

ЗМІСТОВНИЙ МОДУЛЬ 1. ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХПРОЦЕСІВ

ПРАКТИЧНА РОБОТА 1.

ТЕМА. Побудова та аналіз кривих розсіювання розмірів партії деталей.

МЕТА. Отримання практичних навичок побудови кривих розсіювання розмірів, визначення параметрів розсіювання та оцінки точності технологічного процесу.

ОБЛАДНАННЯ

- Калькулятор;
- Міліметровий папір або програмне забезпечення для побудови графіків;
- Набір вимірних розмірів партії деталей (25–50 шт.).

ЛІТЕРАТУРА

1. [Теоретичні основи технології виробництва деталей і складання виробів.](#)
2. [Основи взаємозамінності. Розрахунок розмірних ланцюгів.](#)

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Розсіювання розмірів — це відхилення фактичних розмірів деталей від номінального значення, яке виникає внаслідок похибок технологічного процесу.

Крива розсіювання — це графічне зображення частоти появи розмірів у партії деталей.

Параметри розсіювання:

- **середнє значення** — арифметичне середнє всіх вимірних розмірів;
- **середнє квадратичне відхилення** — міра розсіювання розмірів відносно середнього значення;
- **поле розсіювання** — різниця між максимальним і мінімальним розмірами.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ

Такі розрахунки потрібні для того, щоб зазирнути в майбутнє виробництва і за декількома детальками дізнатися, чи не випустить завод тисячі штук браку.

Це головний інструмент **технічного контролю**, який дозволяє побачити брак ще до того, як він з'явиться

Крива розсіювання може показати прихований брак, **якщо запустити конвеєр на повну, кожна 20-та деталь буде бракованою**. Форма кривої — це діагноз для обладнання та технології «хворіє» верстат чи працівник:

- **Крива занадто широка (розпластана):** Верстат розхитаний, інструмент тупий або метал йде різної твердості. Процес нестабільний, точність погана.
- **Крива вузька і гостра (як шпиль):** Верстат працює ідеально, технологія відмінна.
- **Пік кривої зсунувся вбік:** Верстат просто неправильно налаштували (наприклад, різцевий блок змістився на 0.05 мм). Потрібно зупинити роботу і підкрутити лімби.

Задача технолога: визначити економічну вигоду - не переплачувати за занадто дороге обладнання.

- Якщо крива набагато вужча, ніж вимагає креслення, це означає, що деталь виконана із «космічною» точністю там, де цього не потрібно – тому потрібно деталь переставити на дешевший і простіший верстат, а дорогий звільнити для складніших завдань.

- Якщо ви робите вали, а інший завод робить отвори (підшипники), то завдяки цим кривим можна чітко розрахувати: чи зберуться вони разом без шліфування та підпилювання напилком на конвеєрі. Якщо криві обох деталей правильні — збирання буде легким і швидким.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ

1. Збір даних та розрахунок

- 1.1 Вимірювання партії деталей
- 1.2. Розрахунок середньої величини розміру деталі $\bar{X}$
- 1.3. Обчислюється середньо квадратичного відхилення (σ)- показника стабільності верстата.
- 1.4. Визначення меж 3σ - зону практичного розсіяння, в яку мають вклатися майже всі деталі партії.

2. Побудова кривої

Весь діапазон значень (від найменшої деталі до найбільшої) поділити на інтервали, т.т. по кілька деталей в кожному інтервалі.

На **осі X** відкладають розміри деталей (мм).

На **осі Y** — частоту (кількість деталей у кожному інтервалі).

Отримані точки поєднуються лінією (крива Гаусса) та наносяться верхнє та нижнє граничні значення розміру за кресленням ($D_{\max}$ та $D_{\min}$).

3. Інженерний аналіз

Головне завдання студента — порівняти отриману криву з полем допуску креслення і зробити один із трьох висновків:

- **Процес точний і налагоджений:** крива повністю поміщається всередині поля допуску, а її пік знаходиться по центру. Верстат справний, наладка правильна.

- **Зсув процесу (систематична помилка):** Крива вузька (верстат точний), але її пік зміщений ліворуч або праворуч відносно центру допуску.

Технологічне рішення: Зупинити процес і підналагодити верстат (змінити положення різального інструменту).

- **Недостатня точність (випадкова помилка):** Крива занадто широка, а її краї виходять за межі допуску з обох боків.

Технологічне рішення: Цей верстат занадто старий чи неточний для цієї операції. Потрібно змінити технологію: перенести операцію на точніше обладнання (наприклад, замінити чистове точіння на шліфування).

ПРИКЛАД

Розглянемо приклад розрахунку кривої розсіяння партії з 10 деталей

Якщо деталь має номінальний розмір **20,00 мм**. Після вимірювання 10 випадкових деталей отримали наступні розміри:

20.02, 19.98, 20.05, 20.00, 19.97, 20.01, 20.03, 19.99, 20.04, 19.92



Примітка: на практиці беруть 50–100, але для зрозумілості математики обмежимося десятьма.

1. Розрахунок середнього значення ($\bar{x}$)

Додаємо всі значення та ділимо на їх кількість ($(n = 10)$):

$$\bar{x} = \frac{20.02 + 19.98 + 20.05 + 20.00 + 19.97 + 20.01 + 20.03 + 19.99 + 20.04 + 19.92}{10}$$

$$X_{сер} = 20,001$$

Висновок: Центр розподілу майже ідеально збігається з номіналом (20,00 мм).

2. Розрахунок середнього квадратичного відхилення (σ)

Шукаємо різницю між кожним розміром і середнім значенням (20.001), підносимо до квадрата та додаємо їх:

- $(20.02 - 20.001)^2 = 0.000361$
- $(19.98 - 20.001)^2 = 0.000441$
- ...і так далі для всіх 10 чисел.

Сума всіх квадратів відхилень дорівнює **0.013290**.

Тепер рахуємо σ (ділимо на (n-1), тобто на 9, і добуваємо корінь):

$$\sigma = \sqrt{\frac{0.013290}{10-1}} = \sqrt{0.001477} \approx 0.0384 \text{ мм}$$

3. Розрахунок точок для кривої

Щоб побудувати плавну криву Гаусса, береться стандартна формула висоти кривої (Y). Оскільки вибірка маленька (n=10), для зручності побудови графіку розрахуємо чисту щільність розподілу (висоту ординат) для 5 ключових точок на осі X.

Принцип вибору 5 точок базується на властивостях нормального розподілу (законі Гаусса) та геометрії кривої. Знаходимо координати головних (переломних) точок:

Центральна точка (пік кривої): Розмір дорівнює точно середньому значенню ($X_{сер}$).

Дві точки перегину розраховуються як $\pm\sigma$ ($X_{сер} + \sigma$ та $X_{сер} - \sigma$).

Дві точки схилу розраховуються як $\pm 2\sigma$ ($X_{сер} + 2\sigma$ та $X_{сер} - 2\sigma$)

Розрахуємо чисту щільність розподілу (висоту ординат) для 5 ключових точок на осі X та будуємо криву розсіювання розмірів партії деталей:

№	Розмір на осі X (Розмір, мм)	t	phi(t)	Висота кривої (Y) Y = phi(t) : sigma
1	20.001 (Центр)	0	0.3989	0.3989 : 0.038 = 10.5
2	20.039 (Правий)	+1	0.2420	0.2420 : 0.038 = 6.4
3	19.963 (Лівий)	-1	0.2420	0.2420 : 0.038 = 6.4
4	20.077 (Пр. край)	+2	0.0540	0.0540 : 0.038 = 1.4
5	19.925 (Лів. край)	-2	0.0540	0.0540 : 0.038 = 1.4



4. Інженерний аналіз

За кресленням допуск на деталь становить **20.00 ± 0.50 мм**.

(на графіку позначаємо вертикальними лініями межі допуску)

- Нижня межа: **19.50 мм**
- Верхня межа: **20.50 мм**



Висновок:

На графіку видно, що вся побудована крива розсіювання (від **19.925** до **20.077** мм) повністю й із великим запасом поміщається всередині ліній допуску (між **19.50** та **20.50** мм).

Це означає, що:

1. Даний верстат має високу точність і стабільність роботи для цієї операції.
2. Центр налаштування верстата (20.001 мм) практично ідеально збігається з номіналом креслення.
3. Поява браку у цій партії деталей повністю виключена. Технологічний процес є надійним.

ЗАВДАННЯ

1. Обрати індивідуальний варіант.
2. Визначити середнє значення розміру.
3. Визначити середнє квадратичне відхилення.
4. Побудувати криву розсіювання розмірів партії деталей.
5. Визначити поле розсіювання.
6. Зробити висновок про точність технологічного процесу.

Таблиця 1.1 – Визначення індивідуального варіанта

Передостання цифра інд.номера	Остання цифра індивідуального номера за журналом									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
2	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
3	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
4	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
6	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
7	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
8	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
0	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4

Таблиця 1.2 – Індивідуальне завдання, до практичної роботи

Варіант №	Розмір за кресленням, мм	Результати вимірювань 10 деталей, мм
1	15 ± 0.40	15.01, 14.97, 15.03, 14.99, 15.02, 14.96, 15.00, 15.04, 14.98, 15.01
2	30 ± 0.06	30.08, 30.11, 30.05, 30.09, 30.07, 30.12, 30.06, 30.10, 30.04, 30.08
3	45 ± 0.03	45.05, 44.94, 45.02, 44.97, 45.06, 44.92, 45.01, 44.95, 45.04, 44.99
4	25 ± 0.25	25.01, 24.99, 25.00, 25.02, 24.99, 25.01, 25.00, 24.98, 25.01, 25.00

ФОРМА ЗВІТУ

1. Тема та мета роботи.
2. Таблицю вимірюваних розмірів.
3. Розрахунок середнього значення та середнього квадратичного відхилення.

4. Крива розсіювання розмірів партії деталей.
5. Визначення поля розсіювання.
6. Висновки.

ПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Що таке розсіювання розмірів?
2. Як визначається середнє квадратичне відхилення?
3. Чим відрізняється гістограма від кривої нормального розподілу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА 2

ТЕМА. Розрахунок лінійних технологічних розмірних ланцюгів.

МЕТА. Отримання практичних навичок розрахунку лінійних технологічних розмірних ланцюгів методом максимум-мінімум.

ОБЛАДНАННЯ

- Калькулятор;
- Довідник з допусків і посадок;
- Креслення деталі з розмірами.

ЛІТЕРАТУРА

1. [Розмірні ланцюги. Навчально-методичний посібник.](#)
2. [Розрахунок розмірних ланцюгів методами максимум-мінімум та ймовірним.](#)

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Лінійний технологічний розмірний ланцюг — це розмірний ланцюг, усі ланки якого розташовані на одній прямій.

Метод максимум-мінімум ґрунтується на рівнянні:

$$A_{\Delta} = \sum A_{зб} - \sum A_{зм}$$

Допуск замикаючої ланки:

$$T_{\Delta} = \sum T_i, \text{ де } T_i \text{ — допуски всіх ланок.}$$

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ

Розмірний ланцюг показує, як похибка кожного технологічного розміру (від різних установів, переходів, баз) підсумовується і впливає на кінцевий, замикаючий розмір — той, що безпосередньо потрібен для функціонування деталі (наприклад, зазор між торцем і буртиком).

Якщо не порахувати ланцюг — можна:

- закласти зайвий запас точності там, де він не потрібен → подорожчання обробки, зайві операції шліфування там, де вистачило б точіння;
- або навпаки, не закласти достатньо → деталь після обробки не проходить контроль, зазор/натяг виходить за межі допуску, і партія йде в брак.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ

1. Для розмірів складальної одиниці (рис. 2.1, табл. 2.1. і 2.2) будемо розмірний ланцюг.

- Визначаємо номінальне значення, граничні відхилення, граничні розміри і допуск замикаючої ланки.
- Розраховуємо за методом максимум-мінімум.

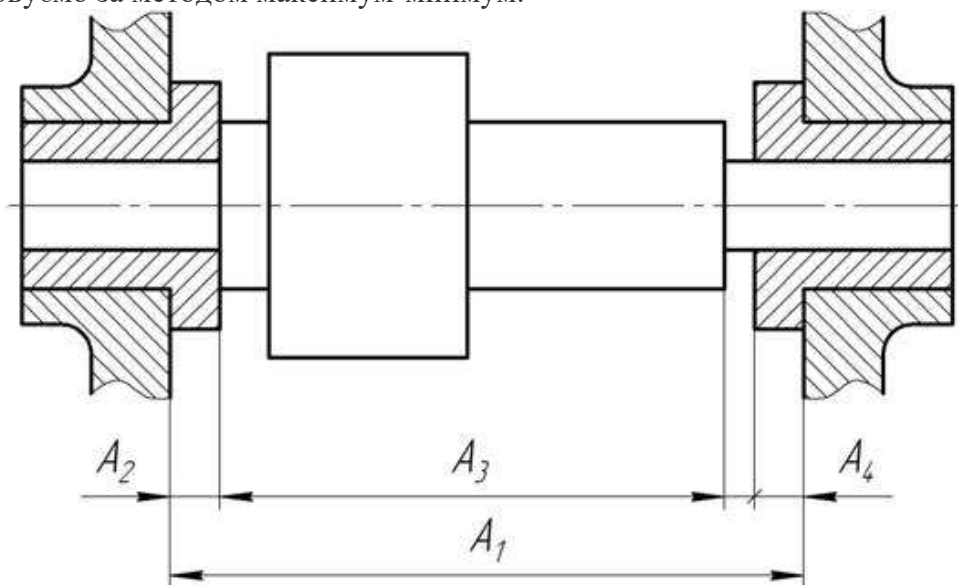


Рис. 2.1. Ескіз складальної одиниці

Таблиця 7.1. Варіанти до виконання практичної роботи

Передостання цифра індивідуального номера за журналом	Розмір, мм		
	A_1	$A_2=A_4$	A_3
0	200	9	180
1	120	7	105
2	80	5	68
3	50	4	40
4	180	8	162
5	250	10	228
6	315	9	295
7	400	12	375
8	30	3	23
9	18	2	13

Таблиця 7.2. Завдання до виконання практичної роботи

Остання цифра індивідуального номера за журналом	Умове позначення поля допуску розміру		
	A_1	$A_2=A_4$	A_3
0	Js12	h12	h10
1	H10	js9	h9
2	h11	h12	js11
3	H9	js10	h8
4	H14	js14	h13
5	Js8	h8	h9
6	H12	js12	h11
7	H14	h14	js13
8	Js10	h10	h11
9	H8	js8	h7

ПРИКЛАД

1. Виконаємо ескіз складальної одиниці. Проставимо розміри та допуски згідно завдання до практичної роботи.

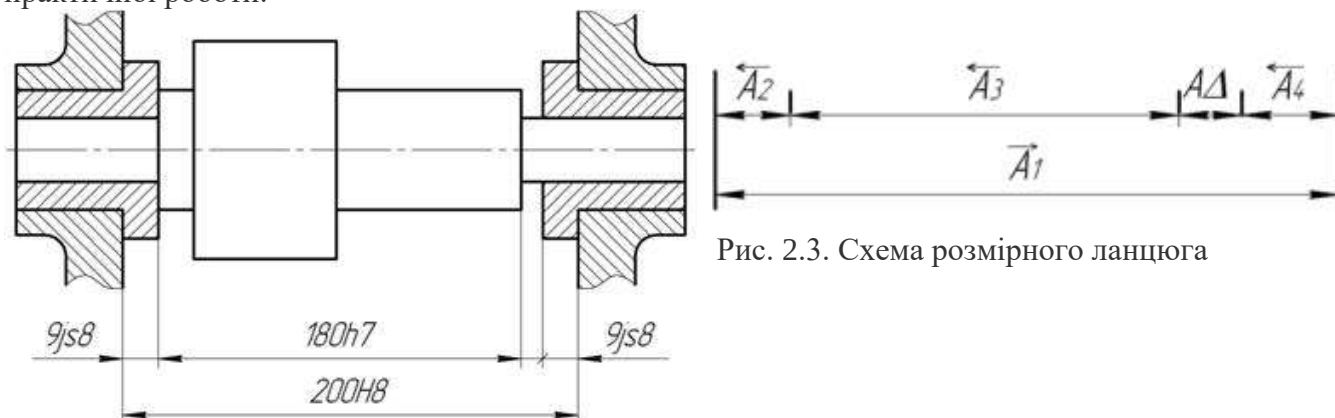


Рис. 2.3. Схема розмірного ланцюга

Рис 2.2. Складальна одиниця з проставленими розмірами та допусками

2. За ДСТУ ISO 286-1-2002, або з додатків вибираємо граничні відхилення розмірів:

$$200H8^{+0,072}_0;$$

$$9js8^{+0,011}_{-0,011};$$

$$180h7_{-0,040}^0;$$

Будуємо розмірний ланцюг, який викреслюється без масштабу (див. рис. 7.3).

$\vec{A}_1$ – замикаюча ланка;

$\vec{A}_2, \vec{A}_3, \vec{A}_4$ – зменшуючі ланки;

$\vec{A}_1$ – збільшуюча ланка.

$$\vec{A}_1 = 200 \text{ і і}; \quad ESA_1 = +0,072 \text{ і і}; \quad EIA_1 = 0;$$

$$\vec{A}_2 = A_2 = 9 \text{ і і}; \quad es_{A2} = +0,011; \quad ei_{A2} = -0,011 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_3 = 180 \text{ і і}; \quad es_{A3} = 0; \quad ei_{A3} = -0,040 \text{ і і};$$

3. Розраховуємо номінальний розмір замикаючої ланки:

$$\vec{A}_1 = \vec{A}_1 - (\vec{A}_2 + \vec{A}_3 + \vec{A}_4) = 200 - (9 + 180 + 9) = 2 \text{ і і};$$

Розрахуємо граничні розміри складових (збільшуючих і зменшуючих) ланок:

$$\vec{A}_1^{\max} = A_1 + ESA_1 = 200 + 0,072 = 200,072 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_1^{\min} = A_1 + EIA_1 = 200 + 0 = 200,000 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_2^{\max} = A_2 + es_{A2} = 9 + 0,011 = 9,011 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_2^{\min} = A_2 + ei_{A2} = 9 + (-0,011) = 8,989 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_3^{\max} = A_3 + es_{A3} = 180 + 0 = 180,000 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_3^{\min} = A_3 + ei_{A3} = 180 + (-0,040) = 179,960 \text{ і і};$$

$$\vec{A}_4^{\max} = A_4 + es_{A4} = 9 + 0,011 = 9,011 \text{ і і};$$

$$A_2^{\min} = A_2 + ei_{A2} = 9 + (-0,011) = 8,989 \text{ i} ;$$

4. Розрахуємо допуски складових ланок.

$$TA_1 = A_1^{\max} - A_1^{\min} = 200,072 - 200,000 = 0,072 \text{ i} ;$$

або:

$$TA_1 = ES_{A1} - EI_{A1} = 0,072 - 0 = 0,072 \text{ i} ;$$

$$TA_2 = A_2^{\max} - A_2^{\min} = 9,011 - 8,989 = 0,022 \text{ i} ;$$

або:

$$TA_2 = es_{A2} - ei_{A2} = 0,011 - (-0,011) = 0,022 \text{ i} ;$$

$$TA_3 = A_3^{\max} - A_3^{\min} = 180,0 - 179,960 = 0,040 \text{ i} ;$$

або:

$$TA_3 = es_{A3} - ei_{A3} = 0 - (-0,040) = 0,040 \text{ i} ;$$

$$TA_4 = A_4^{\max} - A_4^{\min} = 9,011 - 8,989 = 0,022 \text{ i} ;$$

або:

$$TA_4 = es_{A4} - ei_{A4} = 0,011 - (-0,011) = 0,022 \text{ i} ;$$

5. Розрахуємо граничні розміри замикаючої ланки.

$$A_2^{\max} = A_2^{\max} - (A_2^{\min} + A_3^{\min} + A_4^{\min}) = 200,072 - (8,989 + 179,960 + 8,989) = 2,134 \text{ i} ;$$

$$A_2^{\min} = A_2^{\min} - (A_2^{\max} + A_3^{\max} + A_4^{\max}) = 200,000 - (9,011 + 180,000 + 9,011) = 1,978 \text{ i} ;$$

6. Розрахуємо граничні відхилення замикаючої ланки:

$$ESA_2 = A_2^{\max} - A_2 = 2,134 - 2 = +0,134 \text{ i} ;$$

$$ELA_2 = A_2^{\min} - A_2 = 1,978 - 2 = -0,022 \text{ i} ;$$

Граничні відхилення також можна визначити шляхом заміни у вище наведених формулах

значень $A_2^{\max}$, $A_2^{\min}$ та A_2 і виконати ряд перетворень, то отримаємо наступні вирази:

$$ESA_2 = ES_{A1} - (ei_{A2} + ei_{A3} + ei_{A4}) = 0,072 - (-0,011 - 0,040 - 0,011) = +0,134 \text{ i} ;$$

$$ELA_2 = EI_{A1} - (es_{A2} + es_{A3} + es_{A4}) = 0 - (+0,011 + 0 + 0,011) = -0,022 \text{ i} ;$$

Таким чином верхнє граничне відхилення замикаючої ланки обчислюється як різниця між сумою верхніх відхилень збільшуючих ланок і сумою нижніх відхилень зменшуючих ланок.

Нижнє граничне відхилення замикаючої ланки обчислюється як різниця між сумою нижніх відхилень збільшуючих ланок замикаючих ланок і сумою верхніх відхилень зменшуючих ланок.

7. Розрахуємо допуск замикаючої ланки:

$$TA_2 = A_2^{\max} - A_2^{\min} = 2,134 - (-1,978) = 0,156 \text{ i} ;$$

Або:

$$TA_2 = ESA_2 - ELA_2 = 0,134 - (-0,022) = 0,156 \text{ i} ;$$

Допуск замикаючої ланки також визначається як сума допусків всіх складових ланок:

$$TA_2 = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 = 0,072 + 0,022 + 0,040 + 0,022 = 0,156 \text{ i} ;$$

Відповідно, розмір замикаючої ланки рівний: $A_2 = 2^{+0,134}_{-0,022}$.

Таблиця 2.3. Зведена таблиця розрахунків

Замикаюча ланка	Верхнє відхилення замикаючої ланки	Нижнє відхилення замикаючої ланки	Допуск замикаючої ланки
$A_2 = 2 \text{ і і}$	$ESA_2 = 0,134 \text{ і і}$	$EIA_2 = -0,022 \text{ і і}$	$TA_2 = 0,156 \text{ і і}$

ЗАВДАННЯ

1. Визначити вихідні данні креслення деталі з розмірами.
2. Накреслити ескіз деталі
3. Накреслити схему розмірного ланцюга.
4. Визначити збільшувальні та зменшувальні ланки.
5. Скласти рівняння розмірного ланцюга.
6. Визначити номінальні розміри ланок.
7. Визначити допуски ланок за довідником.
8. Перевірити правильність розрахунку.
9. Зробити висновок.

ПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ

1. Що таке лінійний технологічний розмірний ланцюг?
2. Як визначається замикаюча ланка?
3. Яка формула методу максимум-мінімум?