

Затверджено Науково-методичною
радою Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від «27» 11 2024 р. №6

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для виконання лабораторних робіт
з навчальної дисципліни
**«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЙ
МАШИНОБУДУВАННЯ»**
для студентів освітнього рівня «бакалавр»
спеціальності 131 «Прикладна механіка» та
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
факультету комп'ютерно-інтегрованих технологій,
мехатроніки і робототехніки
кафедра механічної інженерії

Розглянуто і рекомендовано
на засіданні кафедри
прикладної механіки і комп'ютерно-
інтегрованих технологій
протокол від «01» травня 2024 р. №5

Житомир
2024

ЗМІСТ

Правила виконання лабораторних робіт.....	3
Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт.....	4
<i>Лабораторна робота № 1 „Дослідження похибки встановлення інструмента на заданий розмір за лімбом верстата”.....</i>	<i>5</i>
<i>Лабораторна робота № 2 „Статистичний аналіз точності обробки партії деталей”</i>	<i>29</i>
<i>Лабораторна робота № 3 „Дослідження точності встановлення заготовок в трикулачковому самоцентрувальному патроні”</i>	<i>46</i>
<i>Лабораторна робота № 4 „Дослідження жорсткості технологічної системи токарно-гвинторізного верстата” статичним методом.....</i>	<i>54</i>
<i>Лабораторна робота № 5 „Дослідження жорсткості токарного верстата виробничим методом”</i>	<i>65</i>
Додатки.....	69
Рекомендована література.....	77

ПРАВИЛА ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Виконання лабораторних робіт – важлива частина процесу вивчення курсу „Теоретичні основи технологій машинобудування”, яка сприяє закріпленню теоретичних знань студентів і набуттю практичних навиків при розробці і дослідженні технологічних операцій та процесів.

При виконанні лабораторних робіт необхідно керуватися наступними правилами.

1. Лабораторні роботи виконують бригади, які складаються з двох-трьох чоловік. На деяких установках і верстатах допускається робота двох бригад одночасно.

2. Студенти повинні виконувати роботи відповідно до графіку, затвердженого кафедрою.

3. Кожний член бригади повинен завчасно самостійно підготуватися до виконання роботи: мати схему проведення досліджень, викреслити ескіз деталі і заготувати таблиці для запису та обробки результатів досліджень по формі, наведеній в методичних вказівках.

4. Перед початком роботи викладач проводить коротку співбесіду із студентами по змісту та методиці виконання лабораторної роботи. Погано підготовлені студенти до занять не допускаються.

5. Студенти, допущені до роботи, отримують у провідного інженера необхідні прилади, деталі, технологічну документацію та ін.

6. Кожна робота виконується на суворо закріпленому робочому місці. Переставляти прилади та інструменти з одного робочого місця на інше без дозволу викладача забороняється.

7. Вмикати верстати, прилади та інше обладнання можна тільки з дозволу провідного інженера або викладача після детального ознайомлення з їх будовою, принципом роботи і правилами техніки безпеки.

8. При виконанні роботи необхідно дотримуватися послідовності, наведеної в описі лабораторної роботи.

9. По закінченню роботи кожний член бригади повинен пред'явити викладачу протоколи та результати обробки отриманих даних, їх аналіз та короткі висновки. Викладач перевіряє отримані результати та підписує роботу, тільки в цьому випадку вона вважається закінченою.

10. По закінченні роботи студенти повинні здати провідному інженеру отримані приладдя і привести робоче місце в порядок.

11. На наступне заняття студенти представляють звіт про виконану роботу для отримання заліку.

12. Звіт оформлюють на папері формату А4 відповідно до вимог ДСТУ 3008-95 „Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення”, ДСТУ 3321-2003 „Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять”; ілюстративний та графічний матеріали – у відповідності з вимогами ЄСКД, ДСТУ ISO 128-20-2003 „Креслення технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії”, ДСТУ 2500-94 „Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми”.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

При виконанні лабораторних робіт по курсу „Теоретичні основи технологій машинобудування” доводиться працювати на металорізальних верстатах, мати справу з електричними машинами та іншими установками, які знаходяться під напругою. Тому необхідно дотримуватися правил техніки безпеки.

На першому занятті групи в семестрі викладач проводить інструктаж по техніці безпеки, що реєструється в спеціальній книзі з особистим підписом кожного студента. Перед виконанням чергової роботи провідний інженер повторно інструктує студентів у відповідності з темою занять.

При виконанні лабораторних робіт студентам необхідно дотримуватися наступних правил техніки безпеки.

1. Лабораторну роботу виконують тільки на справному обладнанні.

2. Перед початком роботи на верстаті або установці необхідно впевнитися, що всі вимикачі знаходяться в положенні „Вимкнено”.

3. Перед початком роботи на верстаті необхідно впевнитися в надійному закріпленні заготовки, пристосування та інструменту. Про виявлені несправності або порушення правил техніки безпеки необхідно повідомити викладача або провідного інженера.

4. Категорично забороняється вмикати обладнання без дозволу викладача або провідного інженера.

5. Під час проведення лабораторних робіт на верстатах та установках всі перемикання та регулювання повинна виконувати одна людина і лише однією рукою. Інша рука повинна бути вільною і не дотикатися до апаратури верстата або установки.

6. Студентам забороняється виконувати будь-які перемикання і регулювання на верстаті, які не передбачені описом лабораторної роботи.

7. У випадку несправності електричного обладнання верстата (установки), а також появи диму, іскріння або запаху перегрітої ізоляції необхідно негайно знеструмити верстат (установку). Про всі несправності необхідно повідомити викладача або провідного інженера.

8. Під час проведення лабораторних робіт забороняється відходити від машин та приладів, які увімкнені в мережу.

9. Перед початком циклу лабораторних робіт студенти повинні ознайомитися з даними правилами, правилами протипожежної безпеки та поведінки в лабораторії.

10. Студенти повинні знати розташування рубильників аварійного відключення енергії та місць розміщення засобів пожежогасіння в лабораторії.

Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ВСТАНОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА НА ЗАДАНИЙ РОЗМІР ЗА ЛІМБОМ ВЕРСТАТА

Мета роботи - встановити технологічні можливості токарних верстатів; експериментально визначити похибку встановлення інструмента на заданий розмір за лімбом верстата; за результатами досліджень виконати аналіз точності настроювання інструмента за лімбом верстата методом математичної статистики.

1.1. Теоретичні відомості

Точність виробів у машинобудуванні - важлива характеристика їх якості. Абсолютно точно виготовити деталь неможливо, оскільки впродовж її обробки виникають похибки. Це зумовлює різну точність обробки.

При реалізації технологічного процесу повинна бути забезпечена необхідна точність виготовлення деталей, яка вимагається конструкторськими документами, з одночасним забезпеченням заданої

продуктивності та економічності їх виготовлення. Крім того, необхідно вміти дослідити фактичну точність виконуваних технологічних процесів та аналізувати причини виникнення похибок обробки.

Похибки, що виникають під час обробки деталей різанням, поділяються на систематичні та випадкові.

Систематичні - це похибки, які для всіх заготовок оброблюваної партії залишаються постійними або ж закономірно змінюються при переході від однієї оброблюваної заготовки до іншої.

Випадкові похибки - це похибки, виникнення яких неможливо передбачити завчасно, які невизначено змінюються за величиною та знаком. Вони виникають через спільний прояв багатьох причин, наприклад, коливання припуску, неоднорідність оброблюваного матеріалу тощо. Випадкові похибки є причиною розсіювання розмірів деталей в одній партії.

При виготовленні деталей на металорізальних верстатах досить часто користуються лімбами, які дають можливість відраховувати необхідні переміщення вузлів верстата. При цьому неможливо точно отримати необхідне переміщення через вплив похибки встановлення.

Похибка встановлення розміру за лімбом верстата є випадковою. Вона залежить від багатьох змінних факторів: величини сили тертя в напрямних, жорсткості ланцюга переміщення, зносу гвинтової пари, зору робітника, освітленості робочого місця, ширини штрихів на шкалі лімба, неточностей кроку гвинта та нанесення поділок на лімбі тощо.

Аналізуючи точність технологічного процесу, важливо визначити ступінь впливу на нього випадкових похибок. Дослідження таких похибок ґрунтується на висновках теорії імовірностей та математичної статистики.

Для зручності дослідження випадкових величин користуються кривими розподілу, що будуються на основі багаторазових спостережень одного і того ж явища, тобто на основі методів математичної статистики.

За емпіричними (дослідними) кривими розподілу можна орієнтовно визначити, якому із відомих законів розподілу найближче відповідає розподіл випадкової похибки.

1.1.1. Побудова емпіричних кривих

Побудова емпіричних (дослідних) кривих розподілу випадкових похибок, що описуються законом нормального розподілу, виконується в такій послідовності:

1. За результатами n вимірювань визначається зона розсіювання

розмірів

$$R = l_{max} - l_{min},$$

де l_{max} та l_{min} - відповідно найбільше та найменше значення вимірюваних величин.

2. Отримана зона розсіювання ділиться на ряд рівних інтервалів (залежно від кількості вимірювань), що розташовуються в порядку їх збільшення (або зменшення). При кількості вимірювань близько 100, як правило, приймається 7... 11 інтервалів.

3. Підраховується кількість вимірювань, які потрапили до кожного інтервалу, тобто визначається частота появи вимірювання m_i у кожному i -му інтервалі. Якщо яке-небудь з них потрапляє на межу інтервалу, то в суміжні інтервали відноситься по 0,5 одиниці.

4. Відкладаються на осі абсцис значення обраних інтервалів та позначаються їх середини $l_{сер}$.

5. Із середини кожного інтервалу встановлюється перпендикуляр, на якому відкладається значення частоти m_i для кожного з n інтервалів.

6. Будується полігон розподілу досліджуваних розмірів шляхом з'єднання ламаною лінією отриманих точок.

1.1.2. Коротка характеристика законів розподілу випадкових величин

1.1.2.1. Закон нормального розподілу (закон Гауса)

Геометрична форма отриманої кривої залежить від ступеня впливу випадкових похибок на досліджуваний процес. Якщо в досліджуваному процесі немає факторів, які б здійснювали переважний вплив, то найбільш імовірно буде зміна похибок згідно до закону нормального розподілу або за законом Гауса.

Рівняння кривої нормального розподілу

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l_i - a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.1)$$

де σ - середнє квадратичне відхилення;

a - середнє арифметичне значення випадкової величини;

e - основа натурального логарифму ($e = 2,718\dots$).

Сталі величини a та σ називаються параметрами розподілу.

В експериментальних дослідженнях з обмеженою кількістю дослідів визначаються наближені значення параметрів, що характеризують випадкові похибки. Сюди відноситься визначення середнього арифметичного значення випадкової похибки \bar{X} та емпіричне середнє квадратичне відхилення S .

У випадку невеликої кількості вимірювань

$$\bar{X} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_i}{n}, \quad (1.2)$$

де l_i - результати окремих спостережень;

n - загальна кількість спостережень.

Для спрощення розрахунків в лабораторній роботі рекомендується значення випадкової похибки визначати за середніми розмірами інтервалів та частотами потрапляння цих значень в кожен інтервал:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n l_{icер} m_i}{n}, \quad (1.3)$$

де $l_{icер}$ - середнє значення i -го інтервалу;

m_i - частота потрапляння розміру в i -й інтервал.

Емпіричне середнє квадратичне відхилення S визначається згідно наступної наближеної формули:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (l_{icер} - \bar{X})^2 m_i}{n}}. \quad (1.4)$$

Розраховуючи параметри \bar{X} та S , не виключена можливість появи похибки в їх визначенні, якщо при проведенні дослідів були допущені грубі помилки, які необхідно своєчасно виявити та виключити з результатів досліджень.

Наведені оцінки параметрів розподілу випадкових похибок справедливі, якщо останні відповідають закону Гауса. Тому при дослідженні випадкових похибок необхідно оцінити міру вказаної відповідності. У першому наближенні якісна оцінка ступеня

відповідності емпіричного розподілу закону нормального розподілу може бути надана за зовнішнім виглядом емпіричної кривої.

Візуально порівняльну оцінку зручно виконувати з використанням суміщених графіків емпіричного та теоретичного розподілів, побудованих в одному масштабі (рис. 1.1).

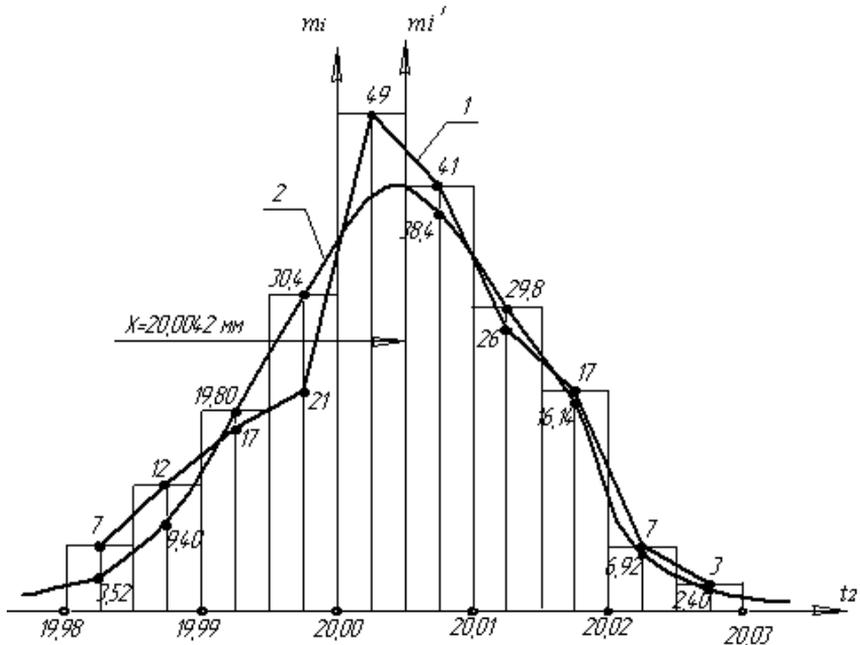


Рис. 1.1. Криві розподілу:

- 1 - емпірична;
- 2 - теоретична

При визначенні середнього квадратичного відхилення за даними безпосередніх вимірювань заготовок та розрахунків похибка визначення середнього квадратичного, яке позначається в даному випадку буквою S , залежить від загальної кількості n виміряних заготовок і в окремих випадках досить значна. Враховуючи цю обставину, для попередження можливої появи браку доцільно при використанні формули

$$w = 6\sigma$$

прийняти відношення

$$\sigma = \rho S$$

де S - середнє квадратичне відхилення, що визначається за формулою (1.4) на основі даних замірів партії заготовок;

ρ — коефіцієнт, який враховує похибку визначення середнього квадратичного при малих розмірах партії вимірних заготовок (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Максимальна похибка ΔS визначення S у відсотках до середнього квадратичного σ генеральної сукупності та значення поправочного коефіцієнта ρ при різній кількості вимірювань заготовок n

n , шт	ΔS , %	ρ	n , шт	ΔS , %	ρ
25	42,4	1,4	200	15,0	1,15
50	30,0	1,3	300	12,2	1,12
75	25,0	1,25	400	10,6	1,11
100	21,2	1,2	500	10,0	1,10

Закон нормального розподілу (закон Гауса) у більшості випадків виявляється справедливим при механічній обробці заготовок з точністю 8, 9 і 10-го квалітетів та грубіше.

При більш точній обробці розподіл розмірів звичайно підкоряється іншим законам.

1.1.2.2. Закон ексцентриситету (закон Релея)

Розподіл таких суттєво позитивних величин як ексцентриситет, биття, різностінність, непаралельність, неперпендикулярність, овальність, конусоподібність та деяких інших, що характеризуються їх абсолютними значеннями (тобто без врахування знаку), підкоряється закону розподілу ексцентриситету (закону Релея).

Розподіл за законом Релея формується зокрема тоді, коли випадкова величина R є радіус-вектором при двомірному гаусівському розподілі, тобто якщо вона представляє собою геометричну суму двох випадкових величин x та y

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (1.5)$$

кожна з яких підкоряється закону Гауса з параметрами:

$$L_{xcep} = L_{ysep} = L_{Rcep} = 0;$$

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_0.$$

Закон розподілу Релея однопараметричний і рівняння його кривої розподілу має вигляд

$$y = \frac{R^2}{\sigma_0^2} e^{-\frac{R^2}{2\sigma_0^2}}, \quad (1.6)$$

де σ_0 — середнє квадратичне відхилення значень координат x та y .

На рис. 1.2,б показано, що для теоретичної кривої розподілу за законом Релея характерні стрімкий підйом зростаючої гілки та більш пологий спуск спадної гілки. Вершина кривої більш загострена, ніж у кривої нормального розподілу, і зміщена від середнього значення змінної величини R в сторону початку координат.

Із рівняння (1.6) випливає, що при $R = 0$ і $y = 0$, тобто початок кривої розподілу ексцентриситету співпадає з початком координат. Спадна гілка цієї кривої асимптотично наближається до осі абсцис.

Середнє арифметичне R_{cep} змінної випадкової величини (ексцентриситета, різностінності та інших), її середнє квадратичне відхилення σ_{cep} та середнє квадратичне відхилення σ_0 значень координат x та y кінця радіус-вектора R зв'язані між собою наступними співвідношеннями:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_R}{0,655}; \quad (1.7)$$

$$R_{cep} = 1,92; \sigma_{cep} = 1,253\sigma_0. \quad (1.8)$$

Фактичне поле розсіювання значень змінної величини радіус-вектора R (ексцентриситета, різностінності, непаралельності та інших) знаходять із виразів:

$$\omega = 5,252\sigma_R \quad (1.9)$$

$$\omega = 3,44\sigma_0. \quad (1.10)$$

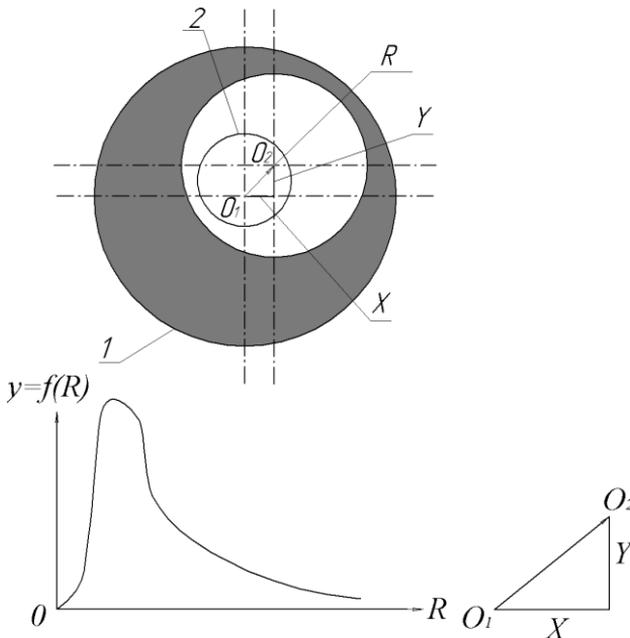


Рис. 1.2.

а - утворення ексцентриситету (радіус-вектора R) втулки 1 при її обробці на циліндричній оправці 2 при різниці зазору між оправкою та отвором втулки;

б - графік функції $y=f(R)$ розподілу розмірів за законом Релея

1.1.2.3. Закон рівнобедреного трикутника (закон Сімпсона)

При обробці заготовок з точністю 7-го та 8-го, а в деяких випадках і 6-го квалітетів розподіл їх розмірів у більшості випадків підкоряється закону Сімпсона, який графічно виражається рівнобедренным трикутником (рис. 1.3,а) з полем розсіювання

$$\omega = 2\sqrt{6}\sigma \approx 4,9\sigma . \quad (1.11)$$

Величина середнього квадратичного відхилення σ в цьому випадку визначається за формулою

$$\sigma = \sqrt{\sum (l_i - a)^2 \frac{m_i}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (l_i - a)^2 m_i} .$$

1.1.2.4. Закон рівної імовірності

Якщо розсіювання розмірів залежить від змінних систематичних похибок (наприклад, від зносу різального інструмента), то розподіл дійсних розмірів партії оброблених заготовок підкоряється закону рівної імовірності.

Наприклад, при усталеному зносі різального інструмента зменшення його розмірів у часі підкорюється прямолінійному закону, що відповідно збільшує (при обробці валів) або зменшує (при обробці отворів), діаметри оброблюваних заготовок.

Природно, що зміна розмірів оброблюваних заготовок на величину $2l=b-a$ за період $T_2 - T_1$ у цьому випадку також відбувається за законом прямої лінії (рис. 1.3,б). Розподіл розмірів заготовок в інтервалі від a до b за законом рівної імовірності зображається прямокутником (рис. 1.3,в) з основою $2l$ та висотою (ординатою) $1/2l$.

Площа прямокутника дорівнює одиниці, що означає 100%-ву імовірність появи розміру заготовки в інтервалі від a до b . Середнє арифметичне значення розміру

$$L_{\text{сер}} = (a + b) / 2 . \quad (1.12)$$

Середнє квадратичне

$$\sigma = \frac{b - a}{2\sqrt{3}} = \frac{l}{\sqrt{3}} \approx 0,577l . \quad (1.13)$$

Фактичне поле розсіювання

$$\omega = 2\sigma\sqrt{3} \approx 3,46\sigma . \quad (1.14)$$

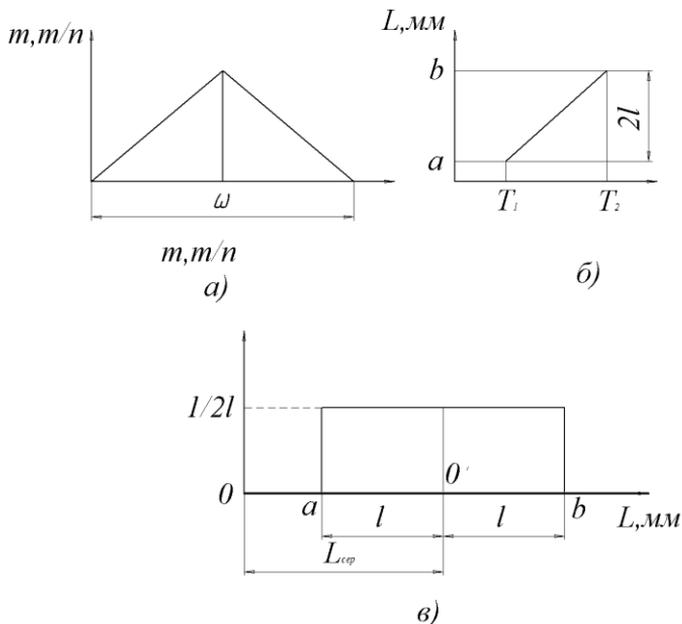


Рис. 1.3. Розподіл розмірів оброблених заготовок:

а - за законом Сімпсона;
 б, в - за законом рівної імовірності

Закон рівної імовірності розповсюджується на розподіл заготовок підвищеної точності (5-6-й квалітети і вище) при їх обробці за методом пробних ходів. З причини складності отримання розмірів дуже високої точності імовірність попадання розміру заготовки у вузькі межі допуску за середнім, найбільшим або найменшим його значенням стає однаковою.

1.1.2.5 Композиції законів розподілу

При обробці заготовок на точність їх розмірів зазвичай одночасно діють різні фактори, які викликають появу як випадкових похибок, що описуються різними законами, так і систематичних або змінних систематичних похибок. В подібних випадках закон розподілу розмірів оброблених заготовок представляє собою композицію декількох законів

розподілу.

Коли на розміри заготовок одночасно впливають випадкові фактори, які обумовлюють розсіювання розмірів за законом Гауса та систематичні похибки – $\Delta_{сист}$, крива Гауса (рис. 1.4,а) зміщується на величину цієї похибки, зберігаючи свою форму (рис. 1.4,б). В цьому випадку поле сумарного розсіювання розмірів заготовок визначається з виразу

$$\omega = 6\sigma + \Delta_{сист} \cdot \quad (1.15)$$

Наприклад, при розвертанні партії заготовок розсіювання розмірів діаметрів підкорюється закону нормального розподілу з полем розсіювання, що не змінюється (оскільки всі умови обробки залишаються незмінними), однак вершина кривої розсіювання зміщується на величину різниці діаметрів старої та нової розверток ($\Delta_{сист}=\Delta_n$). Поле сумарного розсіювання розмірів партії заготовок, оброблених обома розвертками, відповідно до виразу (1.5) також розширюється на величину цієї різниці.

Якщо при цьому крива розсіювання будується за замірами заготовок без врахування систематичної похибки (наприклад, коли вимірюється вся партія заготовок, оброблена при декількох налагоджуваннях, то форма загальної кривої розсіювання спотворюється і відрізняється від форми кривої Гауса (крива може мати декілька вершин різної висоти відповідно до кількості налагоджень та кількості заготовок, оброблених з кожного налагодження (рис. 1.4,в,г).

При обчисленні сумарної похибки обробки систематичні похибки складаються алгебраїчно, тобто з врахуванням їх знаків. Внаслідок цього результат підсумовування може показати не тільки збільшення, але й зниження загальної похибки в зв'язку з взаємною компенсацією впливу складових похибок. Наприклад, подовження різця в зв'язку з його нагріванням, яке зменшує діаметр обточеного вала, може компенсувати вплив зносу різця, який викликає збільшення діаметра обробки.

Систематична похибка з випадковою похибкою складаються арифметично відповідно до формули (1.15).

У більшості випадків механічної обробки заготовок на налагоджених верстатах на точність їх розмірів одночасно впливає велика кількість близьких за величиною та незалежних один від одного випадкових факторів, які обумовлюють розподіл розмірів за законом Гауса, та змінних систематичних похибок, які виникають внаслідок рівномірного зносу різального інструмента та визначають розподіл за

законом рівної імовірності або за іншими (наприклад, степеневим) законами.

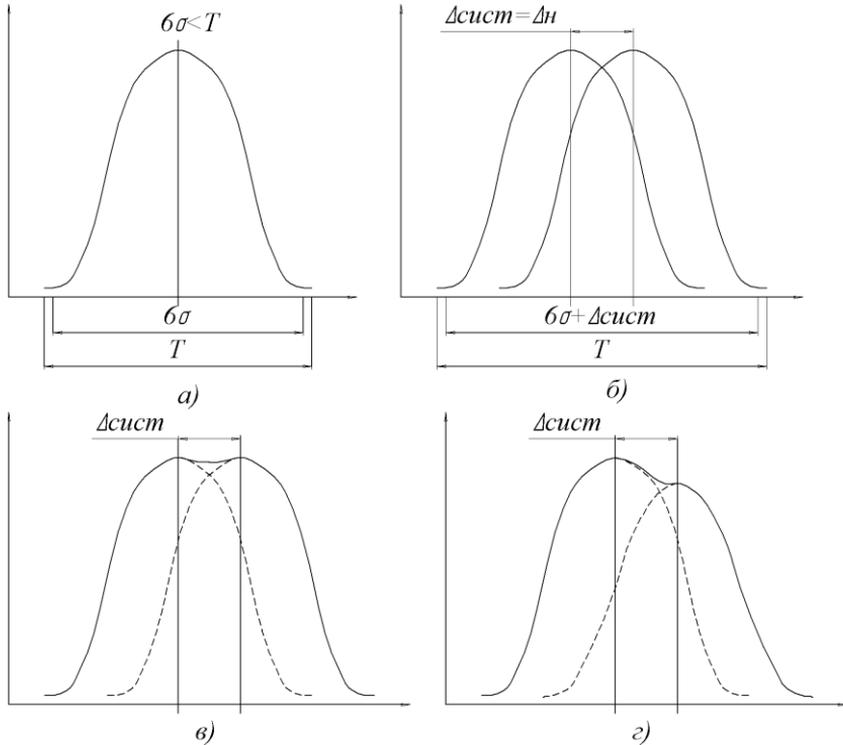


Рис. 1.4. Зміна форми сумарної кривої розсіювання під впливом $\Delta_{суст}$ при обробці декількох партій заготовок з налагодженням верстата

В подібних випадках зміна досліджуваної величини X_t (залежить від часу і сама функція може бути представлена в загальному вигляді на деякий момент часу t виразом

$$X_t = \sum_{i=1}^n Y_i + C_t, \quad (1.16)$$

де Y_i - незалежні або слабо залежні випадкові величини;
 C_t - сума не випадкових доданків, яка відповідає моменту часу t .

Композиція законів Гауса і рівної імовірності створює криві різної форми, які залежать від ступеня дії на кінцевий розподіл кожного із складових законів. Для розрахунків точності обробки заготовок при подібній композиції законів розподілу зручно користуватися розробленою професором Н.А. Бородачевим функцією розподілу $a(t)$, що є композицією (складанням) законів Гауса та рівної імовірності.

Функція $a(t)$ формується законом Гауса з його параметрами σ та $L_{сер}$, які залежать від точності виду обробки та технологічної системи, і законом рівної імовірності з параметрами $l=(b-a)/2$ (рис. 1.3,в), на величину поля розсіювання якого впливають швидкість та тривалість процесу (у випадку зносу інструмента l визначається питомим зносом та тривалістю різання). Таким чином, функція $a(t)$ відображає не тільки точність, але й тривалість процесу обробки.

Функцію $a(t)$ можна розглядати як результат рівномірного зміщення у часі вершини кривої Гауса із середнім квадратичним σ на величину параметра $2l$ кривої розподілу закону рівної імовірності.

На рис. 1.5 представлена крива $a(t)$, яка для деякого моменту часу t виражається формулою

$$a(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a-C_1)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1.17)$$

де σ - середнє квадратичне відхилення розподілу Гауса, який формує функцію $a(t)$;

a_0 - середнє арифметичне значення розміру в початковий момент часу.

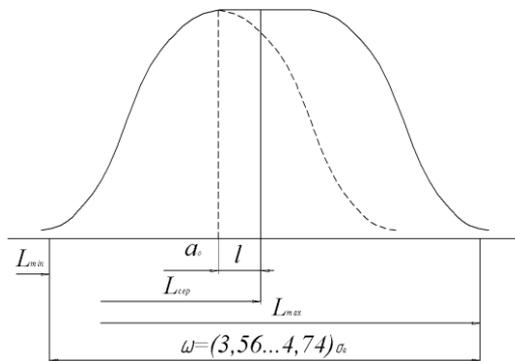


Рис. 1.5. Крива функції $a(t)$

Форма кривої розподілу композиційної часової функції $a(t)$ залежить від параметра λ_a , який визначається відношенням l до середнього квадратичного σ миттєвого гаусівського розподілу, тобто

$$\lambda_a = \frac{l}{\sigma}.$$

Лінійну функцію $a(t)$ можна представити у вигляді

$$a(t) = a_0 + 2lt = a_0 + 2\lambda_a \sigma t.$$

Середнє арифметичне значення розміру функції

$$L_{\text{сеп}} = a_0 + l = a_0 + \lambda_a \sigma.$$

Середнє квадратичне відхилення σ_a функції $a(t)$

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma^2 + \frac{l^2}{3}} = \sigma \sqrt{1 + \frac{1}{3} \lambda_a^2}.$$

На рис. 1.6 показана множина нормованих кривих розподілу лінійної функції $a(t)$ при різних значеннях λ_a . Всі криві симетричні, мають плоскі вершини та змінюють свій вид від кривої 1 нормального розподілу Гауса (при $l \rightarrow 0$ та $\lambda_a = 0$) до прямокутника 2 розподілу рівної імовірності (при $\lambda_a = \infty$ та $\sigma \rightarrow 0$).

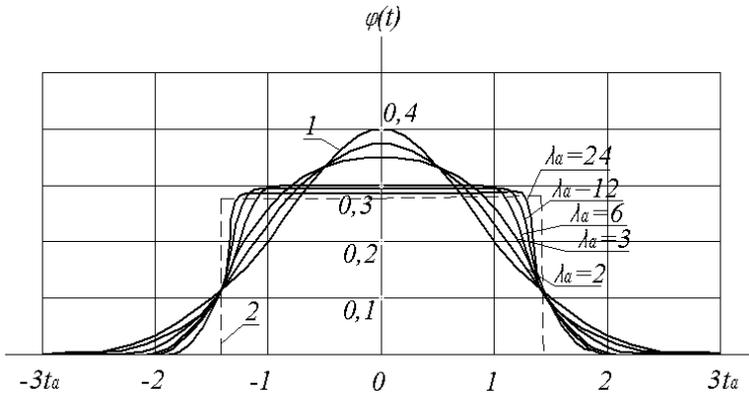


Рис. 1.6. Сімейство нормованих кривих розподілу лінійної функції $a(t)$ при різних значеннях λ_a

Поле розсіювання ω розмірів при функції розподілу $a(t)$ залежить від параметра λ_a наступним чином:

λ_a	3	6	10	24
ω	$4,74\sigma_a$	$4,14\sigma_a$	$3,76\sigma_a$	$3,56$

1.1.3. Побудова теоретичної кривої нормального розподілу

Важливою умовою визначення характеру отриманого внаслідок досліджень розподілу похибок є побудова на основі дослідних даних теоретичної кривої нормального розподілу.

Для цього представляють рівняння (1.1) кривої нормального розподілу в нормованому вигляді.

Нормування розподілу - це перехід від випадкової величини l_i до допоміжної величини t :

$$t = \frac{l_i - a}{\sigma}. \quad (1.18)$$

Підставивши значення t у формулу (1.1), отримаємо:

$$y = \varphi(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (1.19)$$

Функція $\varphi(t)$ називається щільністю імовірності нормального розподілу.

Для практичних розрахунків побудову теоретичної кривої рекомендується виконувати з використанням табульованих значень щільності імовірності стандартного нормального розподілу, тобто коли $\sigma=1$. Тоді формула (1.19) набуває вигляду:

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (1.20)$$

Табульовані значення $\varphi(t)$ стандартного нормального розподілу наведені в Додатку А.

Для приведення кривої нормального розподілу до однакового з емпіричною кривою масштабу вводиться масштабний коефіцієнт. У

цьому випадку з врахуванням масштабу рівнянням для визначення теоретичної частоти (ординати) для кожного i -го інтервалу буде:

$$y = m_i' = \frac{\Delta l}{s} \varphi(t_i) N, \quad (1.21)$$

де Δl — ширина інтервалу по осі абсцис, яка прийнята при побудові емпіричної кривої;

$\varphi(t_i)$ - щільність імовірності стандартного нормального розподілу для i -го інтервалу.

Послідовність математичних розрахунків при аналізі точності обробки партії деталей на основі закону нормального розподілу наведена в табл. 1.2 та табл. 1.3.

Емпірична (полігон розподілу) та теоретична криві, побудовані за результатами розрахунків, показані на рис. 1.1.

1.1.4. Оцінка відповідності емпіричного розподілу теоретичному

Візуальне порівняння емпіричної та теоретичної кривих нормального розподілу не завжди має об'єктивний характер.

Для перевірки гіпотези про відповідність досліджуваної кривої обраному теоретичному закону користуються так званими критеріями згоди. Для прийняття або неприйняття гіпотези за допомогою цих критеріїв встановлені рівні їх значимості.

Рівень значимості є достатньо малим значенням імовірності, що відповідає подіям, які в даних обставинах досліджень допустимо рахувати практично неможливими. В техніці частіш за все приймають п'ятивідсотковий рівень значимості (5% або 0,05).

Найбільш широко використовуються в математичній статистиці критерії згоди Колмогорова (λ -критерій) та Пірсона (χ^2 -критерій).

Критерій розподілу λ (критерій Колмогорова) відрізняється своєю простотою, тому він дуже часто використовується в практиці аналізу технологічних процесів. Даний критерій рекомендується використовувати тільки тоді, коли, виходячи із умов функціонування технологічного процесу, технолог впевнений в тому, що закон розподілу досліджуваної ознаки якості підлягає закону нормального розподілу і параметри розподілу визначені на основі достатньо великої кількості спостережень, тобто коли забезпечена висока точність та надійність обчислення цих параметрів.

Таблиця 1.2

Визначення середнього арифметичного \bar{X} та емпіричного середнього квадратичного S відхилень (параметрів закону нормального розподілу)

№ з/п	Інтервали вимірювання, мм	Середнє значення інтервалу $l_{ісеп}$, мм	Частота, m_i	$l_{ісеп} \cdot m_i$	$l_{ісеп} - \bar{X}$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2 m_i$
1	19,980-19,985	19,9825	7	139,8775	-0,0217	0,000471	0,003297
2	19,985-19,990	19,9875	12	239,850	-0,0167	0,000279	0,003348
3	19,990-19,995	19,9925	17	339,8725	-0,0117	0,000137	0,002329
4	19,995-20,000	19,9975	21	419,9475	-0,0067	0,0000448	0,000941
5	20,000-20,005	20,0025	49	980,1225	-0,0017	0,0000028	0,000137
6	20,005-20,010	20,0075	41	820,3075	0,0033	0,0000108	0,000443
7	20,010-20,015	20,0125	26	520,3250	0,0083	0,0000688	0,001789
8	20,015-20,020	20,0175	17	340,2975	0,0133	0,000177	0,003009
9	20,020-20,025	20,0225	7	140,1575	0,0183	0,0003348	0,002344
10	20,025-20,030	20,0275	3	60,0826	0,0233	0,0005429	0,001629
	Сума	-	200	4000,840	-	-	0,019266

Середнє арифметичне значення (див. табл. 1.2):

$$\bar{X} = \frac{\sum l_{icep} m_i}{N} = \frac{4000,840}{200} = 20,0042 \text{ мм};$$

Емпіричне середнє квадратичне значення:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (l_{icep} - \bar{X})^2 m_i}{N}} = \sqrt{\frac{0,019266}{200}} = 0,0098 \text{ мм}.$$

Таблиця 1.3

Розрахунок для побудови кривих розподілу

№ інтервалу	Середнє значення інтервалу	Частота, m_i	$t_i = \frac{l_{icep} - \bar{X}}{s}$	$\varphi(t_i)$	$\frac{\Delta l}{s} \varphi(t_i)$	m_i'
1	19,9825	7	-2,22	0,0339	0,0176	3,52
2	19,9875	12	-1,71	0,0925	0,0470	9,40
3	19,9925	17	-1,20	0,1942	0,0099	19,80
4	19,9975	21	-0,69	0,3144	0,1520	30,40
5	20,0025	49	-0,18	0,3925	0,1990	39,80
6	20,0075	41	0,34	0,3765	0,1920	38,40
7	20,0125	26	0,87	0,2732	0,1490	29,80
8	20,0175	17	1,36	0,1582	0,0807	16,14
9	20,0225	7	1,87	0,0681	0,0346	6,92
10	20,0275	3	2,38	0,0235	0,0120	2,40
	Сума	200				196,58

Критерій λ дає достатньо точні результати навіть при об'ємі вибірок у декілька десятків членів і простий в обчисленні:

$$\lambda = \frac{|m_{ni} - m'_{ni}|_{\max}}{N} \cdot \sqrt{N}, \quad (1.22)$$

де m_{ni} , m'_{ni} — відповідно накопичена емпірична та теоретична частоти.

Накопичені частоти m_{ni} та m'_{ni} визначають методом послідовного підсумовування частот і записують зростаючою сумою. Визначивши значення λ згідно Додатку Б, знаходять значення імовірності $P(\lambda)$.

Якщо внаслідок розрахунків отримали $P(\lambda) \geq 0,05$, то дослідний розподіл не протирічить закону нормального розподілу, а якщо $P(\lambda) < 0,05$, то гіпотеза відкидається, що пояснюється значними відхиленнями дослідного розподілу від закону нормального розподілу.

Критерій χ^2 (критерій Пірсона) використовується в тому випадку, коли перевіряється відповідність дослідного розподілу не тільки із законом нормального розподілу, а і з іншими законами розподілу.

При достатньо великій кількості спостережень даний критерій є найбільш достовірним, оскільки він забезпечує мінімальну похибку в прийнятті невірної гіпотези порівняно з іншими критеріями.

Критерій χ^2 визначають за формулою:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_i - m'_i)^2}{m'_i}, \quad (1.23)$$

де m_i - дослідна частота, що відповідає i -му інтервалу;

m'_i - теоретична частота, що відповідає i -му інтервалу;

k - кількість інтервалів.

Для обчислення χ^2 -критерію результати вимірювань групують по інтервалах так, щоб частота кожного інтервалу була не менша п'яти ($m_i \geq 5$), а кількість інтервалів рекомендується брати не меншою від восьми ($k \geq 8$). Інтервали, в яких m_i та m'_i менші за 5, об'єднуються із сусідніми.

Щоб оцінити близькість емпіричного та теоретичного розподілів, потрібно обчислити фактичне значення $\chi^2_{\text{факт}}$ і порівняти його з табличним значенням при заданому рівні значущості p і відповідному числі ступенів свободи f .

Кількість ступенів свободи f обчислюється за формулою:

$$f = k - p - 1, \quad (1.24)$$

де k - кількість інтервалів;

p - кількість параметрів теоретичного розподілу (для закону Гауса $p = 2$: σ та a).

Якщо розраховане значення $\chi^2_{\text{факт}} \leq \chi^2_{\text{табл}}$, то гіпотезу про відповідність емпіричного розподілу теоретичному приймають. Якщо ж $\chi^2_{\text{факт}} > \chi^2_{\text{табл}}$, то гіпотезу відхиляють.

Значення χ^2 -критерію залежно від значення f та $P(\chi^2)$ визначаються згідно з Додатком В або Г.

Приклади розрахунків χ^2 -критерія Пірсона та λ -критерія Колмогорова наведено в табл. 1.4.

Оцінка відповідності емпіричного розподілу теоретичному на основі критеріїв згоди не має повної визначеності. Якщо критерій, що використовується, потрапляє в область допустимих значень, то висновок про правильність гіпотези ще робити неможливо, а лише робиться висновок, що дане значення критерію не протирічить цій гіпотезі. Тому статистичними методами неможливо користуватися формально, а необхідно їх поєднувати з аналізом фізичної суті явища або процесу, що вивчається. Коли гіпотеза, що ґрунтується на теоретичному аналізі фізичної суті явища, підтверджується також статистичними прийомами, її достовірність є достатньо надійною.

1.2. Обладнання та устаткування

1. Токарний верстат з ЧПУ моделі 1В340Ф30, 16К20Ф30, 16К20 або 163.
2. Індикатор годинникового типу.
3. Магнітна стійка.

Таблиця 1.4

Визначення критеріїв згоди

№ з/п	$l_{ісер}$	m_i	m_i'	$m_i - m_i'$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$	$m_{ні}$	$m_{ні}'$	$m_{ні} - m_{ні}'$
1	19,9825	7	3,52	3,48	3,44	7	3,52	3,48
2	19,9875	12	9,54	2,46	0,63	19	13,06	5,94
3	19,9925	17	19,98	-2,98	0,44	36	33,04	2,96
4	19,9975	21	32,24	-11,24	3,92	57	65,28	-8,28
5	20,0025	49	40,02	8,98	2,02	106	105,30	0,7
6	20,0075	41	38,46	2,54	0,17	147	147,76	-0,76
7	20,0125	26	28,46	-2,46	0,21	173	172,22	0,78
8	20,0175	17	16,22	0,78	0,04	190	188,44	1,56
9	20,0225	7	7,14	-0,14	0,003	197	195,58	1,42
10	20,0275	3	2,42	0,58	0,14	200	198,00	2
					$\chi^2_{факт} = 11,01$			$\lambda = 0,42$

Примітки:

1. Для $f = 10 - 2 - 1 = 7$ і $p=0,05$ по Додатку В знаходимо імовірність $\chi^2_{табл} = 14,1$. Оскільки $\chi^2_{факт} < \chi^2_{табл}$, то гіпотезу відповідності емпіричного розподілу закону нормального розподілу можна вважати правдоподібною.

2. По Додатку Б визначаємо, що значення імовірності $P(\lambda) = 0,9923$. Оскільки $P(\lambda) > 0,05$, то емпіричний розподіл не протирічить закону нормального розподілу.

1.3. Порядок проведення роботи

1. Встановити лімб верстата (рис. 1.7) на вибрану поділку.

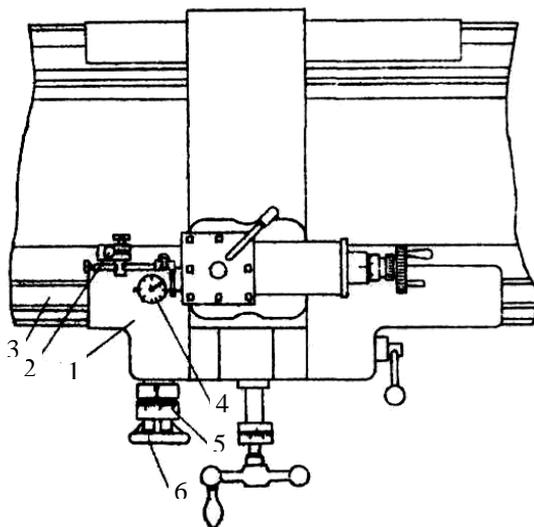


Рис. 1.7. Схема вимірювання похибок встановлення різального інструмента за лімбом верстата:

- 1 - супорт поздовжньої подачі;
- 2 - магнітна індикаторна стійка;
- 3 - станина верстата;
- 4 - індикатор;
- 5 - лімб поздовжньої подачі;
- 6 - маховик поздовжньої подачі

2. Встановити та закріпити на нерухомому вузлі верстата магнітну стійку з індикатором. Вимірювальний наконечник індикатора за дослідом має торкатись рухомої деталі верстата в поздовжньому або поперечному напрямку. Індикатор може бути встановлений на будь-яку поділку з деяким натягом.

3. За допомогою маховика поздовжньої або поперечної подачі (за завданням викладача) перемістити супорт верстата праворуч або на себе (виконавця). При цьому необхідно слідкувати, щоб обов'язково був вибраний зазор у гвинтовій парі, тобто маховик відповідного переміщення був повернутий на 0,5...1 оберт.

4. Не дивлячись на індикатор, перемістити супорт в початкове положення, повертаючи маховик у зворотний бік. Обрана поділка лімба повинна співпадати при цьому з нерухомим показником.

5. Записати показ індикатора l_i , що є похибкою встановлення різального інструменту в заданому напрямку на розмір за лімбом.

6. Багаторазово (120-150 разів) повторити пп. 3...5. Покази індикатора занести до протоколу дослідження за формою табл. 1.5.

7. Побудувати емпіричну криву розподілу. Для зручності обробки результатів спостережень покази індикатора згрупувати та звести в табл. 1.6.

8. Підрахувати значення \bar{X} та S за формулами (1.3) та (1.4).

9. Для побудови теоретичної кривої дані розрахунки звести в табл. 1.7.

10. Побудувати криву нормального розподілу, сумістивши її з дослідною кривою розподілу (рис. 1.1).

11. Порівняти емпіричну криву з теоретичною за критерієм згоди Пірсона (формула 1.23). Для спрощення проведення розрахунків заповнити табл. 1.8.

Таблиця 1.5

Протокол досліджень

Номер досліду	Покази індикатора, l_i	Номер досліду	Покази індикатора, l_i

Таблиця 1.6

Визначення середнього арифметичного \bar{X} та емпіричного середнього квадратичного S відхилень (параметрів закону нормального розподілу)

Номер інтервалу	Межі інтервалу вимірювання	Середнє значення інтервалу, $l_{ісеп}$	Частота, m_i	$l_{ісеп} m_i$	$l_{ісеп} \bar{X}$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2 m_i$
1							
2							
...							
	Сума						

Таблиця 1.7

Визначення теоретичної частоти m_i' закону нормального розподілу

Номер інтервалу	Середнє значення інтервалу, $l_{ісер}$	Частота, m_i	$t_i = \frac{l_i - \bar{X}}{S}$	Щільність імовірності, $\varphi(t_i)$	$\frac{\Delta l}{S} \varphi(t_i)$	Теоретична координата, m_i'
1						
...						
$\kappa-1$						
κ						
	Сума					

Таблиця 1.8

Вихідні дані для розрахунку χ -критерія Пірсона

Номер інтервалу	Межі інтервалу вимірювання	Середнє значення інтервалу, $l_{ісер}$	Частота, m_i	Теоретична частота, m_i'	$m_i - m_i'$	$\frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$
1						
...						
$\kappa-1$						
κ						
	Сума					

12. Скласти звіт.

1.4. Зміст звіту

1. Назва, мета роботи та її стислий опис.
2. Назва, модель та характеристика верстата, його технологічні можливості.
3. Дані про вимірювальні прилади,
4. Схема вимірювання похибок (див. рис. 1.7).
5. Протокол вимірювань згідно форми табл. 1.5.
6. Результати математичної обробки отриманих вимірювань за формою табл. 1.6...1.8.
7. Розрахунок параметрів \bar{X} та S закону нормального розподілу.
8. Графічне зображення дослідної кривої розподілу та

теоретичної кривої нормального розподілу (див. рис. 1.1).

9. Оцінка відповідності дослідного розподілу закону нормального розподілу за критерієм згоди Пірсона.

10. Розрахунок похибки встановлення різального інструменту в заданому напрямку на розмір за лімбаом.

11. Аналіз отриманих результатів та стислі висновки по роботі.

1.5. Контрольні питання

1. Види похибок, що виникають в процесі механічної обробки деталей.

2. Характеристика основних законів розподілу випадкових похибок.

3. Детальна характеристика законів:

а) Гауса;

б) Релея;

в) Сімпсона;

г) рівної імовірності;

д) композиції розподілу.

4. Характеристика критеріїв згоди.

5. Порядок побудови практичної (емпіричної) та теоретичної кривих розподілу.

6. Аналіз впливу параметрів закону нормального розподілу на форму теоретичної кривої.

Лабораторна робота № 2

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ ОБРОБКИ ПАРТІЇ ДЕТАЛЕЙ

Мета роботи - вивчити методику статистичного аналізу точності і стабільності механічної обробки заданої партії деталей.

2.1. Теоретичні відомості

Якість та точність виготовлення деталей машин залежать від великої кількості технологічних факторів. Ці залежності носять імовірнісний (стохастичний) характер. В теорії імовірності та

математичній статистиці розроблені методи, за допомогою яких можна об'єктивно оцінити характеристики точності реальних технологічних процесів.

Статистичні методи використовують для оцінки точності технологічних процесів; визначення рівня налагодження верстатів; оцінки стабільності технологічних процесів; визначення очікуваного відсотку браку; встановлення залежності між характеристиками точності суміжних операцій та вирішення інших задач.

У даній лабораторній роботі необхідно визначити основні показники точності, а також імовірну кількість браку при обробці партії деталей в заданих умовах. Оцінку точності та імовірнісний брак потрібно визначити на основі одного із законів розподілу випадкових величин.

2.1.1. Статистичні показники точності і стабільності технологічного процесу

Забезпечення необхідної точності і стабільності технологічного процесу характеризується:

- коефіцієнтом точності K_m ;
- коефіцієнтом рівня налагодження K_n ;
- показником зміщенням центру розсіювання K_{μ} ;
- показником міжналагоджувальної стабільності K_{mc} ;
- показником розсіювання K_p ;
- показником стабільності розсіювання K_c ;
- імовірною кількістю браку Q ;
- технологічним допуском T_m .

Коефіцієнт точності K_m :

$$K_m = \frac{T_d}{R}, \quad (2.1)$$

де T_d — поле допуску деталі за кресленням;

R — фактичне поле розсіювання розмірів деталі.

З певною точністю можна вважати, що для закону нормального розподілу відхилення дійсних розмірів всієї партії деталей від середнього розміру знаходиться в межах від -3σ до $+3\sigma$, тобто

$$R = 6\sigma. \quad (2.2)$$

Помилка розрахунків при цьому становить 0,27%, що цілком допустимо.

Якщо допуск на обробку $T_\partial > \omega$, то всі деталі партії за розмірами придатні і брак відсутній.

Коефіцієнт точності K_m характеризує вплив переважно випадкових факторів. При аналізі точності технологічного процесу можна отримати декілька варіантів:

1. Якщо $K_m > 1$, то обробка може виконуватись без браку (при умові правильного налагодження верстата, що забезпечує суміщення вершини кривої розсіювання із серединою поля допуску).

2. При $K_m < 1$ брак допустимий.

3. При $K_m \geq 1,2$ процес обробки вважається надійним.

Коефіцієнт точності налагодження K_n :

$$K_n = \frac{\Delta_n}{T_\partial}, \quad (2.3)$$

де Δ_n - величина зміщення вершини кривої розсіювання від середини поля допуску (похибка налагодження).

Потрібно розрізняти відповідно фактичний $K_{нф}$ та допустимий $K_{нд}$ коефіцієнти точності налагодження:

$$K_{нф} = \frac{\bar{X} - \Delta_0}{T_\partial}, \quad (2.4)$$

$$K_{нд} = \frac{T_\partial - 6s}{T_\partial}, \quad (2.5)$$

де \bar{X} - середнє арифметичне значення дослідного розподілу;

Δ_0 - координата середини поля допуску.

За допомогою коефіцієнта точності налагодження K_n оцінюють положення середини поля розсіювання щодо середини поля допуску, тобто визначають рівень налагодження технологічного процесу та характеризують вплив систематичних похибок.

Якщо $K_{нф} < K_{нд}$, коли $K_m > 1$, то зміщення середини поля розсіювання розмірів щодо середини поля допуску знаходиться в допустимих межах, що забезпечує отримання придатних деталей.

Якщо $K_{нф} > K_{нд}$, коли $K_m > 1$, то зміщення налаштування

інструмента на розмір вийшло за допустимі межі, наслідком чого є поява бракованих деталей.

Із вищевикладеного випливає, що достатніми умовами роботи без браку є наступні:

$$K_m > 1; K_{нф} < K_{нд}. \quad (2.6)$$

При відсутності зміщення середини поля розсіювання щодо середини поля допуску $\Delta_n = 0$ та $K_{нф} = 0$, що відповідає ідеальному налагодженню технологічного процесу.

Якщо умова (2.6) не виконується, можлива поява браку.

Показник зміщення центру розсіювання K_c характеризує відносну величину систематичної похибки, розраховується за формулою:

$$K_c = \frac{a_n - a}{T_\delta} = \frac{\Delta_{сист}}{T_m}, \quad (2.7)$$

де a_n — середнє арифметичне значення останнього перед новим налагодженням миттєвої вибірки;

$a_n - a = \Delta_{сист}$ - абсолютне значення систематичної похибки.

Показник міжналагоджувальної стабільності $K_{мс}$ характеризує стабільність роботи обладнання за міжналагоджувальний період:

$$K_{мс} = \frac{\sigma}{\sigma_1}, \quad (2.8)$$

де σ та σ_1 — середні квадратичні відхилення відповідно в останній та першій вибірках, випадкові величини, які розраховуються відповідно до вищенаведених формул.

В ідеальному випадку $\sigma = \sigma_1$ та $K_{мс} = 1$.

Показник розсіювання K_p характеризує ступінь відповідності поля розсіювання ω полю допуску T_δ , розраховується за вибірками (за винятком миттєвої):

$$K_p = \frac{\omega}{T_\delta}, \quad (2.9)$$

де $\omega = m\sigma$ - поле розсіювання;
m - показник, що залежить від закону зміни випадкової величини
(див. п. 2.1.3).

Показник стабільності розсіювання K_c характеризує зміну показника розсіювання K_p в часі; розраховується за вибірками (за винятком миттєвої), взятими в різні періоди часу:

$$K_c = \frac{K_{p1}}{K_{p2}}, \quad (2.10)$$

де K_{p2} - показник розсіювання, розрахований за формулою (2.9) для періоду часу t_2 ;

K_{p1} - той же показник для періоду часу t_1 ;

t_1 та t_2 — періоди часу, що вибираються залежно від стану виробничого процесу, окремих його операцій і вказуються у відповідних нормативних документах (галузевих інструкціях, заводських нормативах).

Доцільно відмітити, що всі показники точності і стабільності технологічного процесу, що розраховуються за результатами вибірок, є величинами випадковими і повинні оцінюватись на достовірність.

Граничні значення вищенаведених показників та коефіцієнтів визначаються в залежності від конкретних умов виробництва та вимог до якості виготовлених деталей.

2.1.2. Розрахунок кількості імовірного браку

Часто в реальних умовах виробництва за певних обставин неможливо забезпечити обробку крупних партій заготовок без браку, тобто з різних причин виконується обробка з коефіцієнтом точності

$$K_m = \frac{T_\delta}{\omega} < 1.$$

Прикладами таких обставин є:

- обробка при терміновому (або аварійному) виконанні замовлень в стислі терміни:

- замовлення сільськогосподарських підприємств, що пов'язані із графіком проведення сільськогосподарських робіт;
- кон'юнктурні умови в боротьбі за ринки збуту;

- військові замовлення, що пов'язані з контрактами на постачання військової техніки тощо;

- обробка заготовок при заданій собівартості (прейскурантній ціні) готових деталей, перевищувати яку недопустимо (виготовлення запчастин, товарів широкого споживання, замовлення по кооперації тощо);

- необхідність отримання точних деталей на зношених верстатах (наприклад, з причини відсутності інших) тощо.

В таких випадках обробка заготовок планується на швидкісних автоматах та напівавтоматах, миттєве поле розсіювання Δ_m у яких, як правило, перевищує допуск на обробку T_o .

В зв'язку з цим виникають розрахунки наслідків такого інженерного ризику: визначення числового значення імовірного браку; класифікація браку (виправний, невивправний), економічне виправдання тощо.

Імовірнісний відсоток браку партії оброблених заготовок обчислюється таким чином. При розсіюванні розмірів, що підлягає, наприклад, закону нормального розподілу, всі деталі в партії мають дійсні розміри в межах поля розсіювання $\omega=6\sigma$ (рис. 2.1). Площа, обмежена кривою нормального розподілу та віссю абсцис, дорівнює 1 та визначає 100% деталей партії. Площа заштрихованих ділянок є імовірнісною кількістю деталей (у частках одиниці або у відсотках), що виходять за своїми розмірами за межі поля допуску.

Для визначення кількості придатних деталей потрібно знайти площу, обмежену кривою та віссю абсцис на довжині, рівній полю допуску.

Площа, обмежена кривою нормального розподілу та віссю абсцис із врахуванням симетричності кривої, описується рівнянням:

$$2\Phi(l) = \frac{2}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{(l-a)^2}{2\sigma^2}} dl = 1,0. \quad (2.11)$$

Для визначення величини відповідних площ, обмежених верхньою та нижньою межею допуску та розташованих по обидві сторони від центра розсіювання, представимо рівняння (2.11) у нормованому вигляді у формі функції Лапласа:

$$2\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{t^2}{2}} dt = 1,0, \quad (2.12)$$

де $t = \frac{l_i - a}{\sigma} = \frac{X_0}{\sigma}$ - нормований параметр розподілу;

a - середнє арифметичне значення;

σ - середнє квадратичне значення випадкової величини.

Значення цієї функції табульовані залежно від величини t та наведені в Додатку Д.

Визначивши імовірність отримання розмірів деталей у межах поля допуску, знаходять імовірність отримання розмірів деталей, що виходять за межі поля допуску, тобто імовірність отримання браку.

В даній лабораторній роботі імовірність отримання браку може визначатись для одного з двох випадків:

1. налагоджування верстата забезпечує симетричне розташування кривої розподілу щодо поля допуску (рис. 2.1,а);

2. налагоджування верстата зміщує положення вершини кривої розподілу від середини поля допуску (рис. 2.1,б).

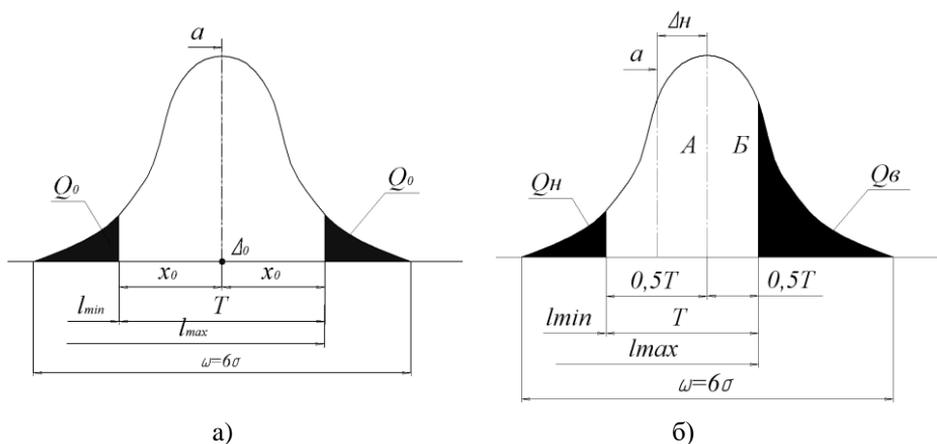


Рис. 2.1. Визначення імовірнісної кількості браку

Q_n - по нижній межі допуску;

Q_b - по верхній межі допуску при:

а - симетричному розташуванні поля розсіювання щодо поля допуску;

б - несиметричному розташуванні поля розсіювання щодо поля допуску

Розрахунок імовірнісного браку ведеться згідно наступних формул.

Для першого випадку:

$$Q = [1 - 2\Phi(t)] \cdot 100, \quad (2.13)$$

де

$$t = \frac{l_{max} - l_{min}}{2} = \frac{T_{\delta}}{2}.$$

Для другого випадку:

зміщення вершини кривої розсіювання від середини поля допуску:

$$\Delta_H = a - \Delta_0 = a - \frac{l_{max}^{\rho} + l_{min}^{\rho}}{2},$$

де a - середній арифметичний розмір;

l_{max}^{ρ} - верхнє граничне значення досліджуваного розміру (за кресленням),

l_{min}^{ρ} - нижнє граничне значення досліджуваного розміру.

Значення нормованого параметру розподілу t відповідно для верхнього та нижнього граничних розмірів:

$$t_{max} = \frac{l_{max} - a}{\sigma};$$
$$t_{min} = \frac{l_{min} - a}{\sigma}.$$

Імовірність отримання браку по верхній межі допуску:

$$Q_e = [0,5 - \Phi(t_{max})] \cdot 100, \quad (2.14)$$

та по нижній межі

$$Q_H = [0,5 - \Phi(t_{min})] \cdot 100. \quad (2.15)$$

Таким чином, для вирішення ряду інженерних задач, приклади яких наведені вище, технічна задача переводиться в економічну з

прийняттям рішення за критерієм "доцільно" - "недоцільно".

Узагальнена послідовність дій при цьому наступна:

1. Визначається імовірнісний процент браку.
2. Виконується класифікація браку за категоріями: повний, виправний, невивправний брак, співвідношення між якими принципово можна змінювати як якісно, так і кількісно.
3. Визначаються повні збитки від браку невивправного та вартість (що теж є збитками) додаткової обробки виправного браку (або вручну шляхом викінчення, або обробкою на прецизійних верстатах: токарних, шліфувальних, викінчувальних тощо).
4. Визначається зниження собівартості та економія від переводу обробки деталей з прецизійних універсальних верстатів на високопродуктивні автомати та напівавтомати зниженої точності обробки.
5. Порівнюються результати розрахунків, що отримані в п. 3 та п. 4, та приймається остаточне рішення.

Якщо обробку заготовок виконують на просто зношених верстатах, то порівнюються збитки, що розраховані в п. 3, із витратами по виготовленню цих же деталей на іншому підприємстві або в особистому інструментальному цеху, де вартість обробки зростає, причому іноді досить суттєво (часто в 5-10 разів).

2.1.3. Визначення технологічного допуску

Технологічний допуск T_m (на відміну від заданого за кресленням допуску T_d на розмір поверхні) характеризує той допуск, що фактично забезпечується при існуючому технологічному процесі та дорівнює:

$$T_m = \omega + \Delta_n, \quad (2.16)$$

де ω - практичне поле розсіювання випадкової величини (розміру деталі):

$\omega = 6\sigma$ - для закону Гауса;

$\omega = \begin{cases} 5,252\sigma_R \\ 3,44\sigma_0 \end{cases}$ - для закону Релея;

$\omega \approx 4,9\sigma$ - для закону Сімпсона;

$\omega \approx 3,46\sigma$ - для закону рівної імовірності.

Δ_n — фактичне зміщення вершини кривої нормального розподілу від середини поля допуску,

$$\Delta_n = a - \Delta_0.$$

Відношення потрібного допуску за кресленням T_∂ до технологічного допуску T_m називається ресурсом точності P_m :

$$P_m = \frac{T_\partial}{T_m}. \quad (2.17)$$

Коли $P_m \geq 1,2$, технологічний процес вважається задовільним.

2.1.4. Використання кривих розподілу для налагодження верстатів

Для виконання технологічного процесу та операцій з метою забезпечення заданої точності обробки виконують налагодження всіх елементів технологічної системи, в тому числі і металорізальних верстатів. Першим його етапом є так зване статичне налагодження, що виконується, як правило, поза верстатом. Методика цього виду налагодження та його корекція тут не розглядаються.

В серійному та крупносерійному виробництві висновки про якість налагодження верстатів після виготовлення пробної партії деталей із m штук виконуються на основі методів математичної статистики.

Існують принципово два різних методи налагодження верстатів з використанням кривих розподілу:

- налагодження за пробними деталями за допомогою робочих калібрів;
- налагодження за пробними деталями за допомогою калібрів із звуженими допусками (калібри налагодчика).

2.1.4.1. Налагодження за пробними деталями за допомогою робочих калібрів

Даний метод полягає в тому, що після попереднього статичного налагодження пробна партія із m деталей контролюється робочими калібрами із сторонами їх виконавчих розмірів ПР (прохідна сторона) та НЕ (непрохідна сторона). У випадку придатності дослідної партії з m деталей наладку вважають правильною і дозволяється обробка всієї партії n деталей, причому $n \gg m$.

Це - найпростіший та найдешевший метод налагодження та його корекції (підналагодження). При цьому поле допуску наладки дорівнює

допуску на обробку даної поверхні деталі.

Але цей метод не гарантує невихід контрольованого розміру деякої частини деталей за межі поля допуску при обробці крупної партії деталей навіть, якщо $T_{\sigma} > \omega$. При цьому крива розсіювання при обробці всієї партії (з урахуванням дослідної) може займати різні імовірні положення по відношенню до однієї з меж поля допуску: сприятливе - криві 1 та 2, або несприятливе - криві 1' та 2' (рис. 2.2).

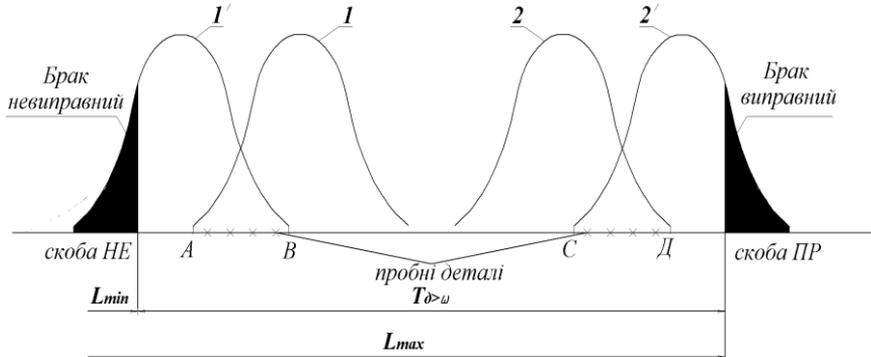


Рис. 2.2. Імовірнісне розташування кривих розподілу при налагодженні верстата за пробними деталями за допомогою робочих калібрів при обробці валів:

1, 2 - сприятливе розташування кривих розподілу;
1', 2' - несприятливе розташування кривих розподілу.

При збільшенні кількості m пробних деталей (що економічно не вигідно) імовірність браку зменшується, але не виключається. Для повної ліквідації браку використовують другий метод.

2.1.4.2. Налаштування за пробними деталями за допомогою калібрів із звуженими допусками (калібрів наладчика)

Сутність методу полягає у визначенні номінальних розмірів калібрів L_B (ПР) та L_A (НЕ) (рис. 2.3), тобто у визначенні інтервалу налаштування, в який повинні "попасти" розміри пробних деталей партії із m штук (або їх середньоарифметичні відхилення). При цьому брак теоретично неможливий.

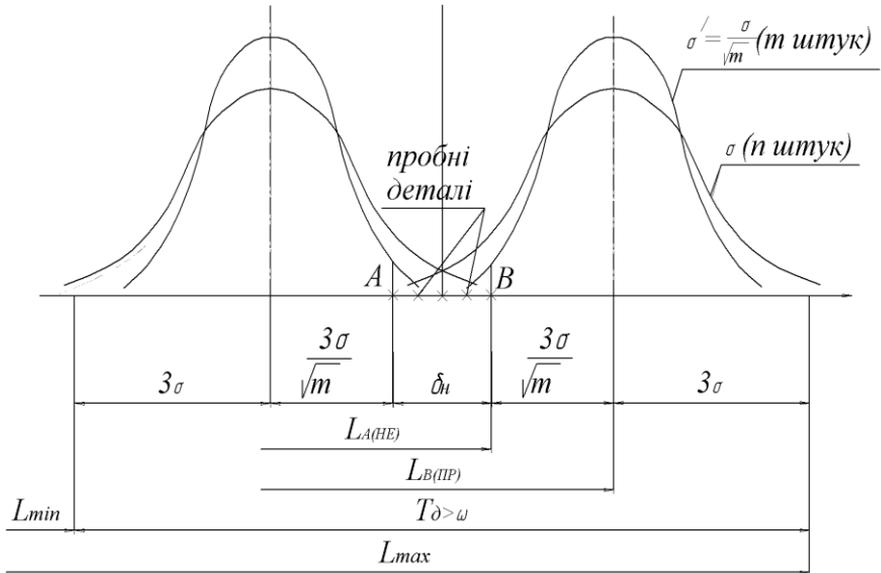


Рис. 2.3. Розташування кривих розподілу під час обробки при налагодженні верстата за допомогою калібрів із звуженими допусками

Цей метод базується на наступному положенні теорії імовірностей.

Якщо є партія оброблених деталей із n штук, розподіл відповідних розмірів яких підкоряється закону Гауса із середньоквадратичним відхиленням σ і цю ж партію розбити на групи по m штук в кожній, то розподіл групових середніх також буде підкорятися закону Гауса із середньоквадратичним відхиленням розмірів

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}. \quad (2.18)$$

Тому, якщо пробні деталі партії із m штук попадають в інтервал AB , то розподіл всієї партії буде описуватися більш стрімкою кривою з $\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{m}}$ і ніколи не вийде за межі поля допуску T_δ , тобто вся партія n деталей буде оброблена без браку.

Номинальні розміри налагоджувальних калібрів визначаються за наступними формулами:

$$L_B(ПР) = L_{max} - 3\sigma - 3\sigma \cdot \frac{1}{\sqrt{m}}; \quad (2.19)$$

$$L_A(HE) = L_{min} + 3\sigma + 3\sigma \cdot \frac{1}{\sqrt{m}}. \quad (2.20)$$

Після віднімання (2.20) від (2.19) отримаємо:

$$\left. \begin{aligned} L_A(HE) - L_B(ПР) &= \Delta_H, \\ \Delta_H &= T_\delta - 6\sigma \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right). \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

Загальною умовою обробки без браку є вираз:

$$6\sigma \cdot \left(1 + \frac{1}{\sqrt{m}}\right) + \Delta_H \leq T_\delta. \quad (2.22)$$

Розрахунки випадкових факторів дійсні до початку дії систематичних факторів (теплових деформацій, розмірного зношування різального інструменту тощо).

Для компенсації впливу цих факторів при обробці партії із n деталей без браку додатково зменшують інтервал налагоджування на сумарну величину b - величину систематичних похибок, що виникають, за час обробки вказаної партії, збільшуючи тим самим час до переналагодження або підналагодження (рис. 2.4).

$$\Delta_H = T_\delta - 6\sigma \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right) - b, \quad (2.23)$$

де b — розрахункова величина для передбаченого часу налагодження, що викликає заміну номінального розміру одного із калібрів.

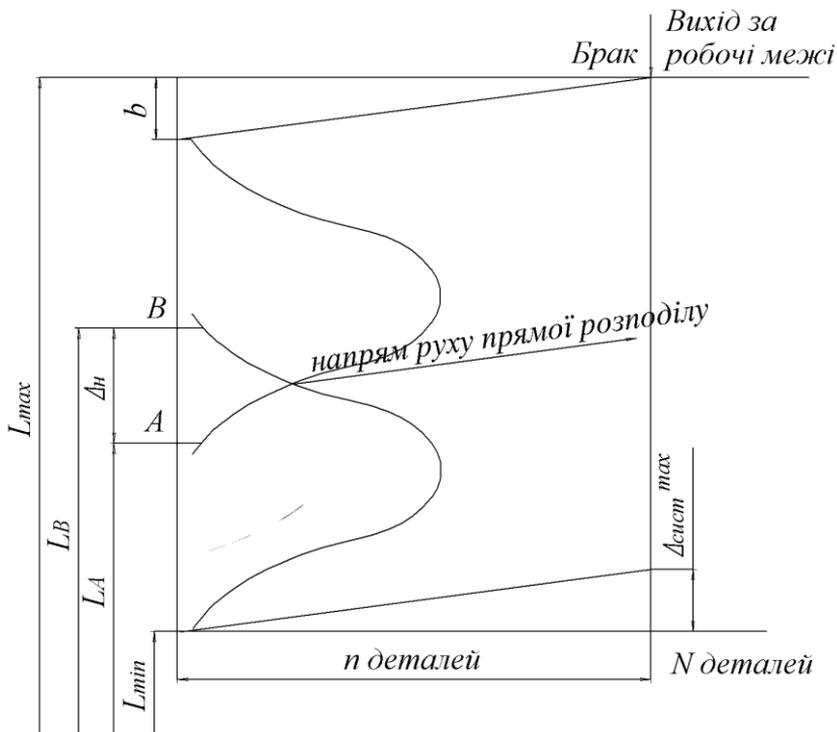


Рис. 2.4. Розташування кривих розподілу при налагодженні верстата за допомогою калібрів наладчика при дії систематичних факторів

2.2. Обладнання та устаткування

1. Партія деталей, оброблених на токарному напівавтоматі.
2. Робочий кресленик деталі.
3. Штангенциркуль.
4. Стійка вимірювальна.

2.3. Порядок виконання роботи

1. Виміряти досліджуваний розмір в партії деталей (рис. 2.5). Ціна поділки вимірювального інструмента повинна бути не більша 1/6 величини допуску на розмір, кількість деталей в партії - не менше 50.

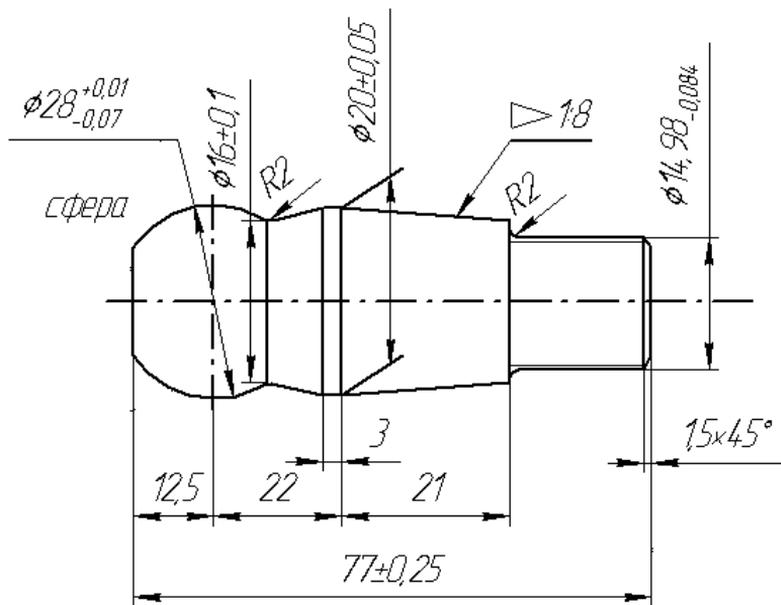


Рис. 2.5. Деталь для експерименту

2. Результати вимірювань занести до протоколу досліджень згідно форми табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Протокол досліджень

Порядковий номер вимірювання	Величина контролюваного розміру l_i , мм	Порядковий номер вимірювання	Величина контролюваного розміру l_i , мм
1			
...			

3. Визначити граничне поле розсіювання розмірів деталі, для чого розділити все поле розсіювання вимірюваного розміру на інтервали, підрахувати кількість розмірів, що потрапили в кожен інтервал, тобто визначити частоту m_i .

4. Побудувати полігон розподілу досліджуваних параметрів.

5. Визначити статистичні параметри закону нормального розподілу (середній розмір \bar{X} , емпіричне середнє квадратичне відхилення S) та теоретичну частоту. Результати розрахунків записати у формі табл. 2.2. та табл. 2.3.

Таблиця 2.2

Визначення параметрів закону нормального розподілу

№ п/п	Інтервали вимірювання	Середнє значення інтервалу $l_{ісеп}$, мм	Частота m_i	$l_{ісеп} \cdot m_i$	$l_{ісеп} - \bar{X}$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2 \cdot m_i$
1							
2							
...							

Таблиця 2.3

Визначення теоретичної частоти закону нормального розподілу

№ п/п	Середнє значення інтервалу $l_{ісеп}$, мм	Частота, m_i	Нормований параметр, $t_i = \frac{l_{ісеп} - \bar{X}}{S}$	Щільність імовірності, $\varphi(t_i)$	$\frac{\Delta l}{S} \varphi(t_i)$	Теоретична частота, m'_i
1						
2						
...						

6. Побудувати теоретичну криву розподілу та показати на ній поля допуску за технічними умовами.

7. Визначити закон розподілу випадкової величини (розміру деталі), використовуючи теоретичні відомості лабораторної роботи № 1. Результати розрахунків занести до табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Вихідні дані для розрахунку критерію Колмогорова

№ п/п	Частота		Накопичена частота		$m_{ni} - m'_{ni}$
	практична m_i	теоретична m'_i	практична m_{ni}	теоретична m'_{ni}	
1					
2					

...					
-----	--	--	--	--	--

8. Визначити основні показники точності (K_m , $K_{нф}$, $K_{нд}$) досліджуваного процесу обробки деталі, проаналізувати їх та зробити висновки.

9. Визначити імовірнісний відсоток виправного та невивправного браку.

10. Вирахувати технологічний допуск T_m на досліджуваний розмір, порівняти його з допуском за кресленням T_o та зробити висновки.

11. Визначити ресурс точності P_m .

2.4. Зміст звіту

1. Назва, мета та стислий виклад змісту роботи.
2. Стисла характеристика обладнання, на якому оброблюється досліджувана партія деталей.
3. Характеристика вимірювальних приладів.
4. Робочий кресленник деталі, одна із поверхонь якої вимірюється.
5. Результати вимірювань за формою табл. 2.1.
6. Результати математичної обробки вихідних даних у вигляді табл. 2.2 та табл. 2.3.
7. Розрахунки параметрів \bar{X} та S закону розподілу.
8. Розрахунок основних показників точності технологічного процесу, їх аналіз та оцінка.
9. Перевірка відповідності дослідного розподілу закону нормального розподілу за критерієм Колмогорова, подана у вигляді табл. 2.4.
10. Графічне зображення дослідної та теоретичної кривих розподілу розмірів із зазначенням усіх необхідних розмірів.
11. Розрахунок технологічного допуску.
12. Аналіз отриманих результатів та стислі висновки щодо роботи.

2.5. Контрольні запитання

1. Характеристики законів розподілу.
2. Практичне використання законів розподілу для аналізу точності обробки.
3. Використання закону нормального розподілу для аналізу

точності обробки та аналіз його параметрів.

4. Показники точності та стабільності технологічного процесу.
5. Визначення імовірнісної кількості виправного браку.
6. Визначення імовірнісної кількості невиправного браку.
7. Визначення імовірнісної кількості браку за нижньою межею допуску.
8. Визначення імовірнісної кількості браку за верхньою межею допуску.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ВСТАНОВЛЕННЯ ЗАГОТОВОК В ТРИКУЛАЧКОВОМУ САМОЦЕНТРУВАЛЬНОМУ ПАТРОНІ

Мета роботи - вивчити конструктивні особливості самоцентрувальних токарних патронів; ознайомитися з методами підвищення точності встановлення заготовок у трикулачковому патроні; експериментально визначити похибки, що виникають при закріпленні заготовок у трикулачковому патроні; оцінити результати досліджень методами математичної статистики.

3.1. Теоретичні відомості

Одним із основних факторів, що впливає на точність обробки деталей на металорізальних верстатах, є похибка встановлення оброблюваної деталі на верстаті або у пристосуванні.

Встановленням називається процес базування та закріплення заготовки.

Похибка встановлення $\varepsilon_{вст}$ виражає похибку положення заготовки та визначається сумою похибок базування $\varepsilon_б$, закріплення $\varepsilon_з$ та виготовлення пристосування $\varepsilon_{пр}$:

$$\varepsilon_{вст} = \sqrt{\varepsilon_б^2 + \varepsilon_з^2 + \varepsilon_{пр}^2} .$$

Похибка базування $\varepsilon_б$ виникає внаслідок несуміщення

установочної бази з вимірювальною та визначається величиною коливань граничних відстаней від вимірювальної бази до встановленого на розмір інструмента.

Похибка закріплення ε_z виникає внаслідок зміщення заготовки під дією затискної сили, що прикладається для фіксації її положення. Похибка ε_z є різницею граничних відстаней від вимірювальної бази до встановленого на розмір інструменту внаслідок зміщення оброблюваних заготовок під дією сили затиску.

При обробці партії заготовок похибка ε_z може бути зведена до нуля, якщо вказане зміщення хоча й велике, але стале, оскільки поле допуску виконуваного розміру може бути скоректоване налагодженням верстата.

Похибка пристрою $\varepsilon_{пр}$ визначається похибками виготовлення та складання його установочних елементів $\varepsilon_{в.с.}$, їх зносом $\varepsilon_{зн.}$, а також похибками встановлення та фіксації пристосування на верстаті $\varepsilon_{в.ф.}$:

$$\varepsilon_{пр} = \sqrt{\varepsilon_{в.с.}^2 + \varepsilon_{зн.}^2 + \varepsilon_{в.ф.}^2} .$$

3.1.1. Встановлення деталей в трикулачкових патронах. Методи підвищення точності встановлення деталей

Базування для обробки деталей, що відносяться до тіл обертання, здійснюється за зовнішніми та внутрішніми циліндричними поверхнями з використанням самоцентрувальних пристроїв.

Самоцентрувальним називається пристрій, опорні поверхні якого рухомі та пов'язані між собою так, що можуть одночасно та з рівним переміщенням наблизитись до осі пристрою або віддалитися від неї.

Опорні поверхні самоцентрувального пристрою виконуються на кулачках або у вигляді суцільної циліндричної поверхні тонкостінної втулки, що пружно деформується під дією сил затиску.

Для переміщення опорних поверхонь у радіальному напрямку використовують різні механізми, серед яких найрозповсюдженішими є:

- спірально-рейкові;
- важільні;
- клинові;
- гвинтові;
- з гідропластом.

На їх основі створені різні варіанти самоцентрувальних патронів:

- трикулачкові;
- двокулачкові;

- цангові;
- гідропластні тощо.

Вказані пристрої широко використовуються для встановлення заготовок на верстатах різних груп (токарних, шліфувальних тощо).

Найпоширенішими в умовах одиничного та серійного виробництва є універсальні трикулачкові самоцентрувальні спіральнорейкові патрони. Вони дозволяють оброблювати деталі з досить великим діапазоном діаметрів, відрізняються конструктивною простотою та експлуатаційною надійністю. Початкова точність встановлення деталей в таких патронах дорівнює приблизно 0,1 мм. Але в процесі експлуатації патронів точність встановлення швидко зменшується до 0,2...0,4 мм. Причиною цього є те, що радіус кривизни на різних ділянках спіралі диска змінний, тому контакт із зубцями кулачки відбувається по вузьких площинах. Під дією сили затиску в зоні контакту виникають великі питомі навантаження, що призводять до інтенсивного спрацювання виступів на кулачках та зменшення точності.

У виробничих умовах для підвищення точності встановлення патронів широко використовується розточування або шліфування затискних поверхонь кулачків на максимальний розмір заготовки з оброблюваної партії. Кулачки в таких випадках оброблюються у навантаженому стані, але тоді точність встановлення підвищується до $\varepsilon_{\text{вст}} = 0,01...0,02$ мм.

Інший спосіб підвищення точності самоцентрувальних патронів - використання розрізаних втулок, що розточуються під діаметр зовнішньої базової поверхні оброблюваної заготовки. Оптимальна величина попереднього натягу втулки Δ (різниця ширини прорізуваного пазу та товщини прокладки) повинна надійно утримувати втулки в патроні при вивільненні (розтисканні) оброблюваної заготовки і не створювати в небезпечному перерізі напружень, що перевищують допустимі для даного матеріалу.

Положення розрізаної втулки в кулачках патрона повинно бути незмінним (сталим) як при розточуванні втулки, так і при закріпленні в ній оброблюваної заготовки. Враховуючи можливість довільного зміщення втулки в кулачках патрона, на втулці виконується мітка, що дозволяє при необхідності відновлювати її положення. Втулку при розточуванні необхідно закріплювати приблизно з таким же зусиллям, як і оброблювану деталь. Втулку для розточування та оброблювані заготовки потрібно закріплювати через одну і ту ж малу шестерню патрона.

Із збільшенням зазору між встановлюваною поверхнею втулки та базовою поверхнею деталі похибка $\varepsilon_{\text{вст}}$ збільшується. Оптимальним є

зазор біля 0,1 мм (що приблизно відповідає Н9).

Точність встановлення в патронах за допомогою розрізаних втулок може становити $\varepsilon_{вст} = 0,03...0,05$ мм. При встановленні партії заготовок (80... 120 штук) в одній і тій же розрізаній втулці точність встановлення зменшується. Це зумовлене пластичним деформуванням поверхонь втулки в місцях контакту із затискними кулачками, що призводить до зміщення втулки.

Поряд із спірально-рейковими патронами у виробництві використовуються універсальні трикулачкові рейкові патрони з гвинтовою передачею, які забезпечують точність встановлення оброблюваних заготовок $\varepsilon_{вст} = 0,05...0,10$ мм. Особливістю таких патронів є те, що зубчаті рейки та кулачки можуть бути виготовлені досить точно, коли контактні поверхні мають високу твердість.

Підвищення точності виготовлення визначає зменшення питомих навантажень та інтенсивності спрацювання робочих поверхонь.

Рейкові патрони з гвинтовою передачею довговічніші та дозволяють створювати великі зусилля закріплення. Але вони менш універсальні, оскільки діапазон розмірів заготовок, що закріплюються (так звана широкодіапазонність), коливається незначно. Для зміни діапазону необхідне переустановлення кулачків відносно рейок або заміна накладних кулачків.

3.1.2. Похибки, що виникають при встановленні деталей у трикулачкових патронах

Закріплюючи деталі у трикулачкових патронах, визначають похибки встановлення в осьовому та радіальному напрямках.

В процесі обробки деталей на токарному верстаті при підрізанні торців, східців або проточуванні канавок деталей закріплюють в патроні з упором базового торця деталі в торець кулачків. При такому закріпленні внаслідок дії ряду причин деталь при різних встановленнях займає щодо вісі різні положення. При цьому з'являється похибка встановлення в осьовому напрямку.

Основна причина виникнення цієї похибки - нерівномірність зусилля закріплення деталі. Під дією зусилля закріплення та моментів, що виникають від цього зусилля (окремі елементи патрона та кулачків деформуються), виникають контактні деформації між поверхнею кулачків та патрона. Все це призводить до перекошування кулачків та зміни положення затиснутої в них деталі в осьовому напрямку.

Аналогічно виникають похибки встановлення деталей і в радіальному напрямку, що призводить до збільшення радіального биття.

Величина похибки встановлення $\varepsilon_{вст}$ залежить від якості поверхневого шару деталі, тобто від шорсткості поверхні, по якій відбувається закріплення.

Оскільки при виконанні лабораторної роботи закріплення деталі здійснюється вручну і неможливо дотримуватись постійних зусиль закріплення, то похибку встановлення в даному випадку можна розглядати як випадкову величину, розподіл якої підкоряється одному із законів розподілу випадкових величин.

Крім зусилля закріплення на величину похибки встановлення деталі в трикулачковому патроні впливає велика кількість незалежних один від одного випадкових факторів. Тому точність встановлення деталі в патроні токарного верстата досліджується на основі використання методів математичної статистики. При цьому досліджувану заготовку багаторазово закріплюють в трикулачковому патроні і кожен раз вимірюють величину похибки встановлення $\varepsilon_{вст}$ в осьовому або радіальному напрямку. Дослідження виконують також залежно від шорсткості поверхні заготовок. Кількість вимірювань встановлюється в межах $30 \leq N \leq 50$, що імітує, встановлення партії деталей заданого обсягу.

3.2. Обладнання та інструменти

1. Токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20, 163 тощо, обладнаний трикулачковим самоцентрувальним патроном.
2. Зразки деталей для дослідження похибки встановлення.
3. Індикаторна голівка.
4. Магнітна стійка.

3.3. Порядок виконання роботи

1. Користуючись обладнанням, макетами та плакатами, що знаходяться в лабораторії, вивчити конструкції самоцентрувальних патронів, що використовуються для встановлення заготовок на токарних верстатах.

2. Вивчити методи підвищення точності встановлення заготовок в трикулачкових патронах.

3. Виконати експериментальні дослідження точності встановлення циліндричних заготовок, отриманих різними методами, в трикулачкових патронах.

4. Визначити похибку встановлення в осьовому напрямку (рис. 3.1). Для цього:

- встановити ступінчасту заготовку в трикулачковому патроні і, не закріплюючи, щільно притиснути її буртиком до торцевої поверхні кулачків;
- підвести супорт із закріпленим на ньому індикатором, вимірювальний наконечник якого повинен торкатись торця заготовки по лінії центрів з натягом 1...2 мм, після чого встановити стрілку індикатора на нуль;

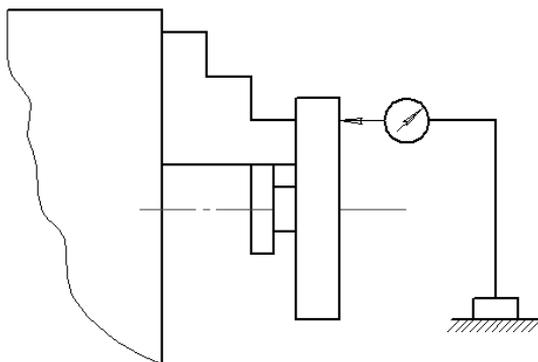


Рис. 3.1. Схема встановлення заготовки у трикулачковому патроні для визначення похибки в осьовому напрямку

- закріпити заготовку і записати відхилення індикатора в протокол випробувань у вигляді табл. 3.1.
- відкріпити заготовку, повернути її на деякий кут навколо своєї осі та знову щільно притиснути базовий торець до поверхонь патрона та закріпити, записати покази індикатора;
- повторити закріплення багаторазово (30...50 разів) та записати в протоколі випробувань покази індикатора.

Таблиця 3.1

Протокол випробувань

№ п/п	Величина похибки, мкм	№ п/п	Величина похибки, мкм	№ п/п	Величина похибки, мкм
1					
...					

5. Визначити похибку встановлення в радіальному напрямку (рис. 3.2), виконуючи наступне:

- встановити заготовку в патрон та попередньо закріпити так, щоб можна було "вибрати" зазор між базовою поверхнею заготовки та кулачками патрона;

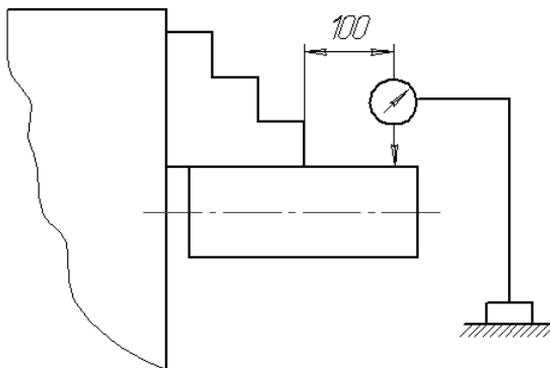


Рис. 3.2. Схема встановлення заготовки в трикулачковому патроні для визначення похибки в радіальному напрямку

- підвести супорт верстата із закріпленим на ньому індикатором, вимірвальний наконечник якого повинен торкатись поверхні заготовки по її поздовжній осі із натягом 1...2 мкм, після чого встановити стрілку індикатора на нуль;

- закріпити заготовку остаточно та записати відхилення індикатора в протокол випробувань у вигляді табл. 3.1;

- відкріпити заготовку та повернути її на деякий кут;

- багаторазово (50 разів) закріплюючи заготовку, записати покази індикатора, фіксуємого дійсну величину похибки, в протокол випробувань.

Повторити попередні пункти для заготовок із різним станом поверхневого шару (прокат необроблений, після чорнової лезової обробки, після шліфування).

Дані вимірювань занести в протокол.

6. Математично обробити результати досліджень точності встановлення заготовок:

- визначити для наступного дослідження середнє арифметичне \bar{X} та середнє квадратичне відхилення S досліджуваних похибок, проаналізувати отримані результати. Результати розрахунків з кожного виду досліджень записати у вигляді табл. 3.2;

Таблиця 3.2

Визначення \bar{X} та S

№ п/п	Межі інтервалу вимірювання	Середнє значення інтервалу $l_{ісеп}$, мм	Частота m_i	$l_{ісеп} \cdot m_i$	$l_{ісеп} - \bar{X}$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2$	$(l_{ісеп} - \bar{X})^2 \cdot m_i$
1							
...							

- побудувати для кожного дослідження теоретичні криві розподілу, прийнявши масштаб побудови для всіх графіків однаковим;
 - проаналізувати отримані графіки, звернувши увагу на зміну форми кривих залежно від \bar{X} та S і якості поверхні базування;
 - порівняти отримані результати з табличними та зробити висновки.

Оброблюючи отримані результати рекомендується скористатися методичними рекомендаціями до виконання лабораторної роботи № 1.

3.3. Зміст звіту

1. Назва, мета та стислий виклад змісту роботи, дані про вимірювальні прилади.
2. Коротка характеристика типових конструкцій самоцентрувальних патронів.
3. Основні методи підвищення точності встановлення заготовок у трикулачкових патронах.
4. Ескізи досліджуваних заготовок.
5. Схеми вимірювань похибок в осьовому та радіальному напрямках.
6. Результати вимірювань похибок встановлення для всіх дослідів у вигляді табл. 3.1.
7. Розрахунок значень \bar{X} та S для кожного дослідження. Послідовність розрахунків подати у вигляді табл. 3.2.

8. Розрахунки координат характерних точок, необхідних для побудови кривих розподілу випадкових величин.
9. Криві розподілу для всіх дослідів.
10. Аналіз отриманих результатів, оцінка точності встановлення заготовок залежно від досліджуваних факторів, стислі висновки щодо роботи.

3.4. Контрольні запитання

1. Методи досягнення заданої точності в технології машинобудування.
2. Похибка встановлення та характеристика її складових.
3. Характеристики конструкцій самоцентрувальних патронів та схеми базування деталей в них.
4. Методи підвищення точності встановлення заготовок у спіральні-рейкових патронах.
5. Експериментальні методи оцінки точності встановлення заготовок у трикулачкових патронах.
6. Методика статистичної обробки результатів досліджень.
7. Фізична інтерпретація точності встановлення заготовок в трикулачкових патронах.

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНОГО ВЕРСТАТА СТАТИЧНИМ МЕТОДОМ

Мета роботи - експериментально визначити сумарний коефіцієнт жорсткості токарного верстата статичним методом.

4.1. Загальні поняття про жорсткість верстатів

Сили різання, закріплення, інерційні сили, що виникають при обробці на металорізальних верстатах, впливають на технологічну систему і викликають її деформацію. Ця деформація складається з деформацій основних деталей системи, деформацій стиків, а також деформацій з'єднувальних деталей (болти, клини й ін.). Найбільший

вплив на пружну деформацію системи справляють деформації стиків і з'єднувальних частин. Здатність пружної системи чинити опір дії сил, що прагнуть її деформувати, називають **жорсткістю**.

Переміщення ланок пружної системи відбувається в напрямку дії сил і викликає зміну взаємного розташування різального леза інструмента і оброблюваної деталі, що приводить до виникнення похибок обробки. Пружні деформації технологічної системи впливають на точність обробки. Крім того, жорсткість технологічної системи впливає на вібростійкість процесу різання і, отже, на продуктивність механічної обробки.

Найбільш істотний вплив на розмір оброблюваної деталі справляють переміщення ланок технологічної системи у напрямку, нормальному до обробленої поверхні. Це переміщення, в основному, обумовлено дією складової сили різання P_y . Тому в технології машинобудування жорсткістю технологічної системи ВПД (верстат-приспособлення-інструмент-деталь) прийнято називати частку від ділення складової сили різання, спрямованої по нормалі до обробленої поверхні, до зсуву леза інструмента щодо деталі, який відраховують в тому ж напрямку, при дії всіх складових сил різання.

Жорсткість визначають по формулі, кгс/мкм:

$$j = \frac{dP_y}{dy}.$$

Як показали експерименти, зі зміною навантаження жорсткість дещо змінюється, і тому на практиці найчастіше знаходять жорсткість у діапазоні експлуатаційних навантажень від нуля до $P_{y\max}$, кгс/мкм:

$$j = \frac{P_y}{y}.$$

Такий метод розрахунку жорсткості (тільки по P_y) прийнятий для спрощення розрахунків, тому що на деформації в напрямку нормалі до обробленої поверхні справляють деякий вплив також і складові сили різання P_x і P_z . Для цих складових звичайно враховується тим, що практично при дослідженні жорсткості навантаження системи виконують силою, що збігається за напрямком із сумарною силою різання, хоча розрахунок жорсткості і ведуть тільки за складовою P_y .

У технологічних розрахунках часто використовують поняття піддатливості. **Піддатливістю** називається величина, обернена до жорсткості, вона виражається у мікрометрах на кілограм-силу.

Існує кілька методів визначення жорсткості металорізальних верстатів або їхніх окремих вузлів, основні з них наступні:

- 1) статичний (випробування на непрацюючому верстаті);
- 2) виробничий (випробування при обробці заготовки);
- 3) розрахунковий метод (розраховують жорсткість кожного вузла верстата і підраховують сумарний баланс жорсткості).

Сутність статичного методу визначення жорсткості металорізальних верстатів полягає в тому, що вузли верстата за допомогою спеціальних пристосувань і динамометра навантажують силою, яка відтворює дію сили різання, і одночасно вимірюють переміщення окремих вузлів верстата. Сили можна прикладати в напрямку дії однієї P_y , двох P_y і P_z , і трьох P_y , P_z і P_x складових сил різання.

При навантаженні верстата силою, що діє в напрямку однієї складової сили різання P_y , по прийнятій у технології машинобудування термінології визначають не жорсткість, а коефіцієнт жорсткості J і відповідно коефіцієнт піддатливості W , а при прикладенні двох і трьох складових сили різання знаходять жорсткість верстата j і піддатливість w . Навантаження вузлів верстата силою, що відтворює дію тільки однієї складової сили різання P_y , спрощує випробування, однак не завжди відбиває дійсні умови роботи верстата.

Статичний метод визначення жорсткості порівняно складний і вимагає тривалого випробування. Крім того, жорсткість верстата, яка визначається в статичному стані, лише приблизно характеризує пружні переміщення верстата при роботі. Тому розроблені і застосовуються методи випробування верстатів у виробничих умовах (у процесі обробки).

4.2. Визначення сумарного коефіцієнта жорсткості токарного верстата статичним методом

На токарному верстаті сумарне переміщення інструмента щодо оброблюваної деталі, встановленої в центрах, складається з наступних переміщень: передньої бабки, супорта, задньої бабки і деформації оброблюваної деталі.

На рис.1.1 зображена принципова схема навантаження і пружних переміщень вузлів токарного верстата при обробці вала в центрах. З рис.1.1 видно, що при зміні координати зони різання X , тобто при переміщенні точки прикладення навантаження по довжині оброблюваної деталі, змінюється значення сумарного переміщення вузлів верстата, а отже, і значення сумарної піддатливості і жорсткості

верстата.

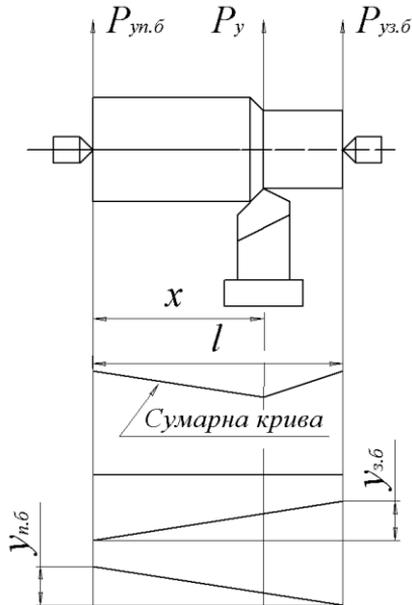


Рис. 4.1. Принципова схема навантаження і пружних переміщень вузлів токарного верстата при обробці вала в центрах

Сумарне переміщення вузлів токарного верстата y_e складається з наступних величин:

$$y_e = y_{cyn} + y'_{з.б.} + y'_{п.б.}, \quad (4.1)$$

де y_{cyn} - переміщення супорта;

$y_{з.б.}$ - переміщення задньої бабки;

$y_{п.б.}$ - переміщення передньої бабки.

При цьому

$$y'_{з.б.} = y_{з.б.} \frac{l-x}{l}, \quad y'_{п.б.} = y_{п.б.} \frac{x}{l};$$

$$y_{з.б.} = P_{y_{з.б.}} w_{з.б.}, \quad y_{п.б.} = P_{y_{п.б.}} w_{п.б.}, \quad y_{cyn} = P_{y_{cyn}} w_{cyn};$$

$$P_{y_{з.б.}} = P_y \frac{l-x}{l}, \quad P_{y_{п.б.}} = P_y \frac{x}{l}.$$

Підставляючи отримані значення в формулу (4.1), одержуємо:

$$y_{\epsilon} = P_{y_{суп}} W_{суп} + P_{y_{з.б.}} W_{з.б.} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + P_{y_{п.б.}} W_{п.б.} \left(\frac{x}{l} \right)^2.$$

Підставляючи замість y_{ϵ} його значення $y_{\epsilon} = P_y W_{\epsilon}$ і виконавши скорочення, одержуємо вираз для визначення піддатливості і жорсткості верстата в залежності від координати обробки:

$$W_{\epsilon} = W_{суп} + W_{з.б.} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + W_{п.б.} \left(\frac{x}{l} \right)^2; \quad (4.2)$$

$$\frac{1}{J_{\epsilon}} = \frac{1}{J_{суп}} + \frac{1}{J_{з.б.}} \left(\frac{l-x}{l} \right)^2 + \frac{1}{J_{п.б.}} \left(\frac{x}{l} \right)^2. \quad (4.3)$$

Для порівняння токарних верстатів по жорсткості визначають середню жорсткість (або піддатливість) верстата при значенні координати зони обробки $x = \frac{l}{2}$, тобто при положенні різця в середині оброблюваної деталі. У цьому випадку формули (4.2) і (4.3) набирають виду

$$W_{\epsilon} = W_{суп} + \frac{1}{4} (W_{з.б.} + W_{п.б.}); \quad (4.4)$$

$$\frac{1}{J_{\epsilon}} = \frac{1}{J_{суп}} + \frac{1}{4} \left(\frac{1}{J_{з.б.}} + \frac{1}{J_{п.б.}} \right). \quad (4.5)$$

На рис.4.2 показана схема робочої зони при визначенні коефіцієнта жорсткості токарного верстата статичним методом.

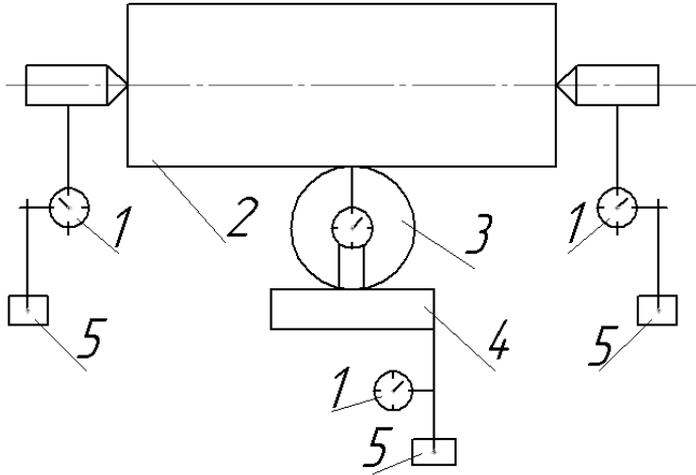


Рис. 4.2. Схема робочої зони при визначенні коефіцієнта жорсткості токарного верстата статичним методом:

- 1 - індикатор; 2 - вал-оправка;
- 3 - кільцевий динамометр;
- 4 - різцетримач; 5 - магнітна стійка.

За допомогою кільцевого динамометра 3, розташованого між супортом і оправкою 2, встановленої в центрах, навантажують вузли верстата східчато зростаючим навантаженням і одночасно реєструють переміщення вузлів у напрямку P_y по індикаторах 1, які встановлені на станині верстата. Розвантаження виконують у зворотному порядку з реєстрацією переміщень.

За отриманими результатами будують графіки "навантаження - переміщення" (рис. 4.3), відкладаючи по осі ординат значення навантаження P_y , а по осі абсцис - переміщення U .

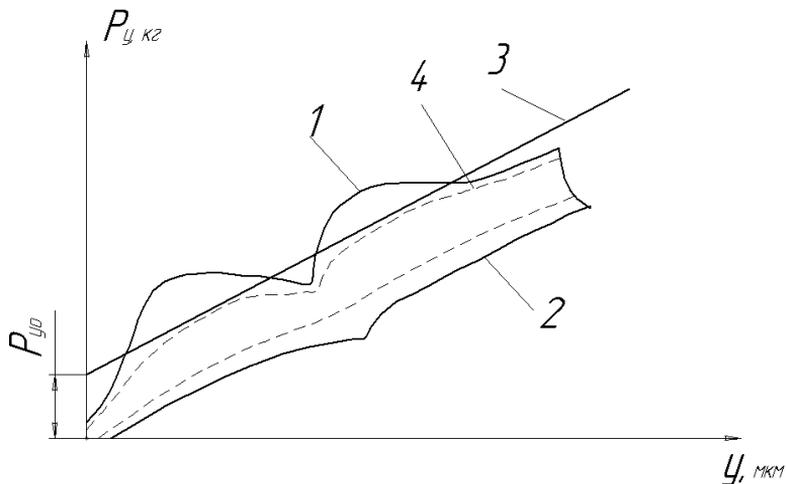


Рис. 4.3. Графік "навантаження - переміщення" при визначенні коефіцієнта жорсткості токарного верстата статичним методом:

- 1 - навантажувальна гілка;
- 2 - розвантажувальна гілка;
- 3 - апроксимуюча пряма;
- 4 - графік при повторному навантаженні.

Навантажувальна гілка 1 не збігається з розвантажувальною (вони утворюють петлю гістерезису). Площа петлі гістерезису характеризує енергію, витрачену на подолання сил тертя в стиках, контактах деформацій, а іноді і сил власної ваги деталей.

При повторних циклах навантаження і розвантаження явище повторюється звичайно зі зменшенням площі гістерезису внаслідок зменшення залишкових переміщень, що мають найбільше значення при першому циклі через наявність зазорів у ряді стиків.

Для визначення середньої жорсткості вузла (середнього коефіцієнта жорсткості верстата) навантажувальну гілку графіка звичайно випрямляють, тобто дослідну ламану лінію апроксимують лінійною залежністю виду

$$P_y = A_0 + A_1 y, \quad (4.6)$$

де A_0 і A_1 - постійні коефіцієнти, що підлягають обчисленню.

Для визначення коефіцієнтів A_0 і A_1 використовують метод найменших квадратів, в основі якого лежить вимога, щоб точки розташовувалися по обидві сторони від кривої функції $y=f(x)$, але якнайближче до останньої, тобто щоб сума квадратів відхилень вимірних значень y від функції $y=f(x)$ була мінімальною.

Для знаходження положення апроксимуючої прямої на площині ХУ необхідно розв'язати систему рівнянь, що називаються нормальними рівняннями. У даному випадку нормальними рівняннями будуть:

$$\left. \begin{aligned} nP_{y_0} + J \sum_{i=1}^n y_i &= \sum_{i=1}^n P_{y_i} \\ P_{y_0} \sum_{i=1}^n y_i + J \sum_{i=1}^n y_i^2 &= \sum_{i=1}^n P_{y_i} y_i \end{aligned} \right\}, \quad (4.7)$$

де n - кількість дослідних точок.

Розв'язуючи систему (4.7), одержуємо значення коефіцієнта жорсткості, а також рівняння апроксимуючої прямої, яке буде мати вигляд

$$P_y = P_{y_0} + Jy. \quad (4.8)$$

На основі рівняння (4.8) будують пряму, яка апроксимує навантажувальну гілку графіка "навантаження - переміщення".

4.3. Обладнання та інструменти

- 1) токарно-гвинторізний верстат;
- 2) спеціальне пристосування для навантаження верстата;
- 3) динамометр;
- 4) індикатори годинного типу на магнітних стійках;
- 5) тарувальна таблиця.

4.4. Порядок виконання роботи

1. Встановити і закріпити в центрах верстата вал. При цьому відстань від корпусу задньої бабки до торця вала, встановленого в центрах, повинна відповідати значенню, зазначеному в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Відстань від торця корпусу задньої бабки до торця вала для різних типорозмірів токарних верстатів

Верстати з найбільшим діаметром оброблюваного виробу, мм	Відстань від торця корпусу задньої бабки до торця вала, мм
160	70
200	80
250	95
320	115
400	140
500	170

2. Встановити між валом і різцетримачем зразковий динамометр так, щоб передане навантаження на вузли верстата збігалось з напрямком дії радіальної складової P_r сили різання.

3. Встановити три магнітні стійки для індикаторів на станині верстата так, щоб одним з індикаторів можна було виміряти переміщення шпинделя передньої бабки, другим - супорта, третім - задньої бабки.

4. Попередньо навантажити технологічну систему до граничного навантаження один-два рази (табл.4.2) і зняти навантаження.

Таблиця 4.2

Граничне навантаження для різних типорозмірів токарних верстатів

Верстати з найбільшим діаметром оброблюваного виробу, мм	Граничне навантаження, кгс
200	100
250	140
320	200
400	280
500	400

5. Встановити всі індикатори на нуль (натяг індикаторів повинний бути 0,5...1 мм).

6. Східчасто навантажувати систему до граничного навантаження, зазначеного в табл. 4.2.

7. У зворотній послідовності зробити повне розвантаження верстата.

8. Результати вимірів записати в таблицю випробувань

(табл.4.3).

Таблиця 4.3

Протокол вимірювань										
№ п/п	Покази індикатора динамометра, мкМ	Навантаження по динамометру P_y , кгс			Пружні деформації вузлів верстата, мкМ					
		на передню бабку	на супорт	на задню бабку	Передня бабка		Супорт		Задня бабка	
					навантаження	розвантаження	навантаження	розвантаження	навантаження	розвантаження
1										
...										

9. Побудувати графіки "навантаження - переміщення" для передньої бабки, супорта і задньої бабки.

10. Повторити пп. 6...8.

11. Побудувати графіки "навантаження - переміщення" за результатами повторного навантаження, сполучивши їх з первісними графіками.

12. Підрахувати за формулою (4.5) сумарний коефіцієнт жорсткості верстата при максимальному навантаженні.

13. Розрахувати по навантажувальній гілці для кожного вузла верстата усереднені коефіцієнти жорсткості і нанести розрахункові апроксимуючі прямі. Для зручності розрахунків скласти табл.4.4.

Таблиця 4.4

Визначення коефіцієнта жорсткості J_i

№ п/п	y_i	y_i^2	P_{y_i}	$P_{y_i} y_i$
1				
...				
Разом				

14. На підставі отриманих результатів у п.1.3 визначити по формулі (4.5) сумарний усереднений коефіцієнт жорсткості токарного верстата і порівняти із сумарним коефіцієнтом жорсткості, визначеним по максимальному навантаженню.

4.5. Зміст звіту

1. Назва, мета та стислий виклад змісту роботи, дані про вимірювальні прилади.
2. Модель і характеристика верстата.
3. Схеми проведення експериментів.
4. Дані про вимірювальні прилади.
5. Необхідні попередні розрахунки.
6. Зведені таблиці і розрахунки параметрів функції для кожного вузла (табл.4.3 і 4.4).
7. Графіки "навантаження - переміщення" усіх вузлів верстата для першого і другого навантажень.
8. Розрахунок коефіцієнтів жорсткості кожного вузла по максимальному навантаженню і сумарного коефіцієнта жорсткості верстата.
9. Розрахунок середнього коефіцієнта жорсткості кожного вузла і середнього коефіцієнта жорсткості верстата.
10. Побудова апроксимуючих прямих на навантажувальних гілках графіка для кожного вузла.
11. Висновки по роботі.

4.6. Контрольні запитання

1. Визначення жорсткості технологічної системи.
2. Поняття піддатливості.
3. Характеристика методів визначення жорсткості металорізальних верстатів або їхніх окремих вузлів.
4. Сутність статичного методу визначення жорсткості металорізальних верстатів.
5. Сумарне переміщення інструмента щодо оброблюваної деталі на токарному верстаті.
6. Метод визначення середньої жорсткості вузла (середнього коефіцієнта жорсткості верстата).
7. Розрахунок коефіцієнтів жорсткості кожного вузла по максимальному навантаженню.
8. Рівняння апроксимуючої прямої.

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА ВИРОБНИЧИМ МЕТОДОМ

Мета роботи - визначити жорсткість токарно-гвинторізного верстата виробничим методом.

5.1. Загальні відомості

Статичний метод визначення жорсткості верстатів має істотні недоліки: він складний і вимагає тривалого дослідження. Жорсткість верстата, знайдена статичним методом, лише приблизно характеризує пружні переміщення верстата при роботі. Тому виникає необхідність визначення жорсткості у виробничих умовах.

Виробничий метод визначення жорсткості токарного верстата полягає в наступному. На верстаті виточують тріступінчастий валик (рис. 5.1) і мікрометром вимірюють діаметри всіх трьох його ступіней D_1, D_2, D_3 у мікрометрах.

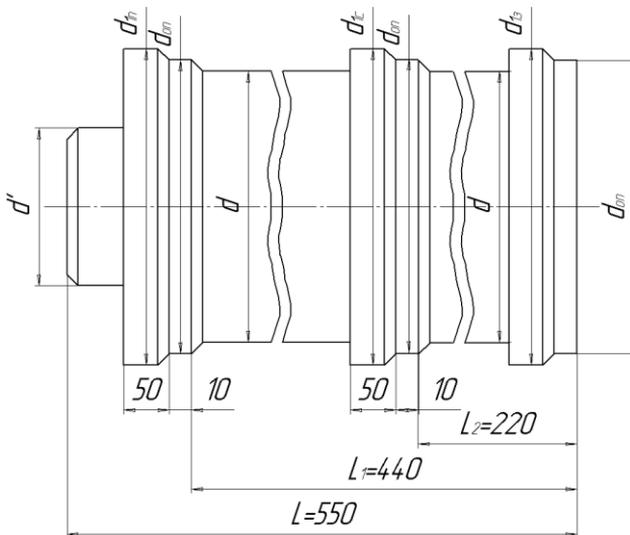


Рис.5.1. Ескіз заготовки для експерименту

Різець по лімбу подається на деяку глибину різання t , мм, відносно поверхні з найменшим діаметром, і виконується обточування валика в один діаметр. Якби жорсткість верстата була абсолютною, валик після обточування мав би діаметр, мм:

$$d' = D_3 - 2t. \quad (5.1)$$

Так як жорсткість верстата обмежена, то після проточування валика його діаметр не тільки не буде рівним d' , але в різних місцях валика він буде різний, тому що при обточуванні кожної ступіні була інша глибина різання, а отже, інше зусилля різання, внаслідок чого деформація верстата була відмінною при проточуванні кожної ступіні. Позначимо діаметри, отримані після проточування валика на місці кожної ступіні, відповідно через d_1, d_2, d_3 . Величини d_1, d_2, d_3 вимірюють мікрометром після проточування. Деформація верстата при проточуванні кожної ступіні визначається виразом:

$$y_1 = \frac{d_1 - d'}{2}; \quad y_2 = \frac{d_2 - d'}{2}; \quad y_3 = \frac{d_3 - d'}{2}. \quad (5.2)$$

Для визначення жорсткості верстата необхідно знати зусилля різання P_y в кілограм-силах при проточуванні валика. Ця величина може бути визначена по емпіричній формулі:

$$P_y = Ct^x s^y HB^n, \quad (5.3)$$

де t - глибина різання, мм; s - подача, мм/об; HB - твердість оброблюваного матеріалу по Бріннелю, кгс/мм²; x, y, n - показники степеню емпіричної формули; C - стала при обробці сталі прохідним різцем, оснащеним пластинкою з твердого сплаву, приймаються рівними $x=0,90; y=0,75; n=2,00; C=0,0027$.

Зусилля різання змінюється в залежності від геометрії різця. Ця зміна враховується множенням постійної величини C на поправочний коефіцієнт K_I , що виражає вплив головного кута в плані різця φ на складові сили різання, значення якого визначають за табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Поправочний коефіцієнт K_I					
Головний кут в плані $\varphi, ^\circ$	30	45	60	75	90
K_I	1,03	1,00	0,71	0,54	0,44

Для визначення жорсткості верстата необхідно розрахувати зусилля різання за допомогою виразу (5.3) і його значення помножити на коефіцієнт k_1 при обточуванні кожної ступіні. При цьому у вираз (5.3) необхідно підставити значення глибин різання для кожної ступіні відповідно t_1, t_2 і t_3 , знайдені з виразу (5.4):

$$t_1 = \frac{D_1 - d_1}{2}; \quad t_2 = \frac{D_2 - d_2}{2}; \quad t_3 = \frac{D_3 - d_3}{2} \quad (5.4)$$

Визначивши для кожної ступіні значення деформації і зусилля різання, необхідно обчислити жорсткість при обточуванні кожної ступіні окремо, а також розрахувати відмінність жорсткості верстата, визначеної статичним і виробничим методами (для середньої точки), %:

$$\Delta j = \frac{j_{\text{стат}} - j_{\text{вироб}}}{j_{\text{вироб}}} \cdot 100\%. \quad (5.5)$$

5.2. Обладнання та інструменти

- 1) токарно-гвинторізний верстат;
- 2) східчастий вал;
- 3) прохідний різець;
- 4) мікрометр.

5.3. Порядок виконання роботи

1. Встановити східчастий валик у патроні і центрі та закріпити.
2. Вимірити діаметри ступіней вала до обточування на всіх трьох поясках. Результати занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Протокол вимірювань

Поясок	До обточування, мм		$t = \frac{d_1 - d_0}{2}$	Після обточування, мм		$y_c = \frac{d'_1 - d'_0}{2}$, мм	P_y , кГс	$J = \frac{P_y}{1000y_c}$, кГс/мкм
	d_1	d_0		d'_1	d'_0			
задній								
середній								
передній								

3. Встановити режими різання, що рекомендуються.
4. Встановити різець по пробній стружці на діаметрі d_0 з глибиною різання $t=0,5$ мм і обточити першу ступінь, поки довжина обробки ступіні більшого діаметра не досягне 8...10 мм.
5. Повторити п.4 для другої і третьої ступіней.
6. Виміряти мікрометром діаметри d_1' і d_0' після обточування для всіх трьох ступіней і дані звести до табл. 5.2.
7. Розрахувати глибину різання t , силу різання P_y , зсув вузлів верстата u і жорсткість вузлів верстата J .
8. Визначити відмінність жорсткості верстата знайденої статичним і виробничим методами по формулі (2.5).
9. Побудувати графік залежності пружних переміщень вузлів верстата від довжини обробки.

5.4. Зміст звіту

1. Назва, мета та стислий виклад змісту роботи.
2. Модель і характеристика верстата.
3. Дані про вимірювальні прилади.
4. Режим обробки.
5. Геометрія різального інструмента.
6. Кресленик східчастого вала.
7. Розрахунок коефіцієнту жорсткості вузлів верстата (табл.5.2).
8. Відмінність коефіцієнтів жорсткості при статичному і виробничому методах визначення.
9. Графік залежності пружних переміщень вузлів верстата від довжини обробки.
10. Висновки по роботі.

5.5. Контрольні питання

1. Суть виробничого методу визначення жорсткості токарного верстата.
2. Відмінності статичного та виробничого методів визначення жорсткості верстату.
3. Вплив глибини різання на величину деформацій верстата.
4. Визначення деформації верстата при обточування кожної ступіні.
5. Визначення зусилля різання.
6. Вплив геометрії металорізального інструмента на зусилля різання.

ДОДАТКИ
Додаток А

Таблиця значень функції $\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$

t_j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,3989	3989	3989	3988	3986	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	3914	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0,4	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	2997	2374	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,2420	2396	2371	2347	2323	2899	2275	2251	2227	2203
1,1	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0940	0925	0909	0893	0878	0863	0848	0833	0818	0804
1,8	0790	0775	0761	0748	0734	0721	0707	0694	0681	0669
1,9	0656	0644	0632	0620	0608	0596	0584	0513	0562	0551
2,0	0,0540	0529	0519	0508	0498	0488	0478	0468	0459	0449
2,1	0440	0431	0422	0413	0404	0396	0387	0379	0371	0363
2,2	0355	0347	0339	0332	0325	0317	0310	0303	0297	0290
2,3	0283	0277	0270	0264	0258	0252	0246	0241	0238	0229
2,4	0224	0219	0213	0208	0203	0198	0194	0189	0184	0180
2,5	0175	0171	0167	0163	0158	0154	0151	0147	0143	0139
2,6	0136	0132	0129	0126	0122	0119	0116	0113	0110	0107
2,7	0104	0101	0099	0096	0093	0091	0088	0086	0084	0081
2,8	0079	0077	0075	0073	0071	0069	0067	0065	0063	0061
2,9	0060	0058	0056	0055	0053	0051	0050	0048	0047	0046

Продовження додатку А

t_j	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,0	0,0040	0043	0042	0040	0039	0038	0037	0036	0035	0034
3,1	0033	0032	0031	0030	0029	0028	0027	0026	0025	0025
3,2	0024	0023	0022	0022	0021	0020	0020	0019	0018	0018
3,3	0017	0017	0016	0016	0015	0015	0014	0014	0013	0013
3,4	0012	0012	0012	0011	0011	0010	0010	0010	0009	0009
3,5	0009	0008	0008	0008	0008	0007	0007	0007	0007	0006
3,6	0006	0006	0006	0005	0005	0005	0005	0005	0005	0004
3,7	0004	0004	0004	0004	0004	0004	0003	0003	0003	0003
3,8	0003	0003	0003	0003	0003	0002	0002	0002	0002	0002
3,9	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0002	0001	0001

Додаток Б

Значення імовірності $P(\lambda)$ залежно від значення λ -критерія Колмогорова

λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$	λ	$P(\lambda)$
0,30	1,0000	0,64	0,8073	1,00	0,2700	1,80	0,0032
0,35	0,9997	0,65	0,7290	1,10	0,1777	1,90	0,0015
0,40	0,9972	0,70	0,7112	1,20	0,1122	2,00	0,0007
0,45	0,9874	0,75	0,6272	1,30	0,0681	2,10	0,0003
0,50	0,9639	0,80	0,5441	1,40	0,0397	2,20	0,0001
0,55	0,9228	0,85	0,4653	1,50	0,0222	2,30	0,0001
0,58	0,8896	0,90	0,3927	1,60	0,0120	2,40	0,0000
0,60	0,8643	0,95	0,3275	1,70	0,0062	2,50	0,0000

Додаток В

Значення критерію Пірсона χ^2 залежно від рівня значності p та кількості ступенів вільності

Кількість ступенів вільності	Рівень значності p		Кількість ступенів вільності	Рівень значності p		Кількість ступенів вільності	Рівень значності p	
	0,05	0,01		0,05	0,01		0,05	0,01
1	3,84	6,63	11	19,7	24,7	21	32,7	38,9
2	5,99	9,21	12	21,0	26,2	22	33,9	40,3
3	7,81	11,3	13	22,4	22,7	23	35,2	41,6
4	9,49	13,3	14	23,7	29,1	24	36,4	43,0
5	11,1	15,1	15	25,0	30,6	25	37,7	44,3
6	12,6	16,8	16	26,3	32,0	26	38,9	45,6
7	14,1	18,5	17	27,6	33,4	27	40,1	47,0
8	15,5	20,1	18	28,9	34,8	28	41,3	48,3
9	16,9	21,7	19	30,1	36,2	29	42,6	49,6
10	18,3	23,2	20	31,4	37,6	30	43,8	50,9

Значення критерію Пірсона χ^2 залежно від кількості ступенів вільності $f_{та}$ $P(\chi^2)$

k	$P(\chi^2)$													
	0,99	0,98	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
l	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	9,84	11,34	16,27
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09	20,5
6	0,872	1,134	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81	22,5
7	1,239	1,564	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48	24,3
8	1,646	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17	20,1	26,1
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	19,68	21,7	27,9
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	21,2	23,2	29,6
11	3,05	3,61	4,58	5,58	6,99	8,15	10,34	12,90	14,63	17,28	19,68	22,6	24,7	31,3
12	3,57	4,18	5,23	6,30	7,81	9,03	11,34	14,01	15,81	18,55	21,0	24,1	26,2	32,9
13	4,11	4,76	5,89	7,04	8,63	9,93	12,34	15,12	16,98	19,81	22,4	25,5	27,7	34,6
14	4,66	5,37	6,57	7,79	9,47	10,82	13,34	16,22	18,15	21,1	23,7	26,9	29,1	36,1
15	5,23	5,98	7,26	8,55	10,31	11,72	14,34	17,32	19,31	22,3	25,0	28,3	30,6	37,7
16	5,81	6,61	7,96	9,31	11,15	12,62	15,34	18,42	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	39,3
17	6,41	7,26	8,67	10,08	12,00	13,53	16,34	19,51	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	40,8
18	7,02	7,91	9,39	10,86	12,86	14,44	17,34	20,6	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	42,3
19	7,63	8,57	10,11	11,65	13,72	15,35	18,34	21,7	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	43,8
20	8,26	9,24	10,85	12,44	14,58	16,27	19,34	22,8	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	45,3
21	8,90	9,92	11,59	13,24	15,44	17,18	20,3	23,9	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	46,8
22	9,54	10,60	12,34	14,04	16,31	18,10	21,3	24,9	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3	48,3
23	10,20	11,29	13,09	14,85	17,19	19,02	22,3	26,0	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	49,7
24	10,86	11,99	13,85	15,66	18,06	19,94	23,3	27,1	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	51,2
25	11,52	12,70	14,61	16,47	18,94	20,9	24,3	28,2	30,7	34,4	37,7	41,7	44,3	52,6
26	12,20	13,41	15,38	17,29	19,82	21,8	25,3	29,2	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	54,1
27	12,38	14,12	16,15	18,11	20,7	22,7	26,3	30,3	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	55,5
28	13,56	14,35	16,93	18,94	21,6	23,6	27,3	31,4	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	56,9
29	14,26	15,57	17,71	19,77	22,5	24,6	28,3	32,5	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	58,3
30	14,95	16,31	18,49	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5	36,2	40,3	43,8	48,0	50,9	59,7

Додаток Д

Значення функції $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int e^{-\frac{t^2}{2}} dt$

t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$	t	$\Phi(t)$
1	2	3	4	5	6
0,00	0,0000	0,39	0,1517	1,15	0,3749
0,01	0,0040	0,40	0,1554	1,20	0,3849
0,02	0,0080	0,41	0,1591	1,25	0,3944
0,03	0,0120	0,42	0,1628	1,30	0,4032
0,04	0,0160	0,43	0,1664	1,35	0,4115
0,05	0,0199	0,44	0,1700	1,40	0,4192
0,06	0,0239	0,45	0,1736	1,45	0,4265
0,07	0,0279	0,46	0,1772	1,50	0,4332
0,08	0,0319	0,47	0,1808	1,55	0,4394
0,09	0,0359	0,48	0,1844	1,60	0,4452
0,10	0,0398	0,49	0,1879	1,65	0,4505
0,11	0,0438	0,50	0,1915	1,70	0,4554
0,12	0,0478	0,52	0,1985	1,75	0,4599
0,13	0,0517	0,54	0,2054	1,80	0,4641
0,14	0,0557	0,56	0,2123	1,85	0,4678
0,15	0,0596	0,58	0,2190	1,90	0,4713
0,16	0,0636	0,60	0,2257	1,95	0,4744
0,17	0,0675	0,62	0,2324	2,00	0,4772
0,18	0,0714	0,64	0,2389	2,10	0,4821
0,19	0,0753	0,66	0,2454	2,20	0,4861
0,20	0,0793	0,68	0,2517	2,30	0,4893
0,21	0,0832	0,70	0,2580	2,40	0,4918
0,22	0,0871	0,72	0,2642	2,50	0,4938
0,23	0,0910	0,74	0,2703	2,60	0,4953

Продовження додатку Д

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
0,24	0,0948	0,76	0,2764	2,70	0,4965
0,25	0,0987	0,78	0,2823	2,80	0,4974
0,26	0,1026	0,80	0,2881	2,90	0,4981
0,27	0,1064	0,82	0,2939	3,00	0,49865
0,28	0,1103	0,84	0,2995	3,20	0,49931
0,29	0,1141	0,86	0,3051	3,40	0,49966
0,30	0,1179	0,88	0,3106	3,60	0,499841
0,31	0,1217	0,90	0,3159	3,80	0,499928
0,32	0,1255	0,92	0,3212	4,00	0,499968
0,33	0,1293	0,94	0,3264	4,50	0,499997
0,34	0,1331	0,96	0,3315	5,00	0,49999997
0,35	0,1368	0,98	0,3365		
0,36	0,1406	1,00	0,3413		
0,37	0,1443	1,05	0,3531		
0,38	0,1480	1,10	0,3643		

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДСТУ 3008-95 „Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення”;
2. ДСТУ 3321-2003 „Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять”;
3. ДСТУ 2500-94 „Основні норми взаємозамінності. Єдина система допусків та посадок. Терміни та визначення. Позначення і загальні норми”.
4. ДСТУ ISO 128-20-2003 „Креслення технічні Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії”.
5. Збірник задач і вправ з технології машинобудування: Навчальний посібник / Під ред. В.І. Аверченкова та П.П. Мельничука. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 314 с.
6. Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А., Петраков Ю.В. Технологія машинобудування: Підручник. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 882 с.
7. Красовський М.А., Мельничук П.П., Яновський В.А. Курсове проектування з технології машинобудування: навч.- метод. посіб. – Житомир : ЖДТУ, 2010. – 240 с.
8. Основи технологій обробки поверхонь деталей машин : підручник / В.А. Кирилович, П.П. Мельничук, В.А. Яновський; за ред. В.А. Кириловича. – Житомир :Видавець О.О. Євенок, 2017. – 266с.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Теоретичні основи технологій машинобудування" для студентів освітнього рівня «Бакалавр» спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», напрямів 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування»,

Розробники: к.т.н. Балицька Н.О., д.т.н., проф. Мельничук П.П.,
асистент Томашевський О.О.

Редакційно-видавничий відділ
Державний університет «Житомирська політехніка»

Підписано до друку _____ Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 4,534.
Наклад 50 прим. Зам. №__

Житомирський державний технологічний університет
10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103

