



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ**

**ТЕРНОПЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ІВАНА ПУЛЮЯ**

**КАФЕДРА ІНЖИНІРИНГУ МАШИНОБУДІВНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для практичних занять та самостійної
роботи з дисципліни
«ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ
МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВ»

**«ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ
МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ ТА
ТЕОРІЇ ЙМОВІРНОСТІ»**

для підготовки здобувачів вищої освіти усіх
форм навчання в
галузі знань «МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ»
освітнього рівня «бакалавр» спеціальності
131 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»

Тернопіль

2022

УКЛАДАЧІ:

**ПАЛИВОДА Ю. Є., КАНД. ТЕХН. НАУК, ПРОФЕСОР;
ДЯЧУН А. Є., КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦЕНТ.**

РЕЦЕНЗЕНТ Ч. В. ПУЛЬКА, ДОКТ. ТЕХН. НАУК, ПРОФЕСОР

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні
кафедри інжинірингу машинобудівних технологій
Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.
Протокол № 12 від 16 червня 2022 р.

Схвалено та рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради факультету
інженерії машин, споруд та технологій
Тернопільського національно технічного університету імені Івана Пулюя
Протокол №8 від 22 червня 2022 р.

Відповідальний за випуск: канд. техн. наук, професор **ПАЛИВОДА Ю. Є.**

Паливода Ю. Є. Дослідження технологічних процесів за допомогою методів математичної статистики та теорії ймовірності. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. – 33 с.

Навчальні плани та програми спеціальності 131 Прикладна механіка передбачають вивчення методології проектування технологічних процесів на основі сучасних методів оброблення інформації та застосування математичного апарату для контролю і керування якістю продукції. Крім цього, в навчальних програмах виділяється значна частина часу на самостійну підготовку студентів, тому навчальний процес повинен бути в достатній мірі забезпечений сучасним інформаційним матеріалом. В даних методичних вказівках викладена методологія застосування ймовірнісно-статистичних методів при аналізі точності обробки та прогнозуванні виконання технологічного процесу.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 4 |
| МЕТА РОБОТИ | 5 |
| ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ | 5 |
| ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ | 17 |
| ПРИЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ..... | 18 |
| ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ... | 24 |
| ДОДАТОК А | 26 |
| ДОДАТОК Б..... | 27 |
| ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ | 32 |
| ЛІТЕРАТУРА | 33 |

ВСТУП

Методичні вказівки розроблено відповідно до робочої програми з курсу «Технології та устаткування машинобудівних виробництв» для підготовки студентів усіх форм навчання в галузі знань «**МЕХАНІЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**» освітнього рівня «бакалавр» спеціальності **131 «ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА»**.

Для набуття фаху студенти повинні володіти практичним досвідом у застосуванні методів аналізу і контролю точності оброблення та виконання технологічного процесу. Також фахівці повинні мати навички регулювання технологічних процесів, визначати періоди налагодження та підналагодження технологічного устаткування.

В методичних вказівках приводиться методика застосування ймовірнісно-статистичних методів для оцінки і прогнозування точності при механічному обробленні, які часто застосовуються в сучасному машинобудуванні.

МЕТА РОБОТИ

Метою роботи є визначення точності механічної обробки на основі теорії ймовірності і математичної статистики.

ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ

На точність механічного оброблення впливає ряд факторів: недостатня точність верстатів і пристосувань; граничне зношення їх робочих органів; вібрації; фізико-механічні ефекти у процесі оброблення та інші. Деякі з цих факторів обумовлюють виникнення систематичних похибок, які мають постійний або змінний характер.

Систематичні похибки не змінюються при обробленні однієї чи декількох партій деталей, вони виникають під впливом постійно діючих факторів. Наприклад, неперпендикулярність шпинделя верстата площині стола у вертикально-свердлильному верстаті; зміщення центрів на токарному верстаті та ін.

Систематичні похибки можна виміряти й усунути відповідним регулюванням і налагодженням.

Систематичні закономірно змінні похибки можуть впливати на точність оброблення безперервно або періодично. Прикладом систематичної похибки, що виникає безперервно є зношення різального інструменту. Прикладом систематичних періодично діючих похибок можуть бути похибки, викликані тепловими деформаціями системи верстат-пристосування-інструмент-деталь.

Крім цих похибок виникають і випадкові похибки. Вони обумовлені впливом великої кількості не пов'язаних між собою факторів. Наприклад, зміна фізико-механічних властивостей матеріалу за довжиною оброблюваної поверхні, виникнення пружних деформацій під дією сил різання і т.п.

Визначити попередньо появу випадкових похибок і їхню величину неможливо, тому що вони носять випадковий характер.

Такі похибки обумовлюють різні розміри деталей у партії. Величина

розміру деталей, як випадкова величина, змінюється в межах поля допуску. Це означає, що має місце розсіювання розмірів в межах поля допуску і цим характеризується точність технологічної операції.

Характер розсіювання емпіричних значень випадкової величини у більшості випадків приблизно відповідає певному теоретичному закону розподілу випадкових величин. Наприклад, розсіювання значень ексцентриситетів, неспіввісності, радіальне і торцеве биття, відхилення від паралельності чи перпендикулярності двох площин (чи вісі та площини) і подібних величин, які можуть мати лише випадкові значення, може відповідати закону ексцентриситету або закону Максвела (рис. 1).

Розсіювання відмов (порушення працездатності) машин найчастіше відповідає закону Вейбулла або експоненціальному закону (рис. 2). Якщо на величину отриманого розміру деталі впливає домінуюча, систематична, рівномірно зростаюча похибка (наприклад, зношення інструменту за лінійним законом), то розподіл розмірів, як випадкових величин, відповідає закону рівних ймовірностей (рис. 3). Якщо ж на отримуваний розмір впливають два домінуючих фактори, що рівномірно змінюється в часі, (наприклад, сумісна дія розмірного зношування інструменту і зростання сили різання), то розподіл розмірів проходить за законом трикутника або законом Сімпсона (рис. 4). Розсіювання значень випадкової величини, зміна якої залежить від великої кількості факторів, коли ні один із факторів не є домінуючим, відповідає закону нормального розподілу ймовірностей (закону Гауса) (рис. 5).

В техніці широко застосовується закон нормального розподілу ймовірностей. Це пояснюється теоремою Ляпунова, яка звучить так: якщо незалежні випадкові величини x_1, x_2, \dots, x_n мають один закон розподілу, то при необмеженому збільшенні n закон розподілу суми:

$$y_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\delta \cdot \sqrt{n}}$$

як завгодно мало відрізняється від нормального.

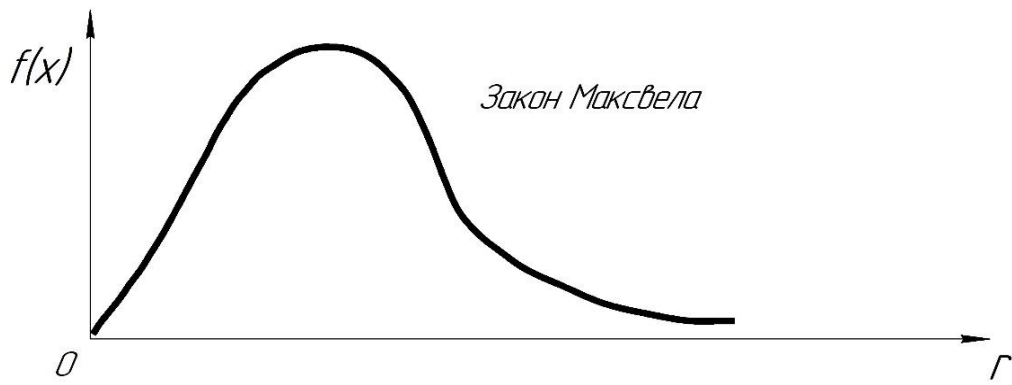


Рис. 1. Закон Максвелла

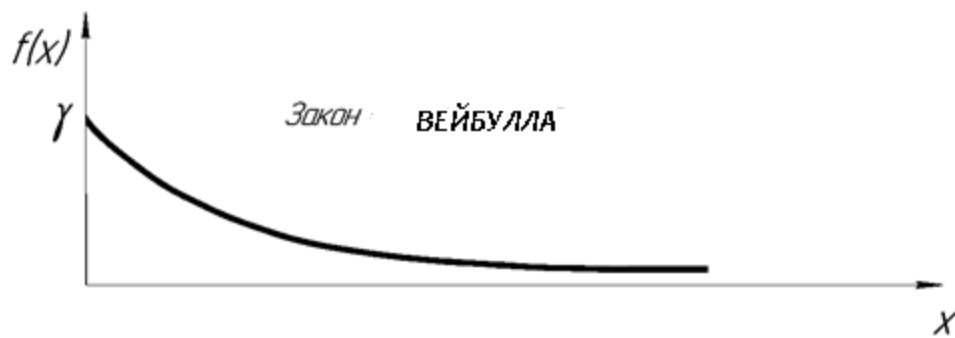


Рис. 2. Закон Вейбулла або експоненціальний

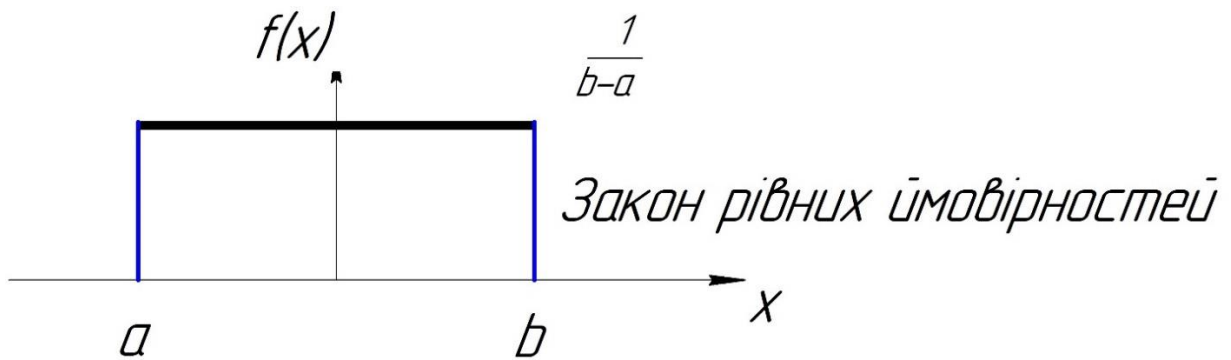


Рис. 3. Закон рівних ймовірностей

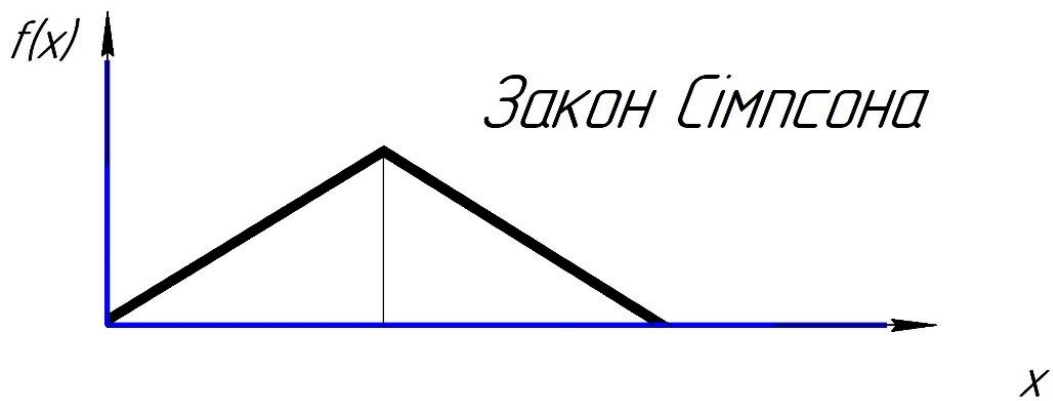


Рис. 4. Закон Сімпсона

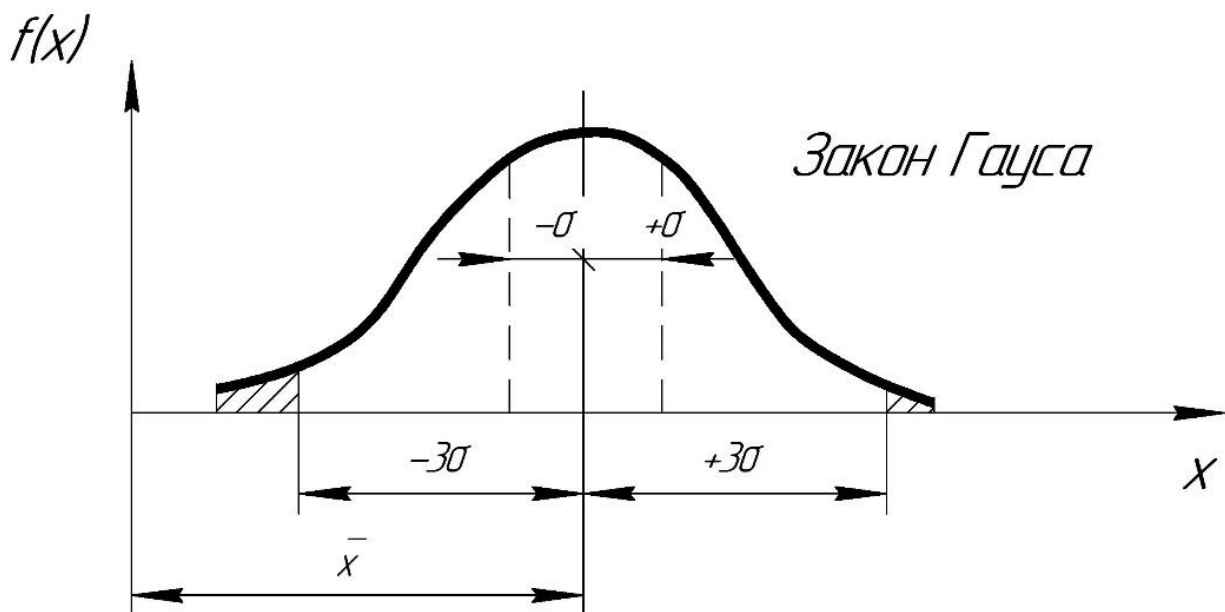


Рис. 5. Закон нормального розподілу (закон Гауса)

З теореми Ляпунова випливає: якщо якась випадкова величина є сумою великої кількості незалежних випадкових величин, то, хоч би останні були нам невідомі, можна вважати, що розглядувана величина відповідає нормальному закону розподілу (закону Гауса).

Випадкові похибки, що відповідають закону нормального розподілу (рис. 6), характеризуються тим, що малі за величиною похибки зустрічаються частіше, ніж великі, а від'ємні і додатні похибки, рівні за абсолютними величинами, зустрічаються однаково часто.

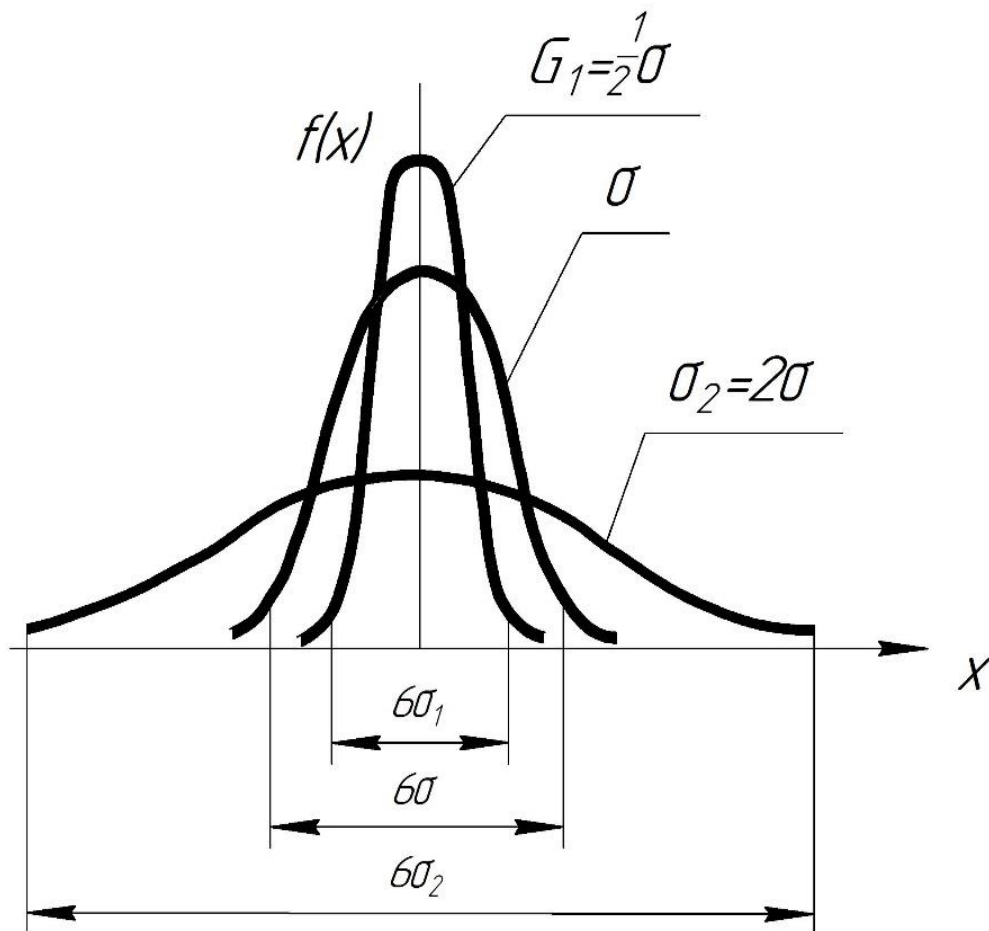


Рис. 6. Крива нормального розподілу

Крива, що зображає густину розподілу ймовірності за нормальним законом (рис. 7), визначається рівнянням:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}},$$

де x – змінна випадкова величина;

\bar{x} – координата центра групування випадкової величини;

σ – середньоквадратичне відхилення, яке є мірою розсіювання випадкової величини відносно центру групування.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot m_i}{n},$$

де x – середній розмір i -го інтервалу;
 m – частота попадання розміру в i -тий інтервал;
 n – кількість деталей у вибірці.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 m_i}{n}}$$

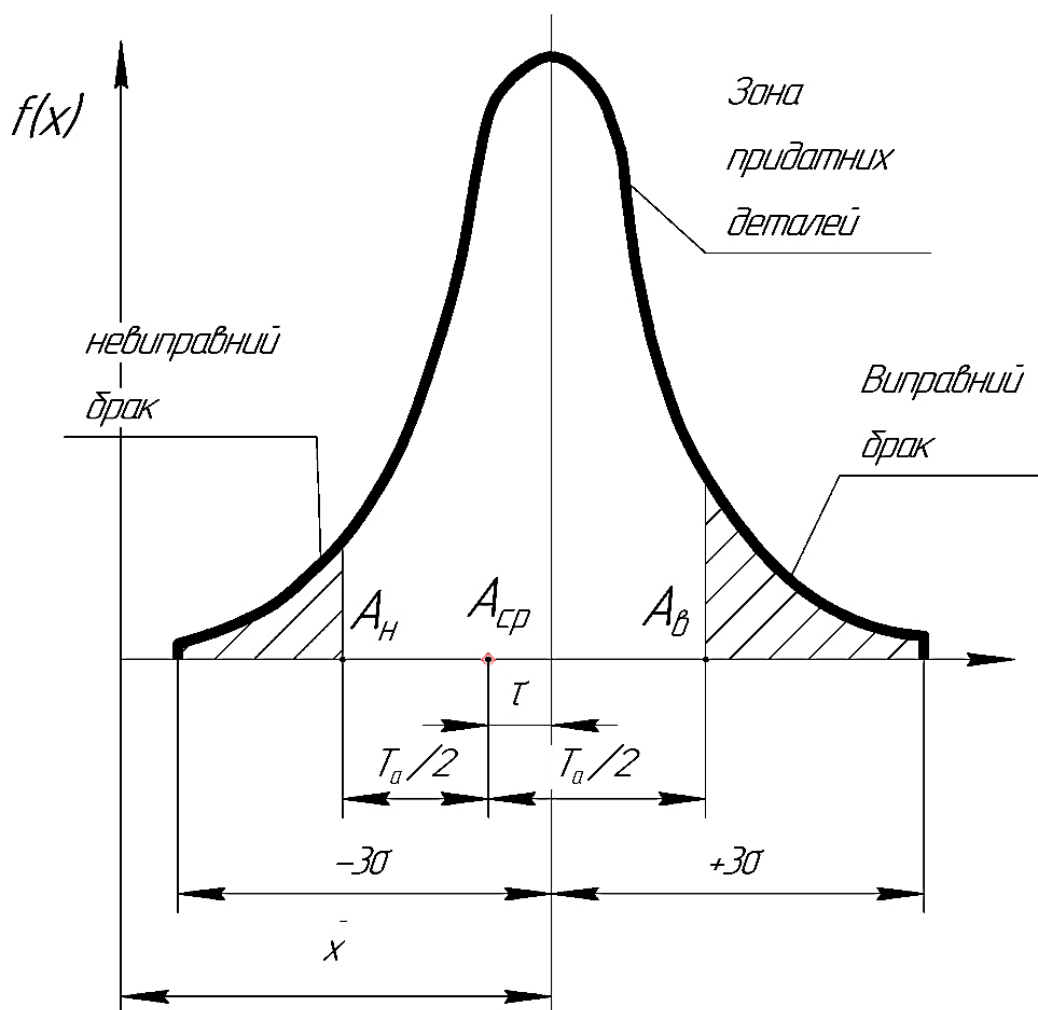


Рис. 7. Крива нормального розподілу

Параметр σ впливає на форму кривої розподілу: при зменшенні величини σ висота кривої збільшується і вона стискається по осі ординат, при збільшенні σ висота кривої зменшується, при цьому крива розтягується вздовж осі абсцис (рис. 6).

На основі експериментальних досліджень встановлено, що в інтервалі абсцис $x = \pm\sigma$ кривої нормального розподілу ймовірність знаходження розмірів складає 68,3%, в інтервалі $x = \pm\sigma$ - 95,4% і для $x = \pm 3\sigma$ - $P\% = 99,7\%$. Тому, майже достовірно, що випадкова величина не відхиляється від свого середнього значення за абсолютною величиною більше ніж на 3σ . Це припущення називають правилом трьох сігм.

Ймовірність одержання розмірів деталей, які виходять за межі поля допуску, тобто ймовірність одержання браку визначається за такими формулами:

$$W_{\text{випр.}} = 0,5 - \Phi \cdot \left(\frac{\frac{T}{2} - \tau}{\sigma} \right) = 0,5 - \Phi \left(\frac{A_в - A_{cp}}{\sigma} \right),$$

$$W_{\text{невипр.}} = 0,5 - \Phi \cdot \left(\frac{-\frac{T}{2} - \tau}{\sigma} \right) = 0,5 - \Phi \left(\frac{A_н - A_{cp}}{\sigma} \right),$$

де T – допуск на розмір;

Φ – функція Лапласа;

$\left(\frac{T}{2} - \tau \right)$ - координата верхньої межі поля допуску відносно середини поля розсіювання;

$\left(-\frac{T}{2} - \tau \right)$ - координата нижньої межі поля допуску відносно середини поля розсіювання;

$A_в, A_н$ - верхнє й нижнє граничне значення поля допуску відповідно;

A_{cp} - центр поля допуску, середньоарифметичний розмір.

Відсоток не бракованих деталей

$$W = \Phi \cdot \left(\frac{\frac{T}{2} - \tau}{\sigma} \right) - \Phi \left(\frac{-\frac{T}{2} - \tau}{\sigma} \right).$$

Систематичні похибки є постійними в межах партії деталей і на формулу кривої нормального розподілу не впливають, а викликають зміщення центру групування відносно середини поля допуску на величину, що дорівнює алгебричній сумі систематичних похибок.

Похибки, що змінюються закономірно, збільшують поле розсіювання і впливають на форму кривої розподілу. На рис. 8 показано спільний вплив випадкових похибок і одного систематичного домінуючого фактору (наприклад, рівномірне зношування інструменту, при якому розмір кожної наступної деталі більший, ніж розмір попередньої). По вісі ординат відкладені розміри деталей, а по вісі абсцис – проміжки часу t_1, t_2, \dots, t_n , через які визначається миттєве поле розсіювання w_i .

Оскільки зношування інструменту за час, необхідний для виготовлення невеликої кількості деталей, що відбираються для визначення миттєвого розсіювання, незначний, то похибки розмірів випадкові і відповідають закону нормального розподілу. Але для всієї партії деталей, виготовлених в цих умовах при одному налагодженні з моменту встановлення інструменту до його зношення чи повторного налагодження верстата, крива сумарного розподілу може бути із плоскою вершинною (крива A на рис. 8).

Під впливом домінуючого фактору, що діє систематично, центр групування відносно початкового положення зміщується на величину $0,5\Delta\sigma$, а поле загального розсіювання розмірів усієї партії деталей збільшується до $\sigma_{заг} = \sigma_2 + \Delta\sigma$. Для усунення браку необхідно було провести підналагодження технологічного процесу раніше часу t_n .

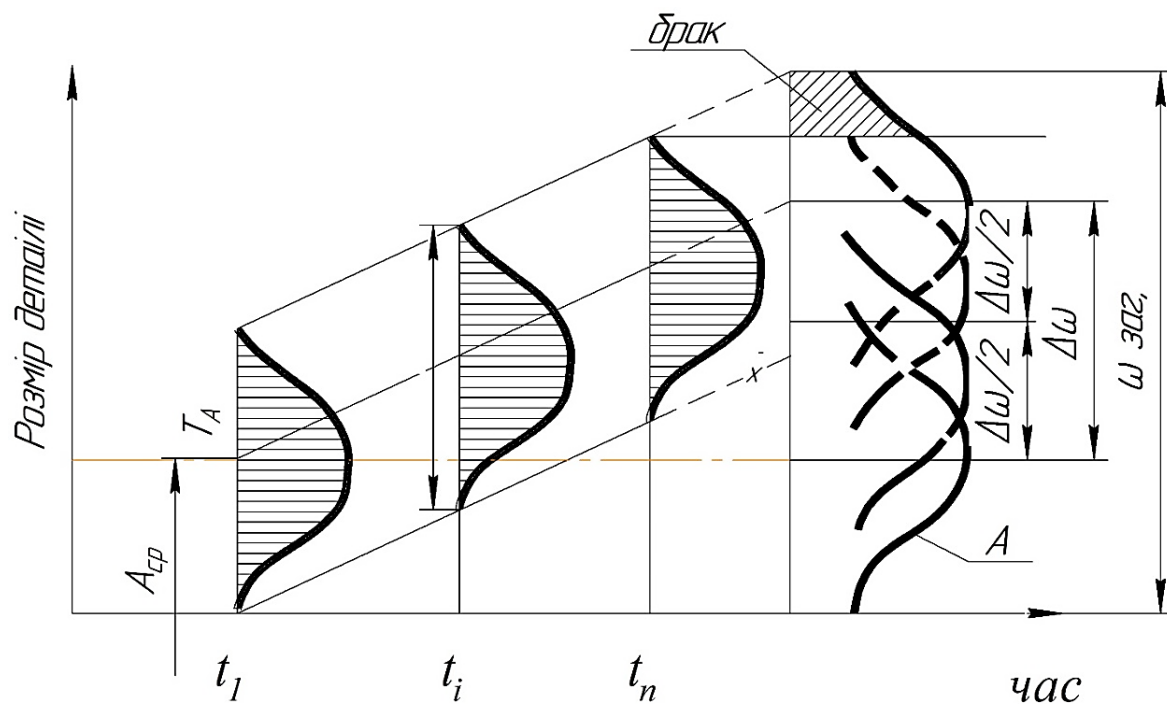


Рис. 8. Теоретична діаграма точності технологічного процесу механічного оброблення при рівномірному зношуванні ріжучого інструменту

Щоб не допустити одержання бракованих деталей і своєчасно провести підналагодження верстату, необхідно на точкових діаграмах у межах поля допуску провести лінії 1 і 2, які вказують на якій стадії оброблення потрібно проводити регулювання технологічного процесу. Ці лінії називаються межами регулювання (рис. 9; 10).

Налагоджений технологічний процес той, якому відповідає доля браку, що не перевищує допустимого значення.

Розлагоджений технологічний процес – це такий технологічний процес, в якому доля браку перевищує допустиму.

Налагодження технологічного процесу – це перенесення розлагодженого технологічного процесу в налагоджений технологічний процес.

Середня довжина серії вибірок чи проб при налагодженому технологічному процесі ℓ_0 – це середня кількість проб чи вибірок між сусідніми рішеннями про налагодження технологічного процесу при відсутності його розлагодження.

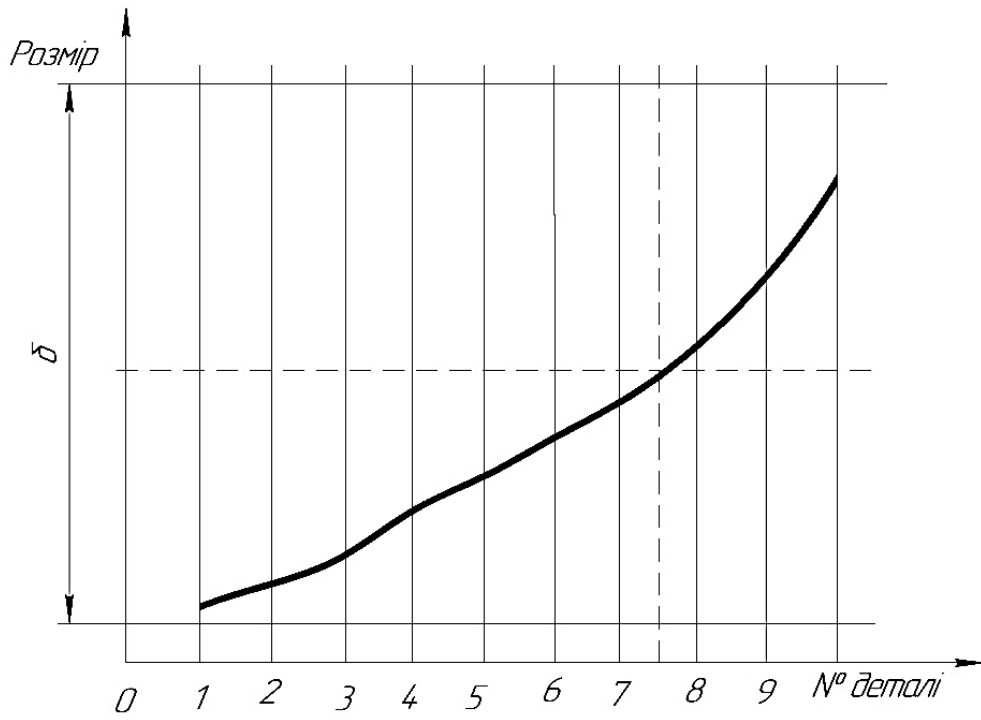


Рис. 9. Межі регулювання технологічного процесу

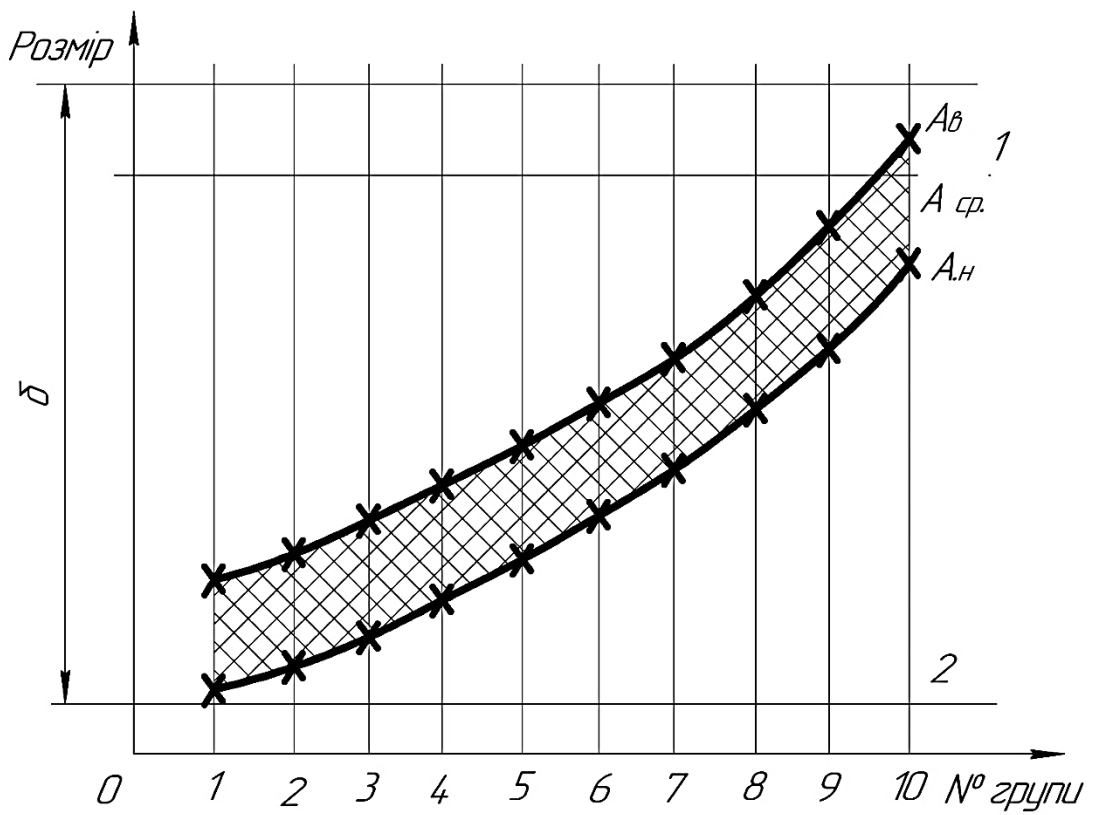


Рис. 10. Середні значення меж регулювання груп

Середня довжина серії вибірок чи проб при розлагодженому процесі l_1 – це середня кількість вибірок чи проб між моментом розлагодження технологічного процесу і моментом його налагодження.

Статистичне регулювання технологічного процесу полягає в тому, що в певний момент часу із сукупності одиниць продукції проводять вибірку і вимірюють контрольні параметри (наприклад діаметри).

Статистичне регулювання проводиться за допомогою карт середніх арифметичних або карт медіан. Для проведення статистичного регулювання нам потрібні такі величини:

σ – середнє квадратичне відхилення контрольованого параметру L ;

μ_0 – середнє значення контрольованого параметру L (у більшості випадків відповідає середині поля допуску);

μ_1, μ_{-1} – граничні допустимі середні значення контрольованого параметру L , при яких потрібно робити коректування технологічного процесу.

Технологічний процес вважається налагодженим, коли $\mu = \mu_0$ і розлагодженим, коли $\mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta\sigma$ або $\mu = \mu_{-1} = \mu_0 - \delta\sigma$.

Вибір плану статистичного регулювання полягає в призначенні таких величин:

1. Періоду вибору проб;
2. Об'єму вибірки або проби – n ;
3. Меж регулювання a_+ , a_- – верхньої й нижньої межі для карт середніх арифметичних значень.

Вихідними даними для вибору плану регулювання при проведенні таких робіт є:

- розроблення технологічного процесу на етапі технологічної підготовки виробництва;
- визначення періодичності підналагоджень технологічного оснащення;

– вибір методів і планів статистичного регулювання технологічного процесу (технологічного оснащення), та ін., будуть

$$a_+ = \mu_0 + \frac{u}{\sqrt{n}} \cdot \sigma ;$$

$$a_- = \mu_0 - \frac{u}{\sqrt{n}} \cdot \sigma .$$

Необхідно проводити оцінку надійності технологічної системи за параметрами якості продукції, що виготовляється.

Для даної роботи застосовують контроль точності технологічної системи (ТС) технологічного процесу за кількісними признаками згідно ГОСТ 27202-83.

Основними показниками точності є: коефіцієнт точності (за контрольним параметром) K_m , коефіцієнт миттєвого розсіювання K_p , коефіцієнт зміщення K_c , коефіцієнт запасу точності K_z .

Вказані коефіцієнти визначаються за такими залежностями:

$$K_T = \frac{\varpi}{T} ,$$

де $\varpi = X_{max} - X_{min}$, або $\varpi = \sigma \delta$,

δ – допуск на контрольований параметр;

$$K_p = \frac{\varpi(t)}{T} ,$$

де ϖt – поле розсіювання, контрольованого параметру в момент часу t ,

$$\varpi(t) = \varpi + \Delta \varpi(t) ;$$

$$K_c = \frac{\bar{\Delta}(t)}{T} ,$$

де $\bar{\Delta}(t)$ – середнє значення відхилення контрольованого параметру відносно середини поля допуску в момент часу t :

$$\bar{\Delta}(t) = (\bar{x}(t) - x_0),$$

де $\bar{x}(t)$ – середнє значення контрольованого параметру;

x_0 – значення параметру, що відповідає середині поля допуску;

$$K_3(t) = 0,5 - K_c(t) - 0,5 \cdot K_p(t).$$

Для забезпечення надійності технологічної системи за параметрами точності необхідно, щоб у будь-який момент часу (у межах встановленого напрацювання) виконувались вимоги:

$$K_T = K_{TO} < 1,$$

де K_{TO} – нормативне (граничне, технологічно обумовлене) значення K_m .

ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Виточити 50 валиків певного розміру (відповідно до індивідуального завдання).
2. Виміряти діаметр кожного валика.
3. Одержані розміри розбити на групи за визначеними інтервалами.
4. Побудувати графік розсіювання фактичних розмірів.
5. Визначити середній арифметичний розмір.
6. Визначити Y_{max} , Y_{σ} , X_{max} для побудови кривої нормального розподілу.
7. Визначити ймовірність одержання браку.
8. Побудувати точкову діаграму.

ПРИЛАД ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. На токарному верстаті виточуємо валики в кількості 50 шт. з розмірами, згідно ескізу (рис. 11).

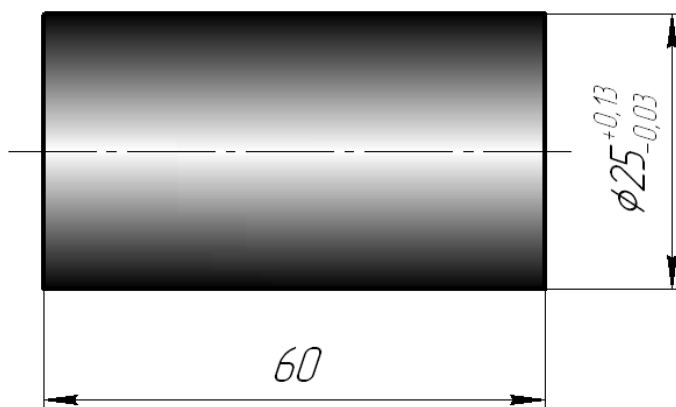


Рис. 11. Ескіз валика

2. Вимірюємо діаметр кожного валика у трьох сіденнях індикатором, визначаємо середній розмір кожного валика і заносимо в таблицю 1 у порядку виготовлення:

Таблиця 1

Одержані розміри валика

| № деталі | Одержані розміри, мм | № | Одержані розміри, мм |
|----------|----------------------|----|----------------------|
| 1. | 25,01 | 26 | 25,05 |
| 2. | 24,97 | 27 | 25,06 |
| 3. | 25,00 | 28 | 25,06 |
| | | | |
| 25 | 25,07 | 50 | 25,15 |

3. Приведені розміри розбиваємо на групи і визначаємо величину встановлених інтервалів:

так як $n < 100$, то

$$K = 1 + 3,322 \lg n = 1 + 3,22 \lg 50 = 8,6\%$$

Приймаємо, що

$$\Delta L = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{K} = \frac{25,15 - 24,97}{9} = 0,02 \text{ мм}.$$

Абсолютну частоту появи розмірів в середині кожного інтервалу і інтервали розмірів в мм, заносимо в таблицю 2.

Таблиця 2

Абсолютна частота появи розмірів в середині кожного інтервалу і інтервали розмірів

| № групи з/п | Розміри інтервалу, мм | | Частота появи, шт |
|-------------|-----------------------|-------|-------------------|
| | від | до | |
| 1. | 24,97 | 24,99 | 1 |
| 2. | 24,99 | 25,01 | 3 |
| 3. | 25,01 | 25,03 | 5 |
| 4. | 25,03 | 25,05 | 10 |
| 5. | 25,05 | 25,07 | 11 |
| 6. | 25,07 | 25,09 | 9 |
| 7. | 25,09 | 25,11 | 6 |
| 8. | 25,11 | 25,13 | 3 |
| 9. | 25,13 | 25,15 | 2 |

4. На основі цих даних будемо графік розсіювання фактичних розмірів (рис. 12).

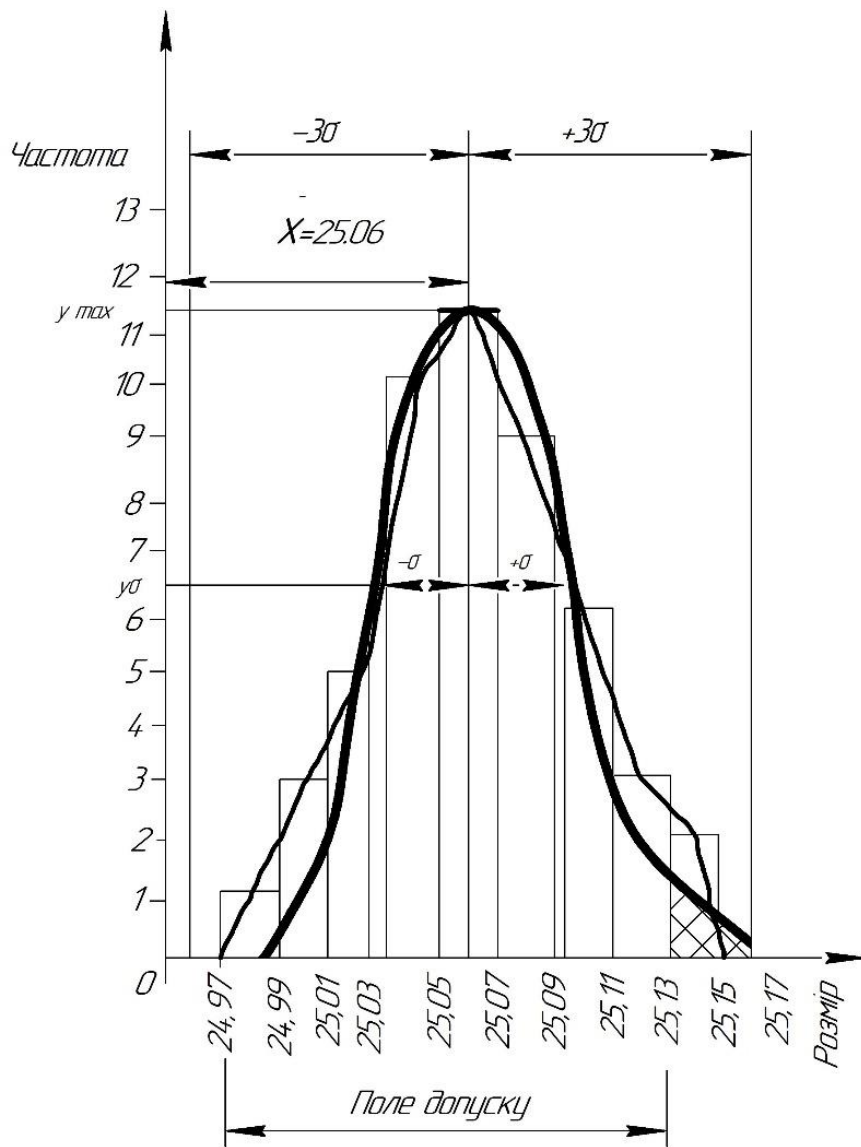


Рис. 12. Графік розсіювання фактичних розмірів

5. Визначаємо середній арифметичний розмір деталі L_{cp} :

$$L_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n L_i \cdot m_i}{n} = \frac{1253,3}{50} = 25,06 \text{ мм.}$$

Визначаємо різницю між середніми розмірами відповідних інтервалів і середнім арифметичним і заносимо у графу 5 табл. 3.

$$(L_i - L_{cp}) = X_i .$$

Результати розрахунків

| № з/п | Інтервали розмірів | Абсолютна частота | $L_i m_i$ | $L_i - L_{cp} = X_i$ | $(L_i - L_{cp})^2 \cdot 10^4 = X_i^2 \cdot 10^4$ | $(L_i - L_{cp})^2 \cdot m_i \cdot 10^4 = X_i^2 m_i \cdot 10^4$ |
|-------|--------------------|-------------------|-----------|----------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 24,97-24,99 | 1 | 24,98 | -0,08 | 64 | 64 |
| 2 | 24,99-25,01 | 3 | 75,00 | -0,06 | 36 | 108 |
| 3 | 25,01-25,03 | 5 | 125,1 | -0,04 | 16 | 80 |
| 4 | 25,03-25,05 | 10 | 250,04 | -0,02 | 4 | 40 |
| 5 | 25,05-25,07 | 11 | 275,66 | 0 | 0 | 0 |
| 6 | 25,07-25,09 | 9 | 225,72 | 0,02 | 4 | 40 |
| 7 | 25,09-25,11 | 6 | 125,6 | 0,04 | 16 | 80 |
| 8 | 25,11-25,13 | 3 | 75,36 | 0,06 | 36 | 105 |
| 9 | 25,13-25,15 | 2 | 50,28 | 0,08 | 64 | 108 |

Визначаємо квадрати останніх величин $(L_i - L_{cp})^2$ і множимо їх на 10^4 , результати записуємо в графу 6 табл. 3.

$$(L_i - L_{cp})^2 \cdot 10^4 = X_i^2 \cdot 10^4 .$$

Після цього величини графи 6 множимо на відповідні абсолютні частоти m_i й отримані результати вписуємо у графу 7 табл. 3.

$$(L_i - L_{cp})^2 \cdot 10^4 = X_i^2 \cdot m_i \cdot 10^4 .$$

Середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \cdot m_i}{n}} = \sqrt{\frac{660,03}{10^4 \cdot 50}} = 0,0363.$$

Абсолютне поле розсіювання за одиничними розмірами

$$\varepsilon = (L_{\max} - L_{\min}) = 25,15 - 24,97 = 0,18.$$

Дані, отримані в результаті розрахунків, заносимо в таблицю 3.

6. Для побудови кривої нормального розподілу визначаємо такі параметри:

а) – максимальну ординату (для $X = 0$)

$$y_{\max} = 0,4 \frac{n \cdot \Delta L}{\sigma} = 0,4 \cdot \frac{50 \cdot 0,02}{0,0363} = 11,0084;$$

б) – ординати точок перегину

$$y_{\sigma} = 0,24 \frac{n \cdot \Delta L}{\sigma} = 0,24 \cdot \frac{50 \cdot 0,02}{0,0363} = 6,6057.$$

в) – величину поля розсіювання

$$X_{\max} = \pm 3\sigma = \pm 3 \cdot 0,0363 = \pm 0,1089.$$

За цими даними будуємо криву нормального розподілу безпосередньо на графіку розсіювання розмірів (рис. 12). На графік наносимо величину заданого поля допуску ($25_{-0,03}^{+0,13}$) з граничними розмірами 25,13 (верхній) і 24,97 (нижній)

і через верхню й нижню межі поля допуску проводимо ординати до перетину з кривою нормального розподілу.

Величина площі у границях поля допуску, віднесена до всієї площі кривої нормального розподілу, визначає ймовірність одержання деталей у межах допуску.

7. Ймовірність одержання браку в (%) визначається:

– для випадку зміщення центру поля розсіювання від середини поля допуску (по абсцисі).

Величина зміщення центра поля розсіювання

$$\Delta L_{\mu} = L_{cp} - \frac{L_0 + L_n}{2} = 25,06 - \frac{25,13 - 24,97}{2} = 0,01.$$

Значення аргументу Z для верхнього (Z_b) і нижнього (Z_n) граничних значень допуску рівне:

$$Z_b = \frac{L_b - L_{cp}}{\sigma} = \frac{25,13 - 25,06}{0,0363} = 1,92.$$

$$Z_n = \frac{L_n - L_{cp}}{\sigma} = \frac{24,97 - 25,06}{0,0363} = 4,64.$$

Ймовірність одержання браку τ (в %) дорівнює:

– на верхній межі допуску (+)

$$\tau'_b = [0,5 - F(Z_b)] \cdot 100 = [0,5 - F(1,92)] \cdot 100 = 0,0301 \cdot 100 = 3,01\% ;$$

– на нижній межі допуску (–)

$$\tau'_n = [0,5 - F(Z_n)] \cdot 100 = [0,5 - F(4,64)] \cdot 100 = 0,00032 \cdot 100 = 0,032\%.$$

8. Побудова точкової діаграми.

Для цього по горизонталі відкладаємо номери деталей у порядку оброблення, а по вертикалі – їх розміри.

ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

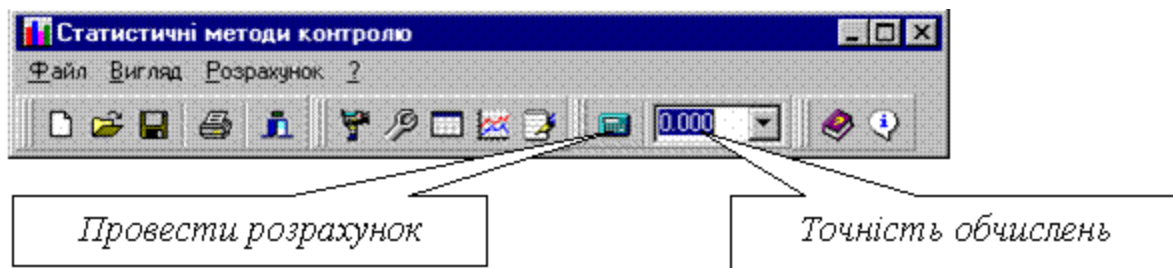
Застосування прикладного програмного забезпечення для розрахунку похибок механічної обробки дозволяє скоротити час розрахунків і підвищити їх точність. Програма працює в діалоговому режимі.

ПОРЯДОК РОБОТИ З ПРИКЛАДНИМ ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ

1. Запустити прикладне програмне забезпечення “Statist”. При цьому з’являться група вікон.
2. Вибрати завдання.



3. Вказати точність розрахунку та провести розрахунок.



4. На основі отриманих даних оформити звіт роботи.
5. Вийти з програми.

Додаток А

Значення функції $\Phi(x)$

| x | $\Phi(x)$ | x | $\Phi(x)$ | x | $\Phi(x)$ | x | $\Phi(x)$ |
|------|-----------|------|-----------|------|-----------|------|-----------|
| 0.00 | 0.00000 | 0.85 | 0.30234 | 1.70 | 0.45543 | 2.55 | 0.49461 |
| 0.05 | 0.01994 | 0.90 | 0.31594 | 1.75 | 0.45994 | 2.60 | 0.49534 |
| 0.10 | 0.03983 | 0.95 | 0.32894 | 1.80 | 0.46407 | 2.65 | 0.49598 |
| 0.15 | 0.05962 | 1.00 | 0.34134 | 1.85 | 0.46784 | 2.70 | 0.49653 |
| 0.20 | 0.07926 | 1.05 | 0.35314 | 1.90 | 0.47128 | 2.75 | 0.49702 |
| 0.25 | 0.09871 | 1.10 | 0.36433 | 1.95 | 0.47441 | 2.80 | 0.49744 |
| 0.30 | 0.11791 | 1.15 | 0.37493 | 2.00 | 0.47725 | 2.85 | 0.49781 |
| 0.35 | 0.13683 | 1.20 | 0.38493 | 2.05 | 0.47982 | 2.90 | 0.49813 |
| 0.40 | 0.15542 | 1.25 | 0.39435 | 2.10 | 0.48214 | 2.95 | 0.49841 |
| 0.45 | 0.17364 | 1.30 | 0.40320 | 2.15 | 0.48422 | 3.00 | 0.49865 |
| 0.50 | 0.19146 | 1.35 | 0.41149 | 2.20 | 0.48610 | 3.20 | 0.49931 |
| 0.55 | 0.20884 | 1.40 | 0.41924 | 2.25 | 0.48778 | 3.40 | 0.49966 |
| 0.60 | 0.22575 | 1.45 | 0.42647 | 2.30 | 0.48928 | 3.60 | 0.499841 |
| 0.65 | 0.24215 | 1.50 | 0.43319 | 2.35 | 0.49061 | 3.80 | 0.499928 |
| 0.70 | 0.25804 | 1.55 | 0.43943 | 2.40 | 0.49180 | 4.00 | 0.499968 |
| 0.75 | 0.27337 | 1.60 | 0.44520 | 2.45 | 0.49286 | 4.50 | 0.499997 |
| 0.80 | 0.28814 | 1.65 | 0.45053 | 2.50 | 0.49379 | 5.00 | 0.5 |

ДОДАТОК Б

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

Ø50D10(^{+0,18}_{+0,08})

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 50,184 | 18 | 50,142 | 35 | 50,117 |
| 2 | 50,180 | 19 | 50,141 | 36 | 50,115 |
| 3 | 50,173 | 20 | 50,140 | 37 | 50,114 |
| 4 | 50,172 | 21 | 50,139 | 38 | 50,116 |
| 5 | 50,171 | 22 | 50,137 | 39 | 50,114 |
| 6 | 50,168 | 23 | 50,136 | 40 | 50,112 |
| 7 | 50,165 | 24 | 50,136 | 41 | 50,110 |
| 8 | 50,162 | 25 | 50,135 | 42 | 50,109 |
| 9 | 50,161 | 26 | 50,134 | 43 | 50,108 |
| 10 | 50,160 | 27 | 50,132 | 44 | 50,104 |
| 11 | 50,155 | 28 | 50,129 | 45 | 50,103 |
| 12 | 50,153 | 29 | 50,128 | 46 | 50,098 |
| 13 | 50,152 | 30 | 50,127 | 47 | 50,095 |
| 14 | 50,151 | 31 | 50,126 | 48 | 50,092 |
| 15 | 50,149 | 32 | 50,124 | 49 | 50,090 |
| 16 | 50,145 | 33 | 50,122 | 50 | 50,083 |
| 17 | 50,143 | 34 | 50,119 | | |

Ø50E8(^{+0,089}_{+0,050})

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 50,091 | 18 | 50,072 | 35 | 50,064 |
| 2 | 50,089 | 19 | 50,071 | 36 | 50,063 |
| 3 | 50,087 | 20 | 50,072 | 37 | 50,062 |
| 4 | 50,085 | 21 | 50,070 | 38 | 50,063 |
| 5 | 50,082 | 22 | 50,070 | 39 | 50,063 |
| 6 | 50,082 | 23 | 50,069 | 40 | 50,061 |
| 7 | 50,080 | 24 | 50,068 | 41 | 50,059 |
| 8 | 50,079 | 25 | 50,069 | 42 | 50,058 |
| 9 | 50,078 | 26 | 50,067 | 43 | 50,058 |
| 10 | 50,077 | 27 | 50,068 | 44 | 50,058 |
| 11 | 50,077 | 28 | 50,068 | 45 | 50,055 |
| 12 | 50,075 | 29 | 50,067 | 46 | 50,055 |
| 13 | 50,074 | 30 | 50,067 | 47 | 50,054 |
| 14 | 50,075 | 31 | 50,066 | 48 | 50,053 |
| 15 | 50,073 | 32 | 50,067 | 49 | 50,050 |
| 16 | 50,072 | 33 | 50,065 | 50 | 50,049 |
| 17 | 50,071 | 34 | 50,065 | | |

Ø35Js11(^{+0,080}_{-0,080})

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 35,081 | 18 | 35,015 | 35 | 34,970 |
| 2 | 35,077 | 19 | 35,010 | 36 | 34,979 |
| 3 | 35,069 | 20 | 35,009 | 37 | 34,980 |
| 4 | 35,062 | 21 | 35,005 | 38 | 34,977 |
| 5 | 35,059 | 22 | 35,003 | 39 | 34,976 |
| 6 | 35,055 | 23 | 35,001 | 40 | 34,975 |
| 7 | 35,049 | 24 | 34,998 | 41 | 34,973 |
| 8 | 35,045 | 25 | 35,001 | 42 | 34,970 |
| 9 | 35,039 | 26 | 35,001 | 43 | 34,968 |
| 10 | 35,035 | 27 | 34,999 | 44 | 34,964 |
| 11 | 35,031 | 28 | 34,996 | 45 | 34,960 |
| 12 | 35,029 | 29 | 34,995 | 46 | 34,955 |
| 13 | 35,026 | 30 | 34,994 | 47 | 34,944 |
| 14 | 35,024 | 31 | 34,992 | 48 | 34,939 |
| 15 | 35,023 | 32 | 34,990 | 49 | 34,935 |
| 16 | 35,022 | 33 | 34,985 | 50 | 34,919 |
| 17 | 35,020 | 34 | 34,983 | | |

Ø35C10(^{+0,220}_{+0,120})

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 35,232 | 18 | 35,183 | 35 | 35,163 |
| 2 | 35,220 | 19 | 35,181 | 36 | 35,159 |
| 3 | 35,215 | 20 | 35,179 | 37 | 35,157 |
| 4 | 35,211 | 21 | 35,178 | 38 | 35,156 |
| 5 | 35,203 | 22 | 35,176 | 39 | 35,156 |
| 6 | 35,207 | 23 | 35,174 | 40 | 35,155 |
| 7 | 35,205 | 24 | 35,173 | 41 | 35,155 |
| 8 | 35,139 | 25 | 35,171 | 42 | 35,153 |
| 9 | 35,198 | 26 | 35,171 | 43 | 35,147 |
| 10 | 35,198 | 27 | 35,169 | 44 | 35,145 |
| 11 | 35,193 | 28 | 35,169 | 45 | 35,144 |
| 12 | 35,192 | 29 | 35,168 | 46 | 35,143 |
| 13 | 35,191 | 30 | 35,168 | 47 | 35,141 |
| 14 | 35,188 | 31 | 35,167 | 48 | 35,135 |
| 15 | 35,185 | 32 | 35,167 | 49 | 35,132 |
| 16 | 35,186 | 33 | 35,165 | 50 | 35,119 |
| 17 | 35,183 | 34 | 35,164 | | |

Ø50G8^(+0,048)_(+0,009)

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 50,058 | 18 | 50,034 | 35 | 50,023 |
| 2 | 50,047 | 19 | 50,033 | 36 | 50,023 |
| 3 | 50,044 | 20 | 50,031 | 37 | 50,022 |
| 4 | 50,043 | 21 | 50,030 | 38 | 50,022 |
| 5 | 50,042 | 22 | 50,029 | 39 | 50,021 |
| 6 | 50,039 | 23 | 50,029 | 40 | 50,021 |
| 7 | 50,037 | 24 | 50,028 | 41 | 50,021 |
| 8 | 50,037 | 25 | 50,029 | 42 | 50,019 |
| 9 | 50,036 | 26 | 50,028 | 43 | 50,018 |
| 10 | 50,036 | 27 | 50,027 | 44 | 50,017 |
| 11 | 50,039 | 28 | 50,027 | 45 | 50,016 |
| 12 | 50,035 | 29 | 50,026 | 46 | 50,016 |
| 13 | 50,034 | 30 | 50,026 | 47 | 50,011 |
| 14 | 50,033 | 31 | 50,028 | 48 | 50,009 |
| 15 | 50,033 | 32 | 50,025 | 49 | 50,010 |
| 16 | 50,032 | 33 | 50,024 | 50 | 50,005 |
| 17 | 50,032 | 34 | 50,024 | | |

Ø50Js10^(+0,05)_(-0,05)

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 50,050 | 18 | 50,006 | 35 | 49,989 |
| 2 | 50,039 | 19 | 50,005 | 36 | 49,988 |
| 3 | 50,037 | 20 | 50,004 | 37 | 49,987 |
| 4 | 50,029 | 21 | 50,003 | 38 | 49,986 |
| 5 | 50,027 | 22 | 50,002 | 39 | 49,984 |
| 6 | 50,024 | 23 | 50,001 | 40 | 49,983 |
| 7 | 50,020 | 24 | 50,000 | 41 | 49,983 |
| 8 | 50,019 | 25 | 49,999 | 42 | 49,981 |
| 9 | 50,018 | 26 | 49,998 | 43 | 49,978 |
| 10 | 50,017 | 27 | 49,992 | 44 | 49,975 |
| 11 | 50,016 | 28 | 49,996 | 45 | 49,974 |
| 12 | 50,014 | 29 | 49,995 | 46 | 49,972 |
| 13 | 50,013 | 30 | 49,994 | 47 | 49,970 |
| 14 | 50,012 | 31 | 49,993 | 48 | 49,965 |
| 15 | 50,010 | 32 | 49,992 | 49 | 49,960 |
| 16 | 50,009 | 33 | 49,991 | 50 | 49,958 |
| 17 | 50,007 | 34 | 49,990 | | |

**Ø40Js9(+0,031
-0,031)**

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 40,033 | 18 | 40,006 | 35 | 39,995 |
| 2 | 40,027 | 19 | 40,005 | 36 | 39,993 |
| 3 | 40,027 | 20 | 40,005 | 37 | 39,992 |
| 4 | 40,024 | 21 | 40,004 | 38 | 39,991 |
| 5 | 40,022 | 22 | 40,004 | 39 | 39,989 |
| 6 | 40,019 | 23 | 40,004 | 40 | 39,987 |
| 7 | 40,018 | 24 | 40,003 | 41 | 39,985 |
| 8 | 40,017 | 25 | 40,003 | 42 | 39,985 |
| 9 | 40,015 | 26 | 40,003 | 43 | 39,984 |
| 10 | 40,013 | 27 | 40,002 | 44 | 39,983 |
| 11 | 40,012 | 28 | 40,002 | 45 | 39,981 |
| 12 | 40,011 | 29 | 40,001 | 46 | 39,978 |
| 13 | 40,010 | 30 | 40,001 | 47 | 39,978 |
| 14 | 40,009 | 31 | 39,999 | 48 | 39,976 |
| 15 | 40,009 | 32 | 39,999 | 49 | 39,973 |
| 16 | 40,008 | 33 | 39,998 | 50 | 39,968 |
| 17 | 40,007 | 34 | 39,996 | | |

**Ø40T12(-0,048
-0,298)**

| № деталі | Розмір | | | | |
|----------|--------|----|--------|----|--------|
| 1 | 39,851 | 18 | 39,813 | 35 | 39,762 |
| 2 | 39,896 | 19 | 39,809 | 36 | 39,759 |
| 3 | 39,884 | 20 | 39,800 | 37 | 39,757 |
| 4 | 39,874 | 21 | 39,796 | 38 | 39,755 |
| 5 | 39,868 | 22 | 39,788 | 39 | 39,753 |
| 6 | 39,867 | 23 | 39,792 | 40 | 39,746 |
| 7 | 39,854 | 24 | 39,789 | 41 | 39,743 |
| 8 | 39,847 | 25 | 39,788 | 42 | 39,730 |
| 9 | 39,841 | 26 | 39,787 | 43 | 39,729 |
| 10 | 39,839 | 27 | 39,786 | 44 | 39,721 |
| 11 | 39,833 | 28 | 39,785 | 45 | 39,709 |
| 12 | 39,830 | 29 | 39,783 | 46 | 39,704 |
| 13 | 39,826 | 30 | 39,778 | 47 | 39,721 |
| 14 | 39,824 | 31 | 39,772 | 48 | 39,709 |
| 15 | 39,822 | 32 | 39,768 | 49 | 39,704 |
| 16 | 39,819 | 33 | 39,765 | 50 | 39,700 |
| 17 | 39,815 | 34 | 39,764 | | |

**Ø35F9(+0,087
+0,025)**

| № деталі | Розмір | | | | |
|-----------------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| 1 | 35,088 | 18 | 35,062 | 35 | 35,050 |
| 2 | 35,081 | 19 | 35,061 | 36 | 35,050 |
| 3 | 35,079 | 20 | 35,061 | 37 | 35,049 |
| 4 | 35,076 | 21 | 35,060 | 38 | 35,048 |
| 5 | 35,074 | 22 | 35,059 | 39 | 35,047 |
| 6 | 35,072 | 23 | 35,058 | 40 | 35,047 |
| 7 | 35,071 | 24 | 35,057 | 41 | 35,046 |
| 8 | 35,070 | 25 | 35,057 | 42 | 35,044 |
| 9 | 35,069 | 26 | 35,058 | 43 | 35,042 |
| 10 | 35,068 | 27 | 35,055 | 44 | 35,041 |
| 11 | 35,067 | 28 | 35,054 | 45 | 35,040 |
| 12 | 35,066 | 29 | 35,054 | 46 | 35,039 |
| 13 | 35,065 | 30 | 35,053 | 47 | 35,036 |
| 14 | 35,065 | 31 | 35,052 | 48 | 35,034 |
| 15 | 35,064 | 32 | 35,052 | 49 | 35,032 |
| 16 | 35,063 | 33 | 35,051 | 50 | 35,024 |
| 17 | 35,063 | 34 | 35,051 | | |

ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

1. Які фактори впливають на точність при механічній обробці?
2. Під впливом яких факторів виникають постійно діючі похибки?
3. Яким чином усувається дія постійно діючих похибок?
4. Приведіть приклад систематичних періодично діючих похибок.
5. Чим обумовлена поява випадкових похибок?
6. Які похибки підпадають розподілу Максвелла?
7. Який тип випадкових величини підлягає закону рівних ймовірностей?
8. Приведіть криву закону Гауса і дайте пояснення її побудови.
9. Приведіть формулу, що зображає густину розподілу ймовірності за нормальним законом.
10. Яка величина є мірою розсіювання випадкової величини відносно центру групування при нормальному законі розсіювання випадкових величин?
11. Як міняється форма кривої нормального розподілу від величини середньоквадратичне відхилення?
12. В якому інтервалі абсцис, кривої нормального розподілу ймовірність знаходження розмірів $P(\%)$ складає 99,7%?
13. Приведіть формули для визначення ймовірності одержання розмірів деталей, які виходять за межі поля допуску, тобто ймовірність одержання браку.
14. Приведіть формулу для розрахунку проценту не бракованих деталей.
15. Який технологічний процес називається налагодженим?
16. Який технологічний процес називається розлагодженим?
17. Що таке налагодження технологічного процесу?
18. Як будується та використовується в регулюванні технологічних процесів точкові діаграми?
19. Якими параметрами визначаються верхні й нижні межі регулювання для карт середніх арифметичних значень?

ЛІТЕРАТУРА

1. Балакшин Б. С. Основы технологии машиностроения / Б. С. Балакшин. – Издание 3-е. – М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
2. Данилевский В. В. Технология машиностроения (общий курс): учебник для машиностроительных техникумов / В. В. Данилевский. – М.: Высшая школа, 1963. – 506 с.
3. Егоров М. Е. Технология машиностроения: учебник для вузов / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев. – Изд. 2-е, доп. – М.: Высшая школа, 1976. – 534 с.
4. Медвідь М. В., Шабайкович В. А. Теоретичні основи технології машинобудування / М. В. Медвідь, В. А. Шабайкович. – Львів: Вища школа, 1976. - 299 с.
5. Дячун А.Є. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин» // А. Є. Дячун, Ю. Є. Паливода, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль, 2015. – Ч. 1. – 118 с.
6. Дячун А.Є. Конспект лекцій з дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин» // А. Є. Дячун, Ю. Є. Паливода, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль, 2015, – Ч. 2. – 110 с.
7. Паливода Ю.Є. Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва деталей та складання машин» // Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун. – Тернопіль, 2015. – 106 с.
8. Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання і технічне нормування механічної обробки : навчальний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. - 2019. - 240 с.