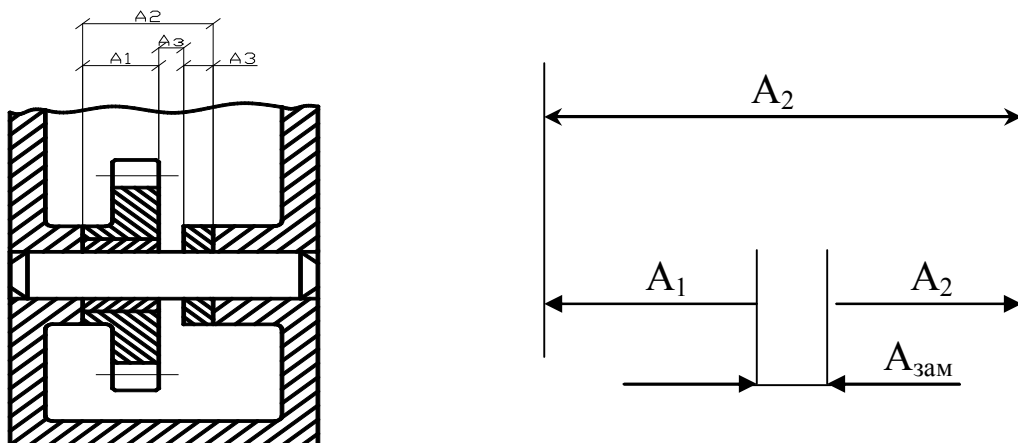


Рис. 8.2 Ескіз складальної одиниці механізму

4. По номінальним розмірам ( $A_1, A_2, \dots, A_6$ ) і граничним відхиленням складових ланок (дані таблиці 8.1) визначити номінальний розмір, граничні відхилення, допуск замикаючої ланки, координату середини поля допуску (пряма задача).

Таблиця 8.1

## Вихідні дані для розрахунку прямої задачі

№	$A_1$	$A_2$	$A_3$
1	2	3	4
1	$77^{+0.200}$	$90_{-0.080}$	$12_{-0.090}$
2	$89^{+0.003}_{-0.010}$	$106_{-0.006}$	$16_{-0.090}$
3	$87^{+0.230}$	$108_{-0.060}$	$18_{-0.060}$
4	$160^{+0.260}$	$191^{+0.030}_{-0.090}$	$30_{-0.120}$
5	$24^{+0.073}$	$65_{-0.005}$	$40_{-0.150}$
6	$27^{+0.215}$	$72_{-0.084}$	$43_{-0.100}$
7	$207^{+0.073}$	$244_{-0.033}$	$36_{-0.039}$
8	$107^{+0.070}$	$126_{-0.020}$	$18_{-0.030}$
9	$35^{+0.063}$	$66_{-0.012}$	$30_{-0.100}$
10	$30^{+0.090}$	$70.5^{+0.011}_{-0.044}$	$40_{-0.100}$
11	$66^{+0.040}$	$90.5_{-0.010}$	$24_{-0.090}$
12	$86^{+0.084}$	$130.5_{-0.033}$	$50_{-0.039}$
13	$26^{+0.090}$	$81_{-0.035}$	$54_{-0.050}$
14	$98^{+0.120}$	$155_{-0.033}$	$56_{-0.045}$
15	$95_{-0.045}$	$121_{-0.008}$	$20_{-0.090}$
16	$25^{+0.073}$	$56_{-0.005}$	$38_{-0.150}$
17	$28^{+0.215}$	$73_{-0.084}$	$43_{-0.100}$
18	$210^{+0.073}$	$44_{-0.033}$	$28_{-0.150}$
19	$10^{+0.070}$	$156_{-0.020}$	$20_{-0.030}$
20	$24^{+0.063}$	$56_{-0.012}$	$25_{-0.100}$
21	$13^{+0.090}$	$60.5^{+0.011}_{-0.044}$	$40_{-0.100}$
22	$63^{+0.040}$	$91_{-0.035}$	$16_{-0.090}$
23	$63^{+0.084}$	$90_{-0.080}$	$40_{-0.150}$
24	$66_{-0.012}$	$70.5^{+0.011}_{-0.044}$	$54_{-0.050}$
25	$98^{+0.120}$	$45_{-0.005}$	$56_{-0.045}$
26	$95_{-0.045}$	$121_{-0.008}$	$25_{-0.090}$
27	$24^{+0.073}$	$65_{-0.005}$	$40_{-0.150}$
28	$27^{+0.215}$	$72_{-0.084}$	$24_{-0.090}$
29	$207^{+0.073}$	$86^{+0.084}$	$36_{-0.039}$
30	$18_{-0.030}$	$160^{+0.260}$	$107^{+0.070}$

6. Відповісти на контрольні питання і оформити звіт по роботі відповідно до загальних вимог.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №9

### Вибір й обґрунтування норм точності

**Мета роботи:** вивчення положень теорії точності в частині визначення відхилень форм і розташування поверхонь, обґрунтований вибір і призначення норм точності на конструкторських кресленнях.

### Теоретичні відомості

Реальна деталь відрізняється від свого номінального прототипу відхиленнями форми поверхонь від правильної геометричної форми й відхиленнями розташування цих поверхонь від правильного геометричного розташування, внаслідок неминучих похибок технологічного процесу виготовлення.

З погляду теорії точності відхилення розміру, форми й розташування є первинними технологічними похибками об'єкта контролю, величини яких повинні обмежуватися допусками на виготовлення.

Визначення базових поверхонь деталі: елементи деталі поділяються на робочі й неробочі.

*Неробочі* поверхні не беруть участь у сполученні з іншими деталями виробу й визначають, головним чином, габарити деталі і її форму.

*Робочі* поверхні сполучаються з іншими деталями виробу, і в цьому випадку вони є базовими поверхнями або виконують певне функціональне призначення. Робочі поверхні підрозділяються на: елементні (що сполучають утворюючу посадку) і координатні, які визначають розташування елементів деталі.



*Базовою поверхнею (базою)* називають поверхню або сполучення поверхонь, осей, крапок, що належать деталі й використовуються для надання їй необхідного положення.

Необхідне положення в результаті складання надають конструкторські бази, при виготовленні – технологічні бази, при вимірі й контролю – вимірювальні бази.

*Конструкторські бази* можуть бути основними й допоміжними. Основні визначають положення деталі у виробі, допоміжні визначають положення приєднаних до неї деталей.

Будь-яка деталь у просторі може робити 6 рухів: три поступальних уздовж взаємоперпендикулярних напрямків і три обертальних навколо тих самих напрямків. Кожен рух називають *ступенем свободи*, тому розташована в просторі деталь має 6 ступенів свободи. Всі види баз надають деталі необхідне положення за рахунок позбавлення частини або всіх ступенів свободи.

По числу ступенів свободи, що позбавляють конструкторські бази розділяються на:

– *установчі* позбавляють 3 ступені свободи: переміщення уздовж одного напрямку  $z$  й повороти навколо двох інших (рис. 9.1):

– *напрямні* позбавляють деталь двох ступенів свободи: переміщення уздовж одного напрямку  $z$  й поворот уздовж іншого  $x$  (рис. 9.2);

– *опорні* позбавляють деталь одним ступенем свободи переміщення або повороту (рис. 9.3).

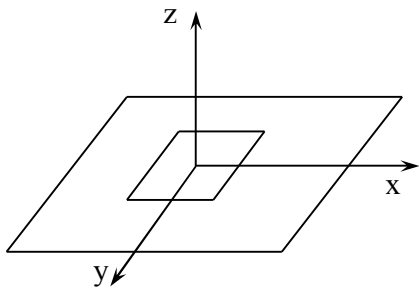


Рис. 9.1 Установчі  
конструкторські бази

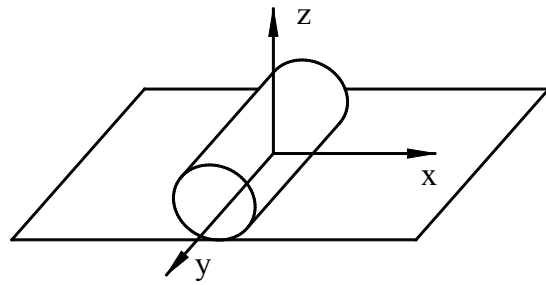


Рис. 9.2 Напрямні  
конструкторські бази

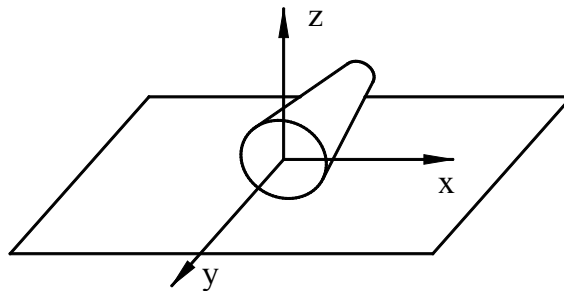


Рис. 9.3 Опорні конструкторські бази

Крім того, розрізняють подвійні напрямні бази, що позбавляють 4 ступені свободи – 2 переміщення й 2 повороти.

Щоб виготовити деталь точно, без похибок від зміцнення, потрібно позбавити її усіх 6-ти ступенів свободи.

*Визначення первинних похибок деталі.*

Первинні похибки деталі складаються з первинних похибок елементів деталі (елементарних поверхонь), що обмежують її тіло.

Елементарні поверхні можуть бути циліндричними, плоскими, конічними, сферичними, різьбовими і т.д.

*Первинні похибки сферичного елемента (наведена на рис. 9.4)*

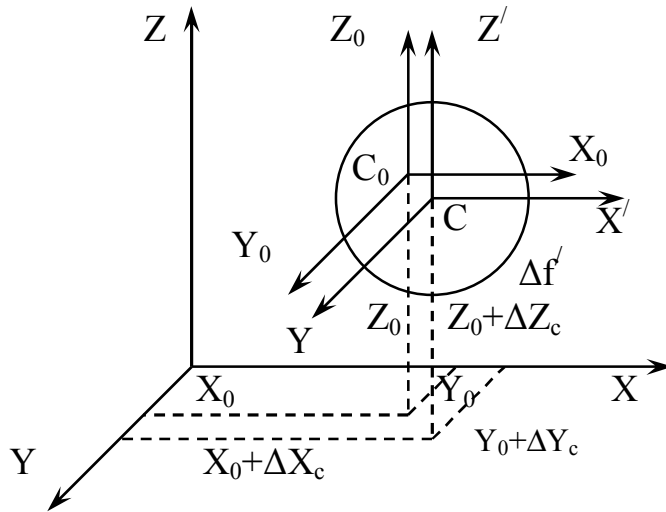


Рис. 9.4 Первинні похибки сферичного елемента

Положення сферичного елемента (сфери) в узагальненій системі координат у загальному випадку задається 3-ма координатами його центра  $C_0(X_0, Y_0, Z_0)$ . Реальна сфера займе положення  $C(X, Y, Z)$  і в узагальненій системі може мати 3 первинні погрішності  $\Delta X_c, \Delta Y_c, \Delta Z_c$ .

Це скалярні похибки, які можна розглядати як проекції однієї просторової векторної погрішності  $\bar{\Delta e}$ , що визначає реальне положення центра сфери. Крім того, у допоміжній системі координат сферичному елементу характерна наявність похибки форми  $\Delta f$ .

*Первинні похибки плоского елемента.*

Положення плоского елемента в узагальненій системі координат задається координатами точки, розташованої в його центрі.

Розглянемо загальний випадок, коли він не є паралельний ні одній з координатних площин узагальненої системи (рис. 9.5).

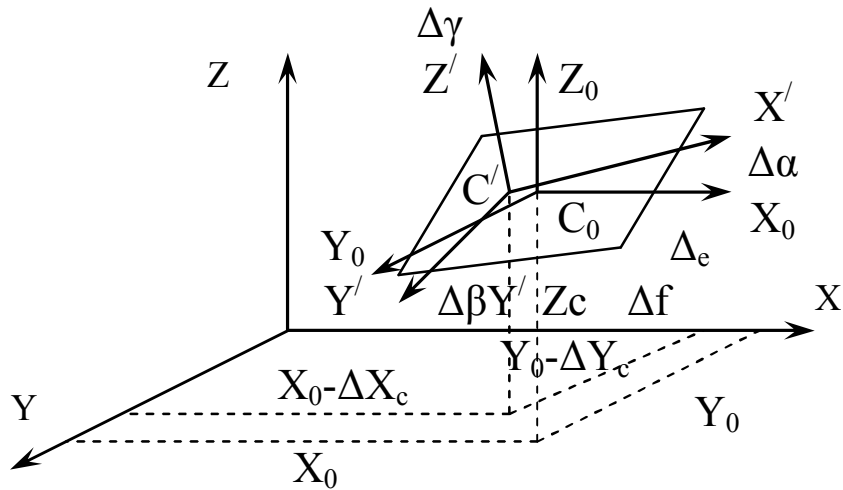


Рис. 9.5 Положення плоского елемента в узагальненій системі координат

Первинні похибки плоского елемента: лінійні похибки –  $\Delta X_c, \Delta Y_c, \Delta Z_c$  (або еквівалентний їм ексцентриситет  $\bar{\Delta \epsilon}$ ); кутові похибки –  $\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma$ . У допоміжній системі координат – відхилення форми  $\Delta f$ .

Особливістю плоского елемента є те, що він не має власного розміру, як наприклад циліндричний. Розмір можуть утворити тільки два плоских елементи: якщо вони паралельні, то утвориться розмір довжини або глибини, якщо перетинаються утвориться кут (такі елементи називають *призматичними*).

#### *Первинні похибки циліндричного елемента*

Номинальне положення циліндричного елемента в узагальненій системі координат задається координатами центра  $C_0$  допоміжної системи координат  $X_0, Y_0, Z_0$  і кутами повороту її осей. Тому число первинних похибок розташування циліндричного елемента в узагальненій системі координат може бути дорівнює 6-ти.

Первинні похибки циліндричного елемента: лінійні погрішності –  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  (зсув допоміжної системи координат  $\Delta \bar{e}$ ); кутові похибки –  $\Delta \alpha, \Delta \beta, \Delta \gamma$  (поворот системи координат). У допоміжній системі координат – відхилення форми  $\Delta f$  і відхилення власного розміру  $\Delta d$ .

Первинні похибки деталі відраховуються в узагальненій системі координат:

1. Положення осей узагальненої системи координат визначають конструкторські бази з найбільшим числом позбавляючих ступенів свободи;
2. Початок координат узагальненої системи вибирають на перетині конструкторських баз;
3. Якщо допоміжні конструкторські бази повинні забезпечувати більш високу точність розташування деталей, що приєднуються, чим основні конструкторські бази, то осі узагальненої системи координат необхідно сполучати з допоміжними базами.

Після вибору узагальненої системи координат визначають первинні похибки, які складаються з:

- первинних похибок розташування елементів деталі, які характеризують відхилення елементів від номінального, тобто правильного геометричного розташування;
- первинних похибок розмірів елементів деталі, які характеризують відхилення розмірів, елементів, що прилягають, номінальної геометричної форми;
- первинних похибок форми, які характеризують відхилення реальної форми поверхонь елементів від правильної геометричної, або номінальної форми.

## Приклад виконання роботи

На рис. 9.6 приведена деталь типу «багатоступінчатий вал». Аналіз складального креслення показав, що спряження вала з іншими деталями здійснюється по поверхням 2-4, торцеві поверхні 1 і 5 є вільними від спряження і визначає габарити деталі (таблиця 9.1).

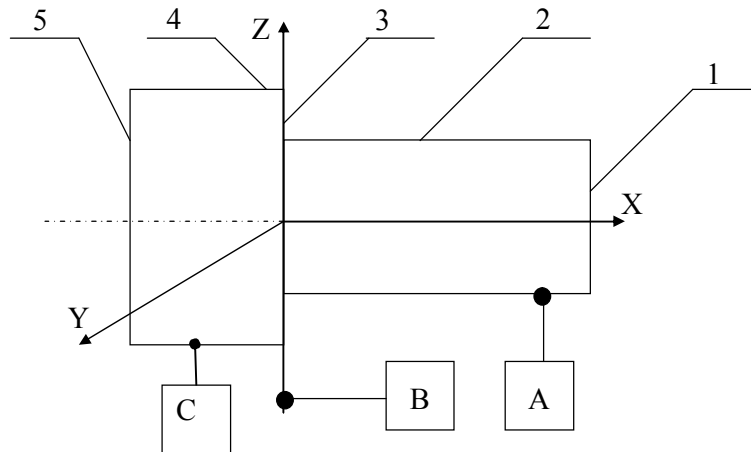


Рис. 9.6 Деталь типу «багатоступінчатий вал»

Функціональне призначення деталі – передача крутячого моменту зубчастому колесу, спряженому поверхням 2 і 3, отже, вони є конструкторськими базами, що позбавляють деталь 5 ступенів свободи (6 ступінь свободи – обертання навколо вісі  $X$ ).

Таблиця 9.1

Аналіз складального креслення

№	Найменування елемента (поверхні)	Класифікаційна ознака	Вказівка базового елемента	Число позбавлених мір свободи
1	Плоский	неробочий	–	–
2	Циліндричний	робочий	База А	4
3	Плоский	робочий	База В	1
4	Циліндричний	робочий	База С	4
5	Плоский	неробочий	–	–

При виготовленні такого валу завжди виникають технологічні похибки зміщення отриманих поверхонь деталі відносно головної, центральної осі валу  $X$ , яку задає головна його поверхня –  $A$ , де центрується зубчасте колесо, а також геометричні похибки поверхонь, як відхилення від геометричних образів з якими вони ототожнюються. Таки можливі похибки виготовлення валу показані на рис 9.7.

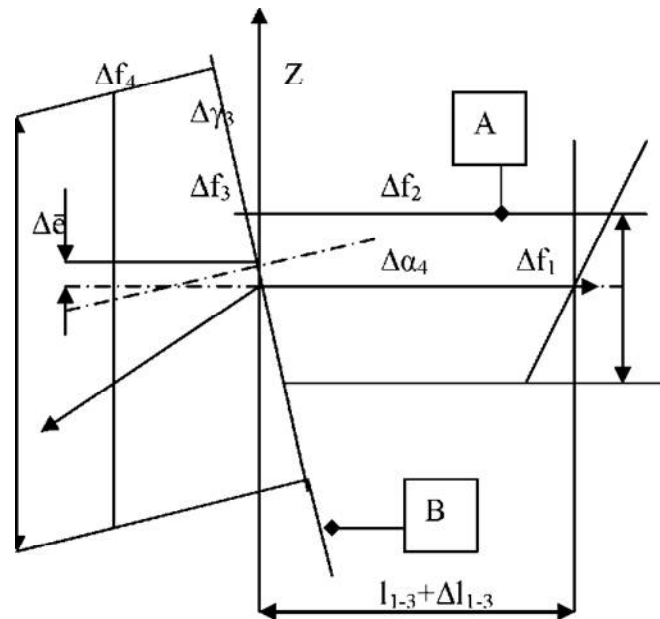


Рис. 9.7 Реальний ескіз деталі

В таблиці 9.2 позначено:

- $\Delta f_1; \Delta f_2; \Delta f_3; \Delta f_4$  – геометричні похибки форми поверхонь;
- $\Delta \gamma_1; \Delta \gamma_3; \Delta \alpha_4$  – кутові похибки поверхонь відносно головної, центральної, горизонтальної осі, яку задає поверхня  $A$ ;
- $\Delta d_2; \Delta d_4$  – розмірні похибки виготовлення діаметрів валу;
- $\Delta l_{1-3}$  – розмірна похибка виготовлення розміру  $l_{1-3}$ ;
- $\Delta e_4$  – можлива похибка зміщення осі діаметральної поверхні  $C$ , як ексцентриситет її відносно центральної осі.

## Первинні похибки поверхонь

№	Найменування елемента (поверхні)	Первинні похибки	Примітки
1	Плоский	$\Delta f_1; \Delta \gamma_1;$	–
2	Циліндричний	$\Delta f_2; \Delta d_2;$	База А
3	Плоский	$\Delta f_3; \Delta \gamma_3; \Delta l_{1-3};$	База В
4	Циліндричний	$\Delta f_4; \Delta e_4; \Delta \alpha_4; \Delta d_4;$	–

Для призначення норм точності з урахуванням виявлених відхилень форми і розміщення поверхонь (рис.9.8) скористаємося рекомендаціями таблиці 9.6, а також попереднім аналізом системи контролю заявлених вимог.

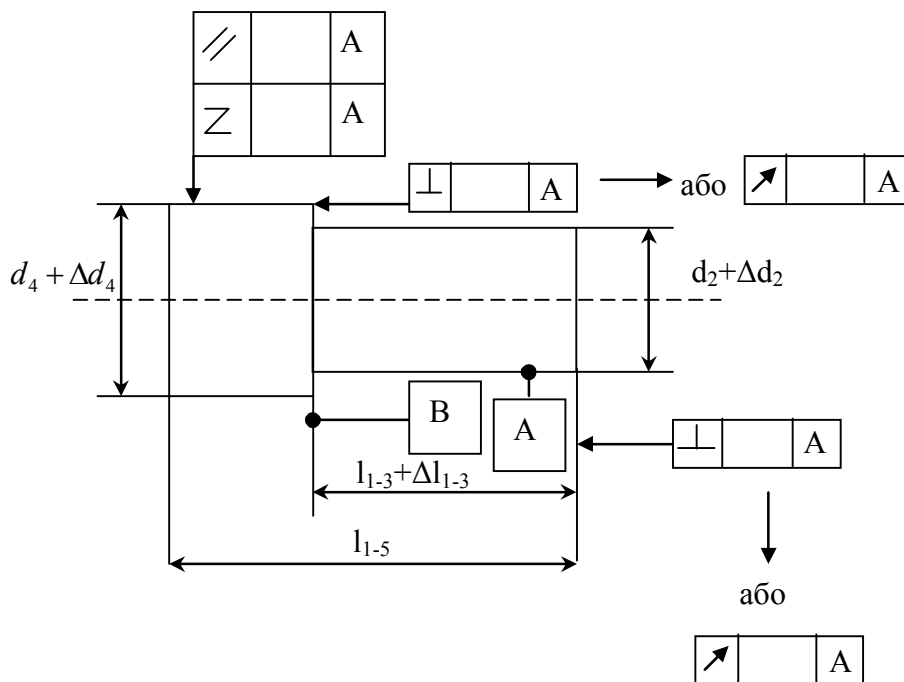


Рис. 9.8 Приклад позначення похибок форми деталі

В таблиці 9.3 показано обґрунтування вибраних допусків, враховуючих первісні похибки елементів деталі.



## Обґрунтування вибраних допусків

№	Найменування елемента (поверхні)	Первинні похибки	Допуски
1	Плоский	$\Delta f_1$	Торцеве биття
		$\Delta \gamma_1$	
2	Циліндричний	$\Delta f_2$	Допуск діаметра (включає допуск форми)
		$\Delta d_2$	
3	Плоский	$\Delta \gamma_3$	Торцеве биття
		$\Delta f_3$	Допуск лінійного розміру (включає допуск форми)
		$\Delta l_{1-3}$	
4	Циліндричний	$\Delta \alpha_4$	Допуск паралельності
		$\Delta e_4$	Радіальне биття
		$\Delta f_4$	Допуск діаметра (включає допуск форми)
		$\Delta d_4$	

Висновок: на основі проведеного точнісного аналізу були визначені конструкторські бази; проведено розбиття деталі на елементи (поверхні); виділені первинні похибки; підібраний і обґрунтований перелік норм точності (допусків), обмежуючих вплив первинних похибок.

Звіт про роботу виконується у відповідності з загальними вимогами (формат А4, титульний лист і т.д.).

## Завдання до виконання

1. Ознайомитись зі змістом загальних положень.
2. Вибрати об'єкт дослідження по запропонованому викладачем складальному кресленню.
3. Визначити базові поверхні, які обмежують рух об'єкта у просторі.

4. В узагальненій системі координат, визначеній конструкторськими базами, виконати креслення об'єкта з указанням всіх поверхонь (елементів), а також з умовним позначенням баз.

5. Провести структурний аналіз усіх елементів об'єкта і по результатам роботи, заповнити таблицю 9.4.

Таблиця 9.4

Структурний аналіз елементів об'єкта

№	Найменування елемента (поверхні)	Класифікаційна ознака	Вказівка базового елемента	Число позбавлених ступенів свободи

6. Зобразити реальний об'єкт в узагальненій системі координат з вказанням первинних похибок робочих елементів і по результатам роботи заповнити таблицю 9.5.

Таблиця 9.5






Похибки робочих елементів

№	Найменування елемента (поверхні)	Первинні похибки	Примітки

7. Використовуючи рекомендації, приведені в таблиці 9.6 здійснити призначення норм точності і виконати креслення об'єкта (деталі) з вказанням відхилень форм і розміщення поверхонь.

Таблиця 9.6

## Визначення норм точності та відхилень форм деталей

№	Первинні похибки	Відхилення	Позначення
1	Похибка форми:		
1.1	для циліндричних елементів	Відхилення від циліндричності	
1.2	для плоских елементів	Відхилення від площинності	
2.1	Похибки розміру	Позиційне відхилення	
2.2	Ексцентриситет		
2.3	Перекіс осей		
3.1	Ексцентриситет	Відхилення співвісності відносно базової осі	
3.2	Перекіс осей		
4.1	Ексцентриситет	Радіальне биття	
4.2	Перекіс осей		
4.3	Відхилення форми		
5	Перекіс плоскостей	Відхилення від перпендикулярності; від паралельності	

## ЛІТЕРАТУРА

1. Анухин В.И. Допуски и посадки: Учебное пособие. 3-е издание / В.И. Анухин. – СПб.: Питер, 2004. – 207 с.
2. Берков В.И. Технические измерения (альбом) / В.И. Берков. – М.: Высш. шк., 1977 – 232с.
3. Берков В.И. Технические измерения (альбом): Учеб. пособие для СПТУ. 4-е изд., испр. и доп. / В.И. Берков. – М.: Высш. шк., 1988. – 128 с.
4. Боженко Л.І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні: Навч. посібни / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 2003. – 328 с.
5. Болдин Л.А. Основы взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении / Л.А. Болдин. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
6. Васильев А.С. Основы метрологии и технические измерения: Учеб. пособие. 2-е издание, переработанное и дополненное / А.С. Васильев. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.
7. Ганевский Г.М. Допуски, посадки и технические измерения в машиностроении / Г.М.Ганевский, И.И. Гольдин. – М.: Высш. шк., 1987, – 270 с.
8. Дудников А.А. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / А.А. Дудников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 176 с.
9. Желєзна А.М. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник / А.М. Желєзна, В.А. Кирилович. – К.: Кондор, 2004. – 796 с.

10. Казанчан А.К. Ділова документація у вищій школі: Навчально-методичний посібник / А.К. Казанчан, О.В. Мішуков. – Херсон: Айлант, 1999. – 230 с.
11. Кирилюк Ю.Є. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: Підручник / Ю.Є. Кирилюк, Г.К. Якимчук, Ю.М. Бугай. – К.: Основа, 2003. – 212 с.
12. Козловский Н.С., Виноградов А.Н. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / Н.С. Козловский, А.Н. Виноградов. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.
13. Кострицкий В.Г. Контрольно-измерительные инструменты и приборы в машиностроении / В.Г. Кострицкий и др. – К.: Техника, 1986. – 135 с.
14. Купряков Е.М. Стандартизация и качество промышленной продукции / Е.М. Купряков. – М.: Высш. шк., 1985. – 288 с.
15. Романов А.Б. Справочная книга по точности и контролю / А.Б. Романов. – Л.: Лениздат, 1984. – 191 с.
16. Саранча Г.А. Метрологія, стандартизація та управління якістю: Підручник / Г.А. Саранча, Г.К. Якимчук. – К.: Основа, 2004. – 376 с.
17. Серый И.С. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / И.С. Серый. – М.: Машиностроение, 1987, – 352 с.
18. Справочник контролера машиностроительного завода / Под. ред. Якушева А.И. – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.
19. Цюцюра В.Д., Цюцюра С.В. Метрологія та основи вимірювань: Навч. посіб. / В.Д. Цюцюра, С.В. Цюцюра. – К.: Знання – Прес, 2003. – 180 с.
20. Якушев А.И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А.И. Якушев и др. – М.: Агропромиздат, 1987. – 352 с.